UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALURGICA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

TESIS

PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI

PRESENTADO POR:

Bach. Alexandri Elvis Mejia Dueñas

PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO GEOLOGO

ASESOR:

Ing. Víctor Vidal Garate Gongora

CUSCO – PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, **Asesor** del trabajo de investigación/tesis titulada: "PROCESOS DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACION DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI"

presentado por: ALEXANDRI ELVIS MEJIA DUEÑAS con DNI Nro.: 40445795 presentado por: ..... con DNI Nro.: ..... para optar el título profesional/grado académico de INGENIERO GEOLOGO

.....

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 1 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del ***Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC*** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 10 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y **adjunto** la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 20 de agosto de 2024

Firma

Post firma Julio Zarate Sangas

Nro. de DNI 29390015

ORCID del Asesor 0000-0002-4296-6482

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: **oid:** 27259:368974434

turnitin

Identificación de reporte de similitud: oid:27259:368974434

NOMBRE DEL TRABAJO

Procesos de construcción y aplicación de Pilotajes y Jet Grouting en la cimentación

AUTOR

Alexandri Mejia

RECUENTO DE PALABRAS

61160 Words

RECUENTO DE CARACTERES

304504 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

291 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

21.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 18, 2024 8:33 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 18, 2024 8:39 PM GMT-5

10% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 10% Base de datos de Internet

Excluir del Reporte de Similitud

- Base de datos de publicaciones
- Base de datos de Crossref
- Base de datos de contenido publicado de Crossref
- Base de datos de trabajos entregados
- Coincidencia baja (menos de 50 palabras)
- Bloques de texto excluidos manualmente

Dedicatoria

El presente informe de investigación se dedica a mis padres; a quienes les debemos todo lo que se tiene en esta vida.

A Dios ya que gracias a él se tiene esos padres maravillosos, los cuales apoyan en las derrotas y celebran los triunfos.

A mis Docentes quienes son las guías en el aprendizaje, dando los últimos conocimientos para el buen desenvolvimiento en la sociedad.

Con todo mi amor a mi familia y mi pareja que siempre está a mi lado , por su apoyo incondicional.

Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a Dios por la vida, de
Igual manera a mis padres por confiar.

En segundo lugar, a mis docentes de la
Universidad San Antonio Abad del Cusco, de la carrera
Profesional Ingeniería Geológica, por su
esmero en la enseñanza a sus alumnos y por ser
guía durante el desarrollo de mi tesis; ya que
gracias a ellos se ha podido aprender y enriquecer
los conocimientos sobre la metodología de la investigación.

También agradecer al asesor Ingeniero Víctor Gárate Góngora,
ya que con sus aportes se logró desarrollar el tema.

Agradecer también a la Universidad San Antonio
Abad del Cusco que es la casa de estudio, por
hacer que cada día los estudiantes sean
mejores.

"PROCESO DE CONSTRUCCION Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACION DEL PUENTE QUILCA MATARANI"

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal, evaluar el sostenimiento de las zapatas y de los pilares y estribo derecho del puente Quilca Matarani; en la ciudad de Arequipa.

El área elegida para la construcción del puente Quilca Matarani ofrece buenas condiciones estratigráficas y geomorfológicas, por presentarse este valle amplio y con secciones en forma de U; Geológicamente el área de trabajo esta sobre valles de vegetación abundante, en lecho de río y laderas de arena, mayormente cubiertos por depósitos recientes, de tipo aluvial; afloramientos de roca metamórfica tipo gneis, es sobre estos tipos de terrenos donde se han efectuado las investigaciones geotécnicas para la construcción de los pilotes y jet grouting.

El material coluvial que conforma la fundación de la cimentación del puente; es por tanto el área elegida para ser el apoyo de la súper estructura. Mostraron buenas condiciones para su construcción, ya que se presentaron como depósitos coluviales y fluviales.

La litología del estribo izquierdo y pilar n°01 está conformada por roca gnéisica, constituyendo un material favorable para la construcción del estribo y pilar n°01 en mención; catalogada como una roca sana de tipo gneis de alta dureza.

La capacidad portante del suelo existente 1.5 Mpa.

La capacidad portante de la roca existente 117 Mpa y 128 Mpa.

Las condiciones geológicas estructurales fueron favorables para la construcción del puente, al no presentar fallas activas cercanas o discontinuidades que puedan condicionar la permanencia en el tiempo de la estructura del puente.

La prueba preliminar de inyección demostró ser de mucha utilidad, al brindarnos la certeza de la eficacia del método empleado, ya que se logró diámetros de columnas según diseño, parámetros requeridos por el proyecto, y al mismo tiempo brindándonos la data a ser utilizada para la cimentación y mejora del terreno donde se construyeron los estribos y pilares del puente Quilca.

Las cimentaciones estuvieron previstas en el proyecto; de la excavación de 8 pilotes de 1,5 metros de diámetro y 38 metros de profundidad que, de acuerdo con las informaciones geotécnicas disponibles, quedaría empotrado sobre suelos de origen coluvial de compacidad densa.

Palabras clave: cimentación, pilotaje y jet grouting

SUMMARY

The main objective of this research work is to evaluate the support of the footings of the pillars and right abutment of the Quilca Matarani bridge; in the city of Arequipa.

The area chosen for the construction of the Quilca Matarani bridge offers good stratigraphic and geomorphological conditions, due to its wide valley and U-shaped sections; Geologically, the work area is over valleys with abundant vegetation, river beds and sandy slopes, mostly covered by recent alluvial deposits; outcrops of gneiss-type metamorphic rock, it is on these types of terrain where geotechnical investigations have been carried out.

The colluvial material that makes up the foundation of the bridge foundation; It is therefore the area chosen to be the support of the super structure. They showed good conditions for their construction, since they appeared as colluvial and fluvial deposits.

The lithology of the left abutment and pillar n°01 is made up of gneissic rock, constituting a favorable material for the construction of the abutment and pillar n°01 in question; cataloged as a healthy rock of high hardness gneiss type.

The bearing capacity of the existing soil 1.5 Mpa.

The bearing capacity of the existing rock 117 Mpa and 128 Mpa.

The structural geological conditions were favorable for the construction of the bridge, as there were no nearby active faults or discontinuities that could condition the permanence of the bridge structure over time.

The preliminary injection test proved to be very useful, providing us with certainty of the effectiveness of the method used, since column diameters were achieved according to design, parameters required by the project, and at the same time providing us with the data to be used for the foundation and improvement of the land where the abutments and pillars of the Quilca bridge were built.

The foundations were planned in the project; of the excavation of 8 piles of 1.5 meters in diameter and 38 meters deep that, according to the available geotechnical information, would be embedded in densely compact soils of colluvial origin.

Keywords: foundation, piling and jet grouting.

I. Tabla de contenido

I. Tabla de contenido 8
I. CAPITULO I: 19
GENERALIDADES 19
1.1 UBICACIÓN Y ACCESO DEL PROYECTO 19
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 20
1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO 21
OBJETIVO GENERAL 21
1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS 21
1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION 22
1.6 MARCO TEORICO – REFERENCIAL – CONCEPTUAL 23
- MARCO TEORICO 23
- MARCO REFENCIAL 28
1.7 HIPOTESIS GENERAL 30
1.8 VARIABLES 31
1.9 METODOLOGIA 31
1.10 Climatología 33
1.11 Vegetación 34
II. CAPITULO II: 36
GEOMORFOLOGIA 36
2.1 Generalidades 36
2.2 Unidades Geomorfológicas Regionales 36
2.3 Unidades Geomorfológicas Locales 44
2.4 Parámetros geomorfológicos 47
III. CAPITULO III: 50
GEOLOGIA REGIONAL 50
3.1 Generalidades 50
3.2 Estratigrafía regional 52
3.3 Complejo Basal de la Costa 52
3.4 Formación Camaná 54
Depósitos Aluviales 54
Terrazas Marinas 55
Depósitos Cuaternarios Recientes 55
3.5 Geología Local 57
3.6 Geología Estructural Regional 60
3.7 Geología estructural local 62
IV. CAPITULO IV: 65
HIDROLOGIA 65
4.1 Generalidades 65
4.2 Descripción general de la Zona de Estudio 65
4.3 Registro de Caudales 69
Metodología Empleada en el areado de las Cuencas Hidrográficas 70
4.4 Precipitación y/o Pluviometría 70
4.5 Precipitación Máxima Diaria 71
4.6 Precipitación y/o Pluviometría 72
4.7 Precipitaciones Máxima Probable 73
4.8 Características Hidráulicas Generales del Río Quilca 74
4.9 Hidrografía de las Cuencas 76
4.10 Características hidráulicas de la zona de emplazamiento del puente Quilca Matarani 79

4.11 Variabilidad Espacial y Temporal de la Precipitación 79
Variabilidad Espacial 79
4.12 Análisis de Máximas Avenidas en la Cuenca Alta 82
Ajuste de Función de Probabilidad 82
4.13 Estudio de Drenaje 85
V. CAPITULO V: 87
GEOTECNIA – CONOCIMIENTO DEL TERRENO DE FUNDACION 87
5.1 Generalidades 87
5.2 Estudios de investigaciones Geotécnicas del Puente Quilca Km. 31+307.45 – 88
Km.31+548.30 88
Generalidades 88
Localización 88
Análisis del proyecto 88
5.3 Perforaciones exploratorias características del Subsuelo 88
Ensayos de Laboratorio 105
5.4 Características del Sub-Suelo 109
5.5 Procedimiento de perforación Rotativa y Muestreo 113
5.6 Criterios finales de diseño geotécnico del Puente Quilca 127
5.7 Breve análisis que justifican la construcción de los pilotes y Jet Grouting 127
5.8 Sismicidad 128
5.9 Ensayo Geofísico 136
VI. CAPITULO VI 162
ESTUDIO DE SUELOS Y CANTERAS 162
6.1 Generalidades 162
6.2 Estudio de Suelos 162
6.3 Proceso de Diseño de Mezcla Concreto Hidráulico f'c 350 kg/cm2 163
VII. CAPITULO VII 186
PROCESO CONSTRUCTIVO 186
PILOTAJES 186
7.1 Tipo de Pilotes 186
7.2 Funciones y Usos de Pilotes 186
7.3 Generalidades 188
7.4 Antecedentes y definición de Procedimiento Constructivo de Pilotes Excavados 188
7.5 Perforación e Instalación del Tubo Metálico de Revestimiento 189
7.6 Procedimiento de Ejecución 190
7.7 Perforación Rotativa 191
7.8 Verificación de la Profundidad y Verticalidad del Taladro 196
7.9 Habilitación, Armado e Instalación de la Estructura de Acero 197
7.10 Procedimiento de Habilitación y armado de estructura 197
7.11 Procedimiento de Instalación de estructura 202
7.12 Vertido de Concreto 204
7.13 Levantamiento Topográfico Post Construcción 208
7.14 Procedimiento de Descabezado 208
....211
7.15 Prueba de Integridad de Pilotes de 1500 mm (PIT) 212
VIII. CAPITULO VIII: 218
INYECCIÓN JET GROUTING 218
8.1 Generalidades 218
8.2 Perfil Geotécnico 218
8.3 Geometría General 219
8.4 Antecedentes y definición de las inyecciones Jet Grouting como procedimiento constructivo 221

8.5 Campo de Prueba....222
8.6 Ubicación del Campo de Prueba....224
8.7 Parámetros de Ejecución de Columnas de Prueba....239
8.8 Tratamiento profundo – Jet Grouting....245
8.9 Procedimiento de Construcción....246
8.10 Procedimiento de Inyección....253
8.10.1 Preparación de la lechada de cemento e inyección....253
8.10.2 Monitor de inyección....254
8.10.3 Resurgencia....255
8.10.4 Parámetros de ejecución....256
8.10.5 Presión de otros fluidos (aire o agua, según sistema)....257
8.11 Atrapamientos de la línea de Inyección....259
Conclusiones....268
Recomendaciones....269
Anexos....270

INDICE DE FIGURAS

	Página
FIGURA N° 01; *Principales unidades geomorfológicas del Perú.*	***43***
FIGURA N°02; *Estudio geodinámico de las cuencas de los ríos Quilca, Sihuas y Vitor.*	***68***
FIGURA N°03; *Histograma de los volúmenes de descarga promedio anual.*	***70***
FIGURA N°04; *Ubicación de las estaciones pluviométricas.*	***73***
FIGURA N°05; *Relación precipitación total anual vs altitud.*	***80***
FIGURA N°06; *Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú.*	***84***
FIGURA N°07; *Registro de Ondas Sísmicas Sondaje MASW S-05*	***149***
FIGURA N°08; *Registro de Ondas Sísmicas Sondaje MASW S-01*	***149***
FIGURA N° 09; *Curva de Dispersión MASW S-01*	***150***
FIGURA N° 10; *Curva de Dispersión MASW S-05*	***150***
FIGURA N° 11; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte - MASW*	***151***
FIGURA N° 12; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte - MASW*	***151***
FIGURA N° 13; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – Sondaje 03*	***152***
FIGURA N° 14; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – Sondaje 04*	***152***
FIGURA N° 15; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – Sondaje 05*	***153***
FIGURA N° 16; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte – Sondaje 06*	***153***
FIGURA N° 17; *Ensayo MAN – Registro Sísmico MAN 01*	***154***
FIGURA N° 18; *Ensayo MAN – Registro Sísmico MAN 05*	***154***
FIGURA N° 19; *Ensayo MAN – Registro de Curva de Dispersión M -01*	***155***
FIGURA N° 20; *Ensayo MAN – Registro de Curva de Dispersión M -01*	***155***
FIGURA N° 21; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 05 MAM 01*	***156***
FIGURA N° 22; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 05 MAM 02*	***156***
FIGURA N° 23; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 03*	***157***
FIGURA N° 24; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 04*	***157***
FIGURA N° 25; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 05*	***158***
FIGURA N° 26; *Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 06*	***158***
FIGURA N°27; *Casos donde pueden necesitarse pilotes.*	***188***
FIGURA N° 28; *Esquema constructivo de un pilote perforado con camiseta recuperable*	***195***

FIGURA N° 29; *Protocolo de ensayo de integridad de pilote.* ***215***
FIGURA N°30; *Protocolo de ensayo de integridad de pilote.* ***216***
FIGURA N°31; *Sección tipo – disposición de pilotes y jet grouting.* ***220***
FIGURA N°32; *Distribución de pilotes y columnas de jet grouting.* ***221***
FIGURA N°33; *Campo de pruebas zonas A y B.* ***225***
FIGURA N°34; *Herramientas para toma de muestreo en fresco.* ***229***
FIGURA N°35; *Formación de columna de jet grouting.* ***233***
FIGURA N°36; *Registro continuo de parámetros de jet grouting.* ***238***
FIGURA N°37; *Sistema de jet grouting con una o dos boquillas / toberas.* ***240***
FIGURA N°38; *Protocolos de ejecución columna Jet Grouting.* ***243***
FIGURA N°39; *Protocolos de ejecución columna Jet Grouting.* ***244***
FIGURA N°40*; Esquema de jet simple, radio cimentaciones especiales.* ***248***
FIGURA N°41; *Esquema de jet doble con agua, radio cimentaciones especiales.* ***248***
FIGURA N°42; *Esquema de jet doble con aíre, radio cimentaciones especiales.* ***248***
FIGURA N°43; *Esquema de jet triple, radio cimentaciones especiales.* ***248***
FIGURA N°44; *Jet grouting Keller Grundban.* ***249***
FIGURA N°45; *Esquema de varillaje con broca rotatoria.* ***254***
FIGURA N°46; *Esquema genérico de jet grouting.* ***255***
FIGURA N°47; *Construcción de columnas* ***261***
FIGURA N°48; *Construcción de columnas* ***261***
FIGURA N°49; *Construcción de columnas* ***262***
FIGURA N°50; *Construcción de columnas* ***262***

INDICE DE TABLAS

Página

TABLA *N°01;* *Columna estratigráfica de la cuenca del río Quilca (Ríos Sihuas y Vitor).* ***59***

TABLA *N°02;* *Precipitaciones máximas en sector Quilca Matarani.* ***71***

TABLA *N°03;* *Investigación estaciones pluviométricas de la cuenca del río Quilca.* ***72***

TABLA *N°04;* *Precipitaciones máximas probables.* ***74***

TABLA *N°05;* *Geomorfología de las cuencas en estudio.* ***75***

TABLA *N°06;* *Características del sistema hidrográfico de la Cuenca del río Quilca.* ***78***

TABLA *N°07;* *Constantes regionales del Perú por el método de Creager.* ***83***

TABLA *N°08;* *Caudales máximos en cada subcuenca – método envolvente de Creager.* ***85***

TABLA *N°09;* *Investigaciones geotécnicas.* ***89***

TABLA *N°10;* *Designación de colores de la muestra rocosa.* ***89***

TABLA *N°11;* *Designación de grado de meteorización de la roca.* ***90***

TABLA *N°12;* *Grado de fracturamiento de la roca.* ***90***

TABLA *N°13;* *Indice de calidad de la roca (RQD).* ***90***

TABLA *N°14;* Ensayo de Índice manual de resistencia de roca en campo. ***91***

TABLA *N°15;* *Calidad del macizo rocoso en relación al Indice RMR.* ***92***

TABLA *N°16;* Clasificación de componentes y fracciones del suelo en el campo ***92***

TABLA *N°17;* Plasticidad de suelos finos y fracción fina de suelos gruesos. ***92***

TABLA *N°18;* Consistencia relativa de suelos cohesivos. ***92***

TABLA *N°19;* Clasificación unificada de suelos incluyendo identificación y Descripción de campo. ***93***

TABLA *N°20;* *Aspectos Geotécnicos* ***98***

TABLA *N°21;* *Registro Geotécnico – Sondaje estribo Derecho* ***99***

TABLA *N°22;* *Registro Geotécnico – Sondaje Pilar N° 01.* ***100***

TABLA *N°23;* *Registro Geotécnico – Sondaje Pilar N° 03.* ***101***

TABLA *N°24;* *Registro Geotécnico – Sondaje Pilar N° 04.* ***102***

TABLA *N°25;* *Registro Geotécnico – Sondaje Pilar N° 05.* ***103***

TABLA *N°26;* *Registro Geotécnico – Sondaje Estribo Izquierdo.* ***104***

TABLA *N°27;* *Tabla de NAVFAC.* ***115***

TABLA *N°28;* *Propiedades en arenas.* ***115***

TABLA *N°29;* *Ensayos físicos químico del agua.* ***116***

TABLA *N°30;* *Ensayo a compresión simple.* ***117***

TABLA *N°31;* *Ensayo a compresión simple M-6.* ***117***

TABLA *N°32;* *Ensayo de propiedades físicas.* ***117***

TABLA *N°33;* *Sondajes perforados – planta y profundidad.* ***126***

TABLA *N°34;* *Sondajes perforados – planta y profundidad.* ***126***

TABLA *N°35;* *Sismos importantes últimos 70 años del área de estudio* ***132***

TABLA *N°36;* *Requisitos específicos AG AF según Norma de Ensayo.* ***164***

TABLA *N°37;* *Requisitos específicos AG según Norma de Ensayo.* ***165***

TABLA *N°38;* *Requisitos específicos según Norma de Ensayo.* ***167***

TABLA *N°39;* *Relación de Calicatas de Cantera del río Quilca.* ***168***

TABLA *N°40;* *Resumen de Ensayos de Laboratorio.* ***168***

TABLA *N°41;* *Resumen de Ensayos Especiales.* ***169***

TABLA *N°42;* *Resumen de Registro de Excavación.* ***169***

TABLA *N°43;* *Resumen de Registro de Excavación* ***170***

TABLA *N°44;* *Resumen de Registro de Excavación* ***170***

TABLA *N°45;* *Ensayo de Clasificación* ***171***

TABLA *N°46;* *Ensayo de Clasificación* ***172***

TABLA *N°47;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***173***

TABLA *N°48;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***174***

TABLA *N°49;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***175***

TABLA *N°50;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***176***

TABLA *N°51;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***177***

TABLA *N°52;* *Ensayo de California Bearing Ratio (CBR).* ***178***

TABLA *N°53;* *Ensayo de Abrasión de Mecánica.* ***179***

TABLA *N°54;* *Ensayo de Equivalente de Arena.* ***179***

TABLA *N°55;* *Ensayo de Equivalente de Arena.* ***180***

TABLA *N°56;* *Ensayo de Durabilidad.* ***181***

TABLA *N°57;* *Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Friables.* ***182***

TABLA *N°58;* *Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Friables.* ***182***

TABLA *N°59;* *Ensayo de Carbon Lignito.* ***183***

TABLA *N°60;* *Ensayo de Carbon Lignito.* ***183***

TABLA *N°61;* *Ensayo de Determinación de Cloruros.* ***184***

TABLA *N°62;* *Ensayo de Determinación de Cloruros.* ***184***

TABLA *N°63;* *Diseño de concreto portland piedra Ø3/4".* ***185***

TABLA *N°64;* *Resultados de Diseño f'c 350 kg/cm2* ***185***

TABLA *N°65;* *Verificación topográfica y perforación e instalación de estructura.* ***196***

TABLA *N°66;* *Liberación de vertido de concreto.* ***207***

TABLA *N° 67;* *Resumen de ensayos de prueba de integridad de pilote.* ***217***

TABLA *N°68;* *Parametros de ejecución Jet Grouting.* ***242***

TABLA *N°69;* *Resumen ejecución de columnas jet grouting.* ***249***

TABLA *N°70;* *Resumen ejecución de columnas jet grouting.* ***250***

TABLA *N°71;* *Resumen ejecución de columnas jet grouting.* ***250***

TABLA *N°72;* *Resumen de ensayo de compresión jet grouting.* ***251***

TABLA *N°73;* *Resumen de ensayo de compresión jet grouting.* ***251***

TABLA *N°74;* *Resumen de ensayo de compresión jet grouting.* ***252***

TABLA *N°75;* *Resumen parámetros de ejecución* ***257***

TABLA *N°76;* *Resumen de ejecución de ensayos de compresión columnas jet grouting* ***258***

INTRODUCCION

En estudios de ingeniería geológica y geotecnia existen variedad de materiales de origen geológico en los que su caracterización según su clasificación físico mecánico no garantiza la estabilidad de obras de ingeniería que se ejecutaran a través de estos suelos.

Con la urgencia y necesidad de ejecutar las obras en este tipo de terreno ubicado en el puente Quilca Matarani, en consecuencia, como parte del diseño de investigación, a fin de lograr el objetivo se enuncian las características geológicas y geotécnicas para tomar en consideración la cimentación profunda en la presente tesis.

La tesis contempla estudios de ingeniería y sus respectivas caracterizaciones de suelos se demuestra que en estratos superficiales y profundos está conformado por suelos coluviales y aluviales y arenas medianamente densas; por lo cual hacen que sean fácilmente licuefactibles, estos suelos estudiados requerirán de cimentaciones especiales profundas con pilotes de concreto hidráulico armado de f'c 350 kg/cm2 de Ø 1500mm por 38.00mts de profundidad más la aplicación de Jet Grouting de Ø 1000mm por 20.00 mts de profundidad.

La tesis contempla dar las soluciones de sostenimiento al terreno de fundación donde se ejecutará el puente de 242.00 m. de luz con una superestructura conformada por una losa o tablero de concreto armado. Esta superestructura está apoyada sobre dos estribos tipo cantiléver de concreto armado y 5 pilares.

El puente se encuentra situado en las proximidades de la desembocadura del río Quilca en el Océano Pacífico. Se trata de una zona baja y fértil, con numerosos cultivos, encajados entre relieves rocosos. Desde el punto de vista geotécnico, se trata de un emplazamiento de elevado riesgo debido, por una parte, a la deformabilidad y baja capacidad portante de los depósitos aluviales, y por otra, al elevado potencial de licuefacción de los suelos ante eventos sísmicos.

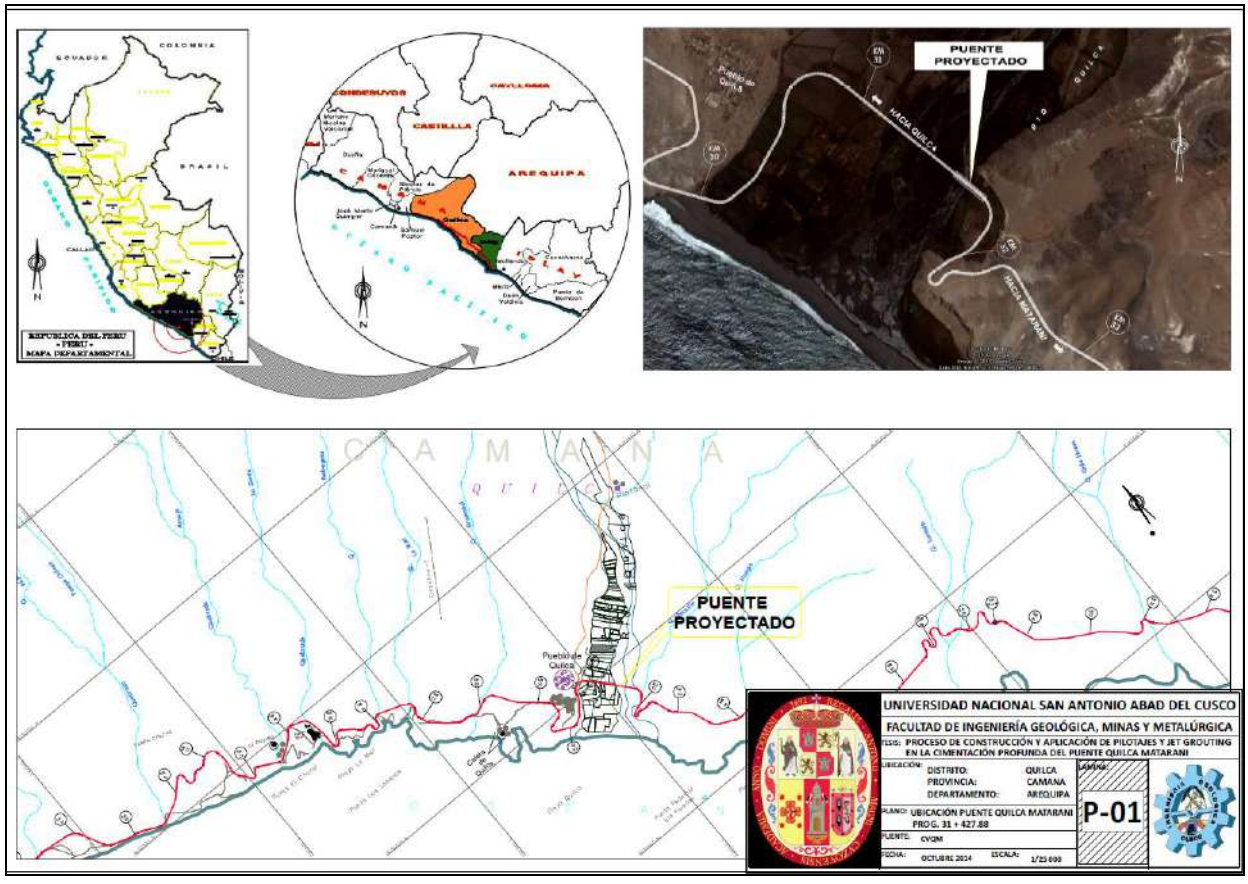
I. CAPITULO I:

GENERALIDADES

1.1 UBICACIÓN Y ACCESO DEL PROYECTO

El área de estudio se encuentra ubicada en la franja costera del departamento de Arequipa, en la provincia de Camaná, distrito de Quilca, entre los kilómetros 31+340 al km 31+600 de vía Divisoria Quilca Matarani. En la actualidad se puede acceder a la zona del proyecto por la vía asfaltada Panamericana Sur, km 840 (sentido Norte – Este). Coordenadas UTM; N 8149500 y E 775500

Distrito	:	Islay
Provincia	:	Camaná
Departamento	:	Arequipa



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 DESCRIPCION DEL PROBLEMA

El presente trabajo de investigación se centra en los problemas de estabilidad que presenta una estructura, en este caso el puente Quilca, por lo que fue preciso dotarla de pilotes profundos que repartan y transmitan al terreno unas presiones que sean compatibles con su resistencia y su deformabilidad en presencia de depósitos no consolidados y de baja densificación, consolidación por mezclas e intercalaciones de arena y grava. De las condiciones geotécnicas encontradas, los depósitos arenosos son licuefactibles, por lo que la cimentación de los estribos y pilares como parte de solución se procederá a mejorar las propiedades mecánicas e impermeables de los suelos al combinarlos con lechada de cemento logrando de esta manera una mayor resistencia mecánica Jet Grouting.

- **FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿Cuáles son los procesos más adecuados para la construcción y aplicación de Pilotajes y Jet Grouting en cimentaciones profundas caso del puente Quilca Matarani?

PROBLEMAS ESPECIFICOS

1.- ¿Serán *adecuadas las características geológicas geomorfológicas e hidrológicas?*

2.- ¿Cuáles son las capacidades portantes de los suelos a intervenir?

3.- ¿Cuál será la deformación de la capa de suelo existente?

4.- ¿Cuál será el mejor diseño para la aplicación de pilotes y jet grouting?

5.- ¿Cuáles serán las variables que intervienen en estas características de suelos encontrados?

6.- ¿Cuáles son las condiciones antes y después la mejora geomecánica en la construcción de la cimentación del puente Quilca Matarani?

1.3 OBJETIVO DEL ESTUDIO

OBJETIVO GENERAL

- *Conocer los procesos constructivos en la aplicación de pilotajes y jet grouting según el estudio geotécnico y demostrar la incidencia del diseño f'c: 350 kg/cm2. y la aplicación del jet grouting, dotando a la estructura del puente Quilca Matarani de cimentaciones profundas estables y competentes mediante el empleo de pilotaje y Jet Grouting.*

1.4 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- *1.- Definir y determinar las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, en la quebrada del río Quilca, ciudad de Arequipa.*
- *2.- Determinar la capacidad portante al suelo existente; a través del análisis del sub suelo en el que se tienen en cuenta los elementos que afectan a la resistencia de la base, como los límites de resistencia, el ángulo de fricción interno, la permeabilidad, la densidad y los parámetros geotécnicos.*
- *3.- Calcular las deformaciones de la estructura del puente Quilca Matarani estén dentro de los parámetros mínimos, o que los movimientos causados por la deformación de terreno sean tolerables para la estructura.*
- *4.- Determinar y diseñar la construcción y aplicación de los pilotes y jet grouting, para resistir la licuefacción resultado de los movimientos causados por los sismos.*
- *5.- Calcular las variables que intervienen en la caracterización de los suelos aluviales encontrados.*
- *6.- Demostrar técnicamente las condiciones de cambio, antes y después; resultados tangibles en la mejora geomecánica en la cimentación y fundación del puente Quilca Matarani, mediante los resultados obtenidos en kg/cm2.*

1.5 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACION

La importancia de la tesis es dar a conocer las soluciones favorables mediante la aplicación y construcción de pilotes de concreto hidráulico armado de f'c 350 kg/cm2 de Ø 1500mm por 38.00mts de profundidad más la aplicación de Jet Grouting de Ø 1000mm por 20.00 mts de profundidad; a los suelos no consolidados de baja capacidad portante. Los cuales son desfavorables ante movimientos sísmicos los cuales generan licuación y en consecuencia traerá como resultados los asentamientos de la estructura del puente Quilca Matarani.

Teniendo esta tesis podremos determinar los resultados para el sostenimiento de las zapatas y de los pilares y estribo derecho del mencionado puente en la ciudad de Arequipa.

- *Justificación Teórica*

  Como justificación teórica se aplicará los procesos constructivos de Pilotajes y Jet Grouting en la cimentación profunda del puente Quilca Matarani.

  Como justificación científica ante suelos no consolidados y de baja capacidad portante 5kg/cm2; es necesario eh importante realizar la aplicación en la ejecución de los procesos de Pilotajes y Jet Grouting.

- *Justificación Metodológica*

  Con esta tesis; podrá ser empleada para otras investigaciones, los resultados de la investigación permiten explicar la validez de los procesos y resultados alcanzados.

- *Justificación Disciplinaria*

  Atreves del uso de estas metodologías; proceso de aplicación de pilotaje y jet Grouting, contribuyen en mejorar la mecánica de suelos en su impermeabilización y densificación "geotécnica" en la cimentación profunda del puente Quilca Matarani.

- *Justificación Social*

Siendo nuestro país una región en actual crecimiento económico sostenido lo que conlleva a un crecimiento comercial, dando como resultado la necesidad de brindar e interconectar, a nuestras zonas económicamente activas, con vías más modernas y seguras y que sirvan de rutas de intercambio e interconexión en pro del continuo desarrollo.

Un ejemplo de ello son las obras de construcción del puente Quilca Matarani, ubicado en la provincia de Camaná en Arequipa, la misma que actualmente registra una ejecución avanzada al 100%, generará mayor competitividad a nivel de conectividad e infraestructura para el impulso del crecimiento económico de la región.

En la actualidad se tiene los trabajos concluidos los que se ejecutaron en ambos extremos del puente Quilca Matarani 242.00 metros de longitud y que beneficiará a más de 186 mil habitantes.

1.6 MARCO TEORICO – REFERENCIAL – CONCEPTUAL

- **MARCO TEORICO**

1.Antecedentes de la Investigación:

Estudio Geodinámico de la Cuenca de los Ríos Quilca, Sihuas y Vitor: : Lionel Fidel S. / Germán Valenzuela O. / Segundo Castro J.

Geología Regional estudio definitivo de la carretera Camaná – Dv Quilca – Matarani – Ilo – Tacna – Tramo Dv. Quilca Matarani. Estudio Definitivo ALPHA CONSULT S.A. – CONESUPSA S.A.

Trabajos a nivel nacional "Cimentaciones profundas con pilotes puente Nanay", Provincia de Maynas, departamento de Iquitos, Perú. Universidad Científica del Perú – Facultad de Ciencias e Ingeniería.

Zonas con suelos compresibles en la ciudad de San Miguel y Aplicabilidad de Cimentaciones Profundas. Universidad de oriente Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

"Análisis, Diseño y Construcción de Unidades de Cimentación estándar de concreto armado; a emplearse en la ejecución de cimentaciones profundas de obras Portuarias". Universidad de Ingeniería – Facultad de Ingeniería Civil.

Trabajo a nivel nacional "Grouting para pantalla de impermeabilización en Dique de agua Presa Nescafe Geotécnica SAC". Provincia de Huari, departamento de Ancash, Perú. Universidad de San Antonio Abad del Cusco – Facultad de Ingeniería Geológica, Minas y Metalúrgica.

Procedimiento constructivo de la zapata pila 4 del "puente san marcos" que forma parte del proyecto carretero nuevo Necaxa – tihuatlan. Universidad Nacional Autónoma de México.

Cimentaciones profundas CISMID-FIC-UNI. Casos necesarios de pilotes – Jorge E. Alva Hurtado.

2.Bases Teóricas:

Cuando los estratos superiores del suelo sean altamente compresibles y muy débiles para soportar la carga transmitida por la superestructura:

Suelos expansivos y colapsables.

En estructuras especiales, puentes, edificaciones.

Debido a la erosión y licuefacción del suelo en la superficie del terreno.

En base a investigaciones geotécnicas en cimentaciones, el análisis de una cimentación se inicia con la selección de aquellos elementos que sean compatibles con la estratigrafía y propiedades mecánicas de los suelos o rocas del sitio.

3.Definición de conceptos básicos:

- ***Ataguía/contra ataguía****: son unas barreras, la mayoría de veces temporales, construidas para excluir de agua una zona que normalmente estaba sumergida, se utilizan para permitir la construcción de las bases permanentes de una presa. Cuando el proyecto ha terminado, ambas pueden ser demolidas: Universidad Politécnica de Valencia.*

- ***Beich mark:*** *punto topográfico de referencia: Bleichmar An International Journal.*
- ***Bit:*** *herramienta de corte utilizada con el martillo de fondo (acoplado al martillo), el cual posee botones o pastillas de acero para cortar con movimientos roto percusivos: Atlas Copco (Copco de Compagnie Pneumatique Commerciale).*
- ***Casing/revestimiento*****:** *tubería metálica que es introducido a un taladro o sondaje a medida que esta avanza en profundidad cuya finalidad es la de sostener y proteger el mismo: Atlas Copco (Copco de Compagnie Pneumatique Commerciale).*

- ***Compresora*****:** *máquina capaz de producir y proporcionar grandes cantidades de aire a presión, el cual es utilizado por herramientas neumáticas.*

- ***Depósito aluvial*****:** *masa de sedimento detrítico formado por arena, grava, arcilla y conglomerados seudo consolidados, son de gran irregularidad litológica y a la vez bastante heterométricos; constituyen suelos transportados profundos y sedimentados por un flujo o una avenida fuerte de agua: INGEMMET.*

- ***Depósito coluvial:*** *son depósitos sueltos que se encuentran en la base de las laderas; son producto de derrumbes, masas deslizantes, así como también depósitos originados por gravedad. Dan origen a suelos transportados de composición heterogénea, de profundidad variable y de permeabilidad de moderada a alta. En estos depósitos los fragmentos se acumulan sin cohesión sin clasificación granulométrica. INGEMMET.*

- ***Depósito fluvial:*** *formado por arena, grava, limo y arcilla en un conjunto heterogéneo e inconsolidado. Forman suelos transportados heterogéneos de extensión muy limitada y de potencia y permeabilidad variable. INGEMMET.*

- ***DTH:*** *Drill Top Hammer / taladro con martillo superior: Atlas Copco (Copco de Compagnie Pneumatique Commerciale).*
- ***Ensayo de Downhole:*** *se realiza en un único sondeo para obtener los módulos de elasticidad dinámicos del terreno, a partir de la medida de la velocidad de las ondas primarias (P) y secundarias (S) mediante geófonos triaxiales distribuidos generalmente cada metro a lo largo de la vertical del sondeo: Sísmica Pasiva España Geogaceta.*

- ***Floculante (coagulante):*** *polímero ampliamente utilizado en la purificación de aguas, el cual es agregado a las aguas residuales para que ayude a que las partículas en suspensión se agrupen y puedan sedimentarse con mucha mayor facilidad: Keller Group.*

- ***Fundación:*** *se refiere a la base de suelo o roca sobre la cual se construye una presa, este debe de ser lo suficientemente fuerte para soportar el peso de la presa, así como la presión de agua que actúe sobre la misma: Ingeniería Geológica Luis Gonzales de Vallejo.*

- ***Geomembrana:*** *Especie de material geo sintético, los cuales son impermeables y son utilizados como revestimiento de canales o estanques: Kumar, S. (Ed.). (2002). Geosynthetics and Their Applications. Thomas Telford.*

- ***Hidromotor:*** *Pieza inferior de la composición de la columna de varillas de inyección, en la cual están instaladas las boquillas eyectoras y la válvula de retención, recibiendo, en su extremo inferior, una herramienta simple de perforación: Keller Group.*

- ***Inclinómetro:*** *Instrumento utilizado para medir el ángulo de inclinación o elevación de una perforación: Keller Group.*

- ***Jet Grouting:*** *Su traducción más cercana es la de inyección a alta presión de lechada o mezcla.*
- *Técnica de alta presión que utiliza la inyección radial de fluidos a muy alta velocidad para erosionar el terreno, sustituyendo parcialmente el material erosionado y mezclándolo con un agente de cementación sustituyente para formar un nuevo material que se denomina solicrete: Keller Group.*

- ***Lechada:*** *Mezcla de agua, cemento y bentonita para inyección.*

- ***Manómetro:*** *Dispositivo empleado para medir la presión: Keller Group.*

- ***Martillo de fondo:*** *Equipo utilizado para perforar capas de roca o suelo fuertemente cementados. Se trata de un martillo percusor de alto impacto, acoplado a la extremidad de la varilla de perforación e introducido normalmente por el interior de la tubería de revestimiento hasta llegar a la capa que se ha de perforar, ejecutando la perforación por medio de movimiento rotopercusión: Keller Group.*

- ***Marsh*****:** *Se refiere al ensayo del Cono Marsh, el cual es un ensayo utilizado para medir el grado de fluidez de la lechada*: *Technical Committee. Internal Curing of Concretes.*

- ***Multipropósito*****:** *Maquinaria la cual está diseñada para darle múltiples usos o puede desempeñar diferentes tipos de trabajos.*

- ***Pantalla:*** *Masa de suelo mejorado en sus propiedades físico mecánicas, generalmente plana, alcanzado por la energía cinética del chorro a alta presión y por tanto íntimamente mezclada con el chorro consolidante: Keller Group.*

- ***Peptizada:*** *Se refiere a la rotura o disgregación de las partículas primarias en agregados individuales mucho más pequeños*: *Keller Group.*

- ***Percolación:*** *Se refiere a la filtración de líquidos a través de materiales porosos: Ibañez M. modelación del suelo y las estructuras.*

- ***Pilotes:*** *Elemento constructivo utilizado para cimentaciones de obras, que permiten trasladar las cargas hasta un estrato resistente del suelo, cuando este se encuentra a*

una profundidad tal que hace inviable, técnica o económicamente, una cimentación más convencional mediante zapatas o losas: Mecánica de suelos eh ingeniería geotécnica.

- ***Temporizador*:** *Tipo especial de reloj o contador de tiempo el cual se utiliza para controlar la secuencia de un proceso.*

- ***Pluma:*** *Extensión del mástil de una maquina perforadora/inyectora, el cual una vez acoplado sirve como guiador y apoyo de gran parte de la columna de varillas de inyección: Keller Group.*

- ***Reflujo:*** *Material de expurgo de la operación de inyección de cemento (lechada y suelo), que sale por la boca del orificio, con volumen aproximadamente igual al del líquido que se introdujo en el suelo, por medio de los chorros de agua y de lechada, respectivamente: Keller Group.*

- ***Tubificación:*** *Erosión progresiva a causa de filtraciones: Keller Group.*

- ***Varilla tipo doble:*** *Varilla de inyección utilizada en el sistema doble fluido del Jet Grouting. Está constituido por dos series de tubos coaxiales de acero sin costura, dotados de roscas y disposiciones internas que permiten la circulación separada y simultánea de dos fluidos a lo largo de la varilla: en este caso lechada consolidativa, en el tubo interior, y aire comprimido en el espacio anular entre los dos tubos; esta varilla se completa con una cabeza de inyección e hidromonitor adecuados a esta técnica. Keller Group.*

- **MARCO REFENCIAL**

Estudios anteriores ejecutados en diferentes departamentos del Perú, pero nunca antes se ejecutó un trabajo de estas características de combinación de procesos y aplicaciones pilotaje y jet grouting.

Se desarrollo el proceso de construcción y aplicación de pilotajes y jet grouting en la cimentación profunda del Puente Quilca Matarani, así mismo se tienen trabajos previos de hidrogeología de la quebrada del río Quilca, dentro del área de estudio se encuentra la

Quebrada Quilca y Vitor de la ciudad de Arequipa, relacionados a temas de geología y geodinámica externa, en la que destacan las publicaciones hechas por INGEMMET, así como otros estudios relacionados al presente plan de tesis:

1. *Confección de la propuesta de Norma de Diseño Geotécnico de Cimentaciones sobre Pilotes. Universidad Central de las Villas Facultad de Construcciones Departamento de Ingeniería Civil.*
2. *Cimentaciones Profundas Pilotes. Juan Pérez Valcárcel: Inspección de Cimentaciones E.T.S.A. Coruña.*
3. *Diseño y construcción de unidades de cimentación utilizando pilotes preexcavados. Universidad Nacional de Ingeniería Perú.*
4. *Diseño y Construcción de Cimentaciones Profundas para puentes Dr. Jorge E. Alva Hurtado*
5. *Ensayos Geofísicos por los Métodos de Masw y Man para el Área de Emplazamiento del Puente Quilca 2010: Zer Geosystem Perú S.A.C.*
6. *Investigación de Pilotes para cimentaciones profundas. Universidad Metropolitana de Monterrey.*
7. *Diseño de Pilotes de Concreto Preesforzado. Universidad Nacional de Ingeniería*
8. *Jet Grouting C106ABG – Buenos Aires, Ing. Civil Juan Manuel Fernández Vincent*
9. *Manual de Diseño de Puentes 2003: Ministerio de Transportes y Comunicaciones Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.*
10. *Mejoramiento de Suelos con técnica de Jet Grouting (2008)*
    Francisco J. tsao Santín.
11. *Novatecna (2007) Manual de especificaciones de productos y procedimientos – Jet Grouting. Lima Perú.*
12. *TYPSA Ingenieros Consultores y Arquitectos (2012): Informe Técnico Justificativo Cimentación Puente sobre el río Quilca.*
13. *Tsao Santín, Francisco J. (2008): Mejora de suelos con la técnica de Jet Grouting. Boletin D. Cimentaciones especiales 02. Escuela de Ingenieros de Caminos.*
    Universidad de la Coruña. La Coruña – España.
14. *Universidad Politécnica de Madrid: Cimentaciones – Calculo Sísmico. Carlos Jurado Cabañes*

15. *Licuefacción de suelos, Pilotes de Puentes, Diseño antisísmico, Pontificia Universidad Católica de Chile – Escuela de Ingeniería.*

1.7 HIPOTESIS GENERAL

- *Los procesos más adecuados para la cimentación profunda del puente Quilca Matarani, serían la construcción y aplicación de pilotaje y Jet Grouting.*

1-7-1 HIPOTESIS ESPECIFICA

- *1.- Las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, son favorables para la construcción de la cimentación del puente Quilca Matarani.*
- *2.- La capacidad portante de los suelos existentes se determinó a través de las características y propiedades del sub suelos en el que se tienen en cuenta los resultados, elementos que afectan a la resistencia del sub suelo, los mismos que serán favorables a futuro, una vez aplicado los procesos de pilotajes y Jet Grouting.*
- *3.- Las deformaciones de la estructura del puente Quilca Matarani estén cimentados dentro de los parámetros admisibles.*
- *4.- Se determina y diseña la aplicación de los pilotes y jet grouting, más adecuados para resistir la licuefacción resultado de los movimientos causados por los sismos.*
- *5.- Se calculará las variables que intervienen en el análisis y diseño estructural del puente para mostrar cómo deben ser consideradas según la norma AASHTO y la forma en que estas afectan a la subestructura.*
- *6.- Se demuestra técnicamente la mejora geomecánica de la fundación del puente Quilca Matarani, mediante los diseños propuestos y ejecutados en la cimentación del puente.*

1.8 VARIABLES

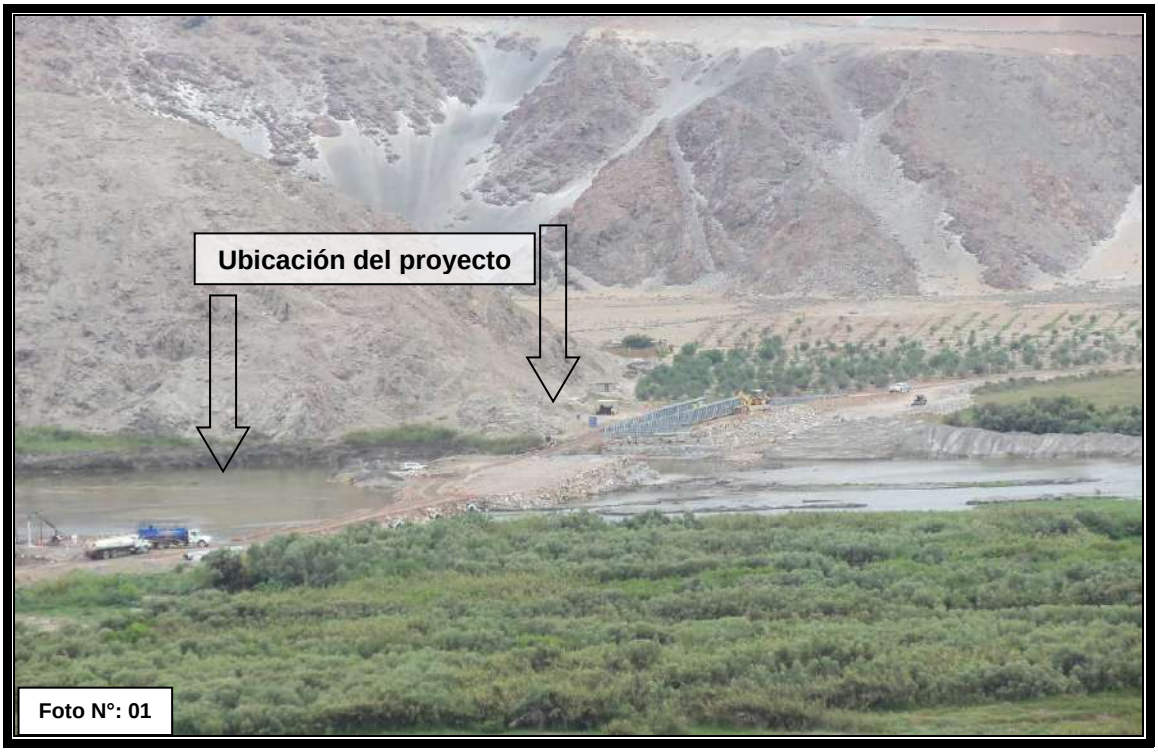
- *Los procesos de construcción y aplicación de pilotajes y Jet Grouting en la cimentación profunda del puente.*
- *La caracterización del diseño hidráulico armado f'c 350 kg/cm2.*
- *La caracterización del diseño de lechada del jet grouting f'c 60 kg/cm2.*

1.9 METODO DE INVESTIGACION

Método Descriptivo: La investigación partirá de diseños y comparaciones de aplicación de procesos hasta llegar a los resultados apropiados los cuáles serán las alternativas para la aplicación en cimentación profunda.

De acuerdo con el texto Método de la investigación (2007), se definen dos tipos de fuentes de información las cuales fueron utilizadas para el desarrollo del presente estudio a las cuales se le adiciona la etapa de trabajo de campo y gabinete; todas estas fuentes son descritas a continuación:

- **Fuentes de información primaria.** - *Las cuales proporcionaron datos de primera mano, fueron dados por documentos que contienen los resultados de los estudios de investigación realizados para el diseño del puente Quilca Matarani, así como por documentos de obra oficialmente emitidos en el transcurso de la construcción y ejecución, toda esta información fue analizada, condensada y utilizada con el propósito de obtener y mostrar sus aspectos más resaltantes que sean de mucha utilidad y aporte al presente estudio.*
- **Fuentes de información secundaria.** - *Dada por listas, compilaciones y resúmenes de referencia publicadas en un área de conocimiento en particular, en este caso sobre la climatología, vegetación, geología, hidrología, método de pilotes entre los principales.*



Ubicación de construcción del Puente Quilca Matarani 242.00 m.

Zona de cimentaciones profundas; Puente Quilca 242.00 m. Vista desde aguas abajo

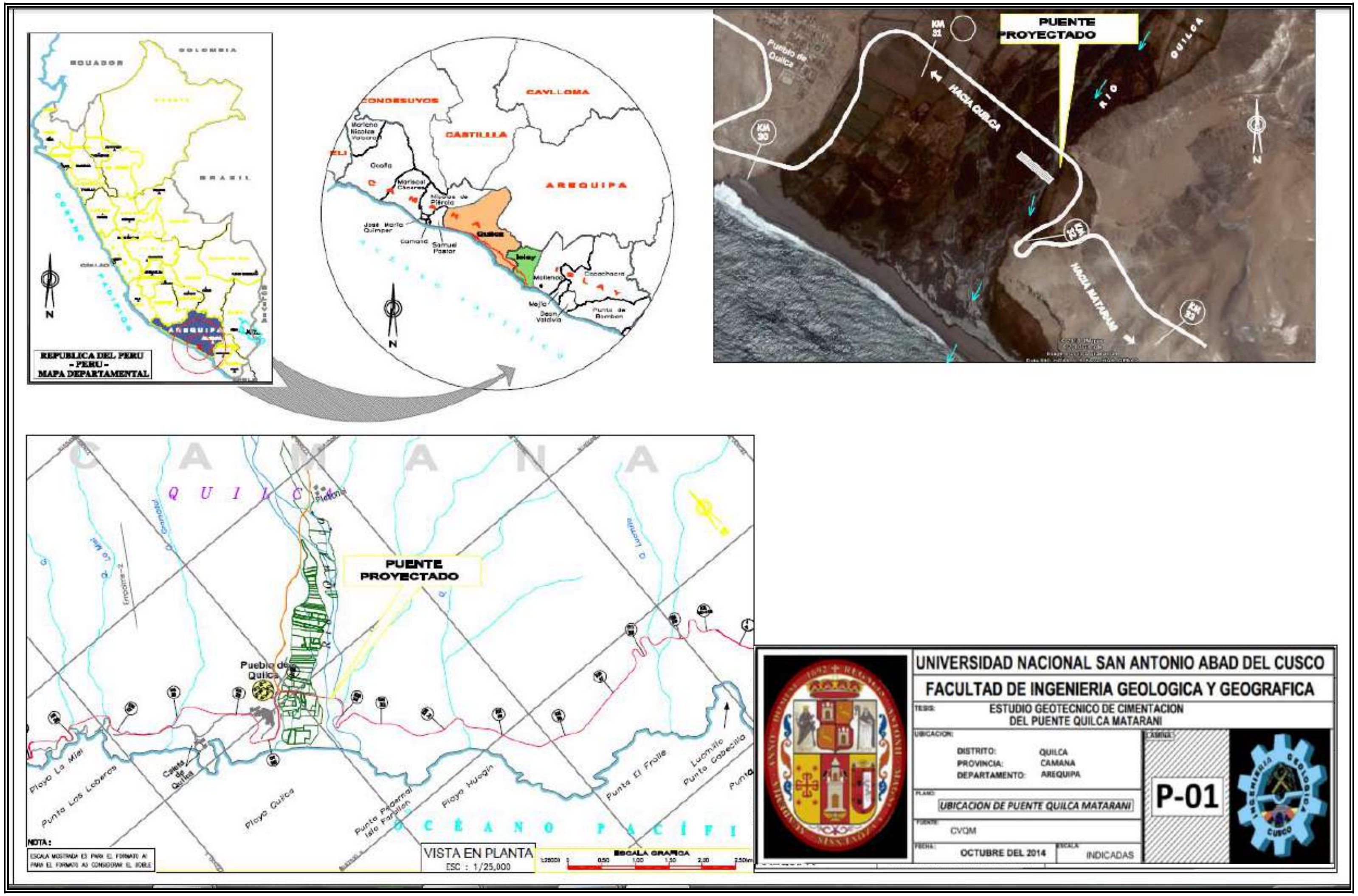
Zona de Construcción Puente Quilca. Vista desde aguas arriba

1.10 Climatología

El clima de la zona de estudio presenta las siguientes características: la precipitación pluvial en esta zona árida y desértica tiene valores de escasas precipitaciones que se presentan en los meses de mayo a octubre (0.3 mm/24 horas promedio, Estación Camaná– SENAMHI (1980-2014). La temperatura corresponde al tipo semi cálido observándose un promedio anual de 18 ^{o}C, la temperatura promedio mensual máxima alcanza los 27 ^{o}C y la temperatura promedio mensual mínima esta alrededor de los 10 ^{o}C.

1.11 Vegetación

La cubierta vegetal natural del área de estudio es realmente muy escasa, el porcentaje de precipitación existente en la zona imposibilita el desarrollo de una cobertura vegetal coherente, presentando muy esporádicos e irregulares manchales de Tilandsias pequeñas, cactus y malezas que adquieren mayor vigor en algunas lomas, al amparo de cierta humedad temporal que, por altitud, logran captar y condensar determinada cantidad de vapor de agua de los vientos procedentes del Océano Pacifico.


REPUBLICA DEL PERU
- PERU -
MAPA DEPARTAMENTAL
CONDESUYOS
CAYLLOMA
CASTILLA
AREQUIPA
PUENTE PROYECTADO
HACIA QUILCA
HACIA MATARANI
QUILCA
PUENTE PROYECTADO
Pueblo de Quilca
OCÉANO PACÍFICO
VISTA EN PLANTA
ESC : 1/25,000
ESCALA GRAFICA
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFICA
ESTUDIO GEOTECNICO DE CIMENTACION DEL PUENTE QUILCA MATARANI
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
UBICACION DE PUENTE QUILCA MATARANI
CVQM
OCTUBRE DEL 2014
INDICADAS
P-01

II. CAPITULO II:

GEOMORFOLOGIA

2.1 Generalidades

El área de estudio presenta como unidades fisiográficas importantes colinas y montañas los cuales presentan relieves accidentados propios de la cordillera andina en su borde occidental.

Presenta pendientes de 50 a 70% parcialmente cubiertas por acumulaciones eólicas y mantos de intemperismo, especialmente hacia el oeste son mayormente rocosas hacia el interior.

2.2 Unidades Geomorfológicas Regionales

De acuerdo con el Estudio Geodinámico de las Cuencas del rio Quilca, Sihuas y Vitor (INGEMMET, 1997), la cuenca del rio Quilca (rio Sihuas y Vitor) se ha dividido en 5 unidades geomorfológicas principales de acuerdo con los procesos geomorfológicos actuantes en la cuenca. Las unidades geomorfológicas son:

- **Unidad (FL) Faja Litoral**; *faja de terreno que se desarrolla entre la ribera del mar y los acantilados de la formación Camaná, así como los granitos del complejo basal de la costa, con alturas de hasta 30 m. En esta unidad se desarrolla una barra litoral y la playa de Quilca.*
- **Unidad (CC) Cordillera de la Costa**; *formado por una cadena de cerros orientados en dirección SE-NW, paralela al litoral, con un ancho aproximado de 20 km y una elevación máxima de 1667 m. en el cerro Guata.*

El flanco occidental presenta una topografía bastante accidentada, por estar cortada por el rio Quilca y por una serie de quebradas profundas como las de Posto Ruiz, Alto de Surcho, Rodrigo y Alto de la Playuela.

El rio Quilca ha labrado un cañón de cerca de 600 m de profundidad con flancos casi verticales.

En contraste, esta unidad, en la parte superior ha desarrollado una superficie algo ondulada, con valles anchos, fondo plano y colinas suaves. El borde oriental está caracterizado por colinas bajas que encierran pequeñas pampas, algunas de ellas conectadas con la planicie costanera.

Litológicamente está formada por rocas gnéisicas, alteradas, cubiertas por arcillas, limos arenas y conglomerados de hasta 1.5 m de potencia.

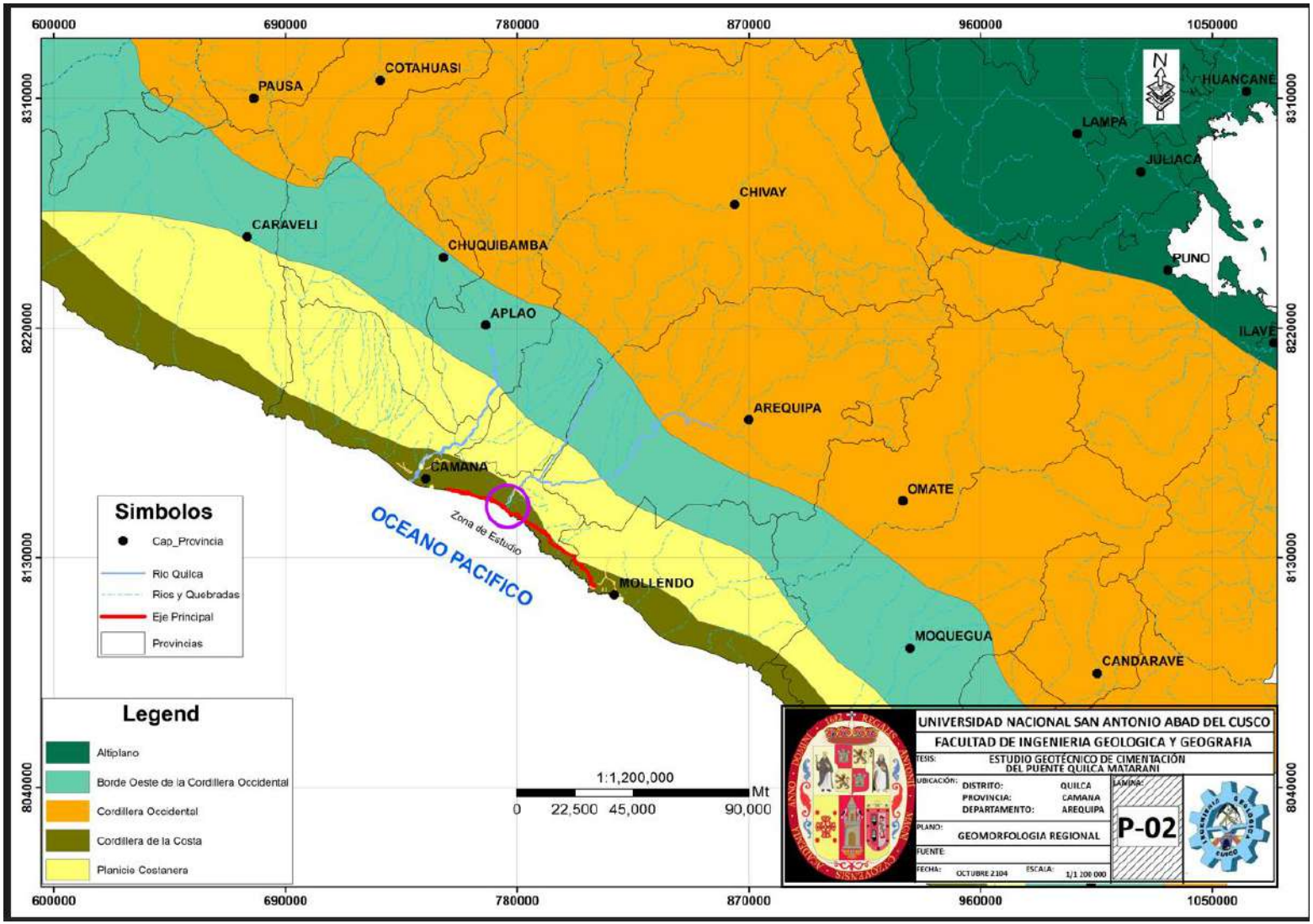
- **Unidad (PC) Pampa Costanera**; *se desarrolla entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones andinas (Cordillera Occidental – Cordillera de Laderas), con altitudes entre los 1000 m y 1 600 m, con un ancho promedio de 40 km.*

Está caracterizada principalmente por extensas pampas que ascienden suavemente hacia el NE, llanas y desérticas, que han sido originadas por el relleno de una cuenca, de probable origen tectónico, por depósitos clásticos continentales y acumulaciones de mantos de arena y dunas. En esta unidad los valles de los ríos Sihuas y Vitor se tornan angostos y profundos (600 m).

Se desarrolla sobre rocas de las formaciones Moquegua, Sotillo y los aluviales pleistocénicos.

- **Unidad (V) Valle**; *la unidad valle se divide en 4 sub unidades, siendo la sub unidad (VA) valle el área donde se ubican los ríos Sihuas y Vitor los mismos que conforman al río Quilca*; *esta unidad se considera al rio Sihuas-Vitor y sus diferentes denominaciones que reciben en su recorrido. Las características morfológicas varían según las formaciones litológicas que cortan en su recorrido, diferenciándose:*

- **Subunidad (VA) Valle**; *caracterizada por presentar flancos con pendientes moderadas con aspecto de valle maduro en algunas zonas: Arequipa, Tiabaya, Uchumayo y Quispicanchis. Esta subunidad también se observa en las localidades de Taya y Huanca.*
- *La formación del valle del río Quilca es el resultado de la erosión y modelamiento de los ríos Sihuas, Vitor, resulta ser un valle amplio el cual no presenta inundaciones en épocas de crecidas de lluvias, este valle está ubicado en la sub unidad (VA) Valle, el mismo que termina en la desembocadura en el océano Pacífico.*


600000
690000
780000
870000
960000
1050000
8310000
8220000
8130000
8040000
N
PAUSA
COTAHUASI
HUANCANE
LAMPA
JULIACA
CHIVAY
CARAVELI
CHUQUIBAMBA
PUNO
APLAO
ILAVE
AREQUIPA
CAMANA
OMATE
Zona de Estudio
OCEANO PACIFICO
MOLLENDO
MOQUEGUA
CANDARAVE
Simbolos
Cap_Provincia
Rio Quilca
Rios y Quebradas
Eje Principal
Provincias
Legend
Altiplano
Borde Oeste de la Cordillera Occidental
Cordillera Occidental
Cordillera de la Costa
Planicie Costanera
1:1,200,000
0 22,500 45,000 90,000 Mt
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERIA GEOLOGICA Y GEOGRAFIA
TESIS: ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN: DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
LAMINA:
P-02
PLANO: GEOMORFOLOGIA REGIONAL
FUENTE:
FECHA: OCTUBRE 2104
ESCALA: 1/1 200 000

- **Subunidad (VI) Valle estrecho inundable**; *con características de valle juvenil, de laderas empinadas. Angostas y profundas donde sus riberas están propensas a las inundaciones en épocas de precipitación. En algunos sectores los flancos de los valles presentan cicatrices de grandes deslizamientos dando lugar, en apariencia, a un valle maduro. Esta subunidad comprende sectores de los ríos Sihuas y Vitor en su recorrido medio.*

- **Subunidad (VC) Cañón**; *el cambio de litología en el lecho del rio, en este caso al encontrarse con materiales resistentes, origina morfologías de valles de gran profundidad (hasta 600 m), con flancos casi verticales, con ensanchamiento reducido y sin fondo plano, con características de "encañonamiento". Se localizan los cañones de los ríos Sihuas y Vitor al cortar la cordillera de la costa y el cañón de Charcani cuando el rio flanquea a los volcanes Misti y Chachani.*

- **Subunidad (VD) Cono de Deyección;** formada por el cono deyectivo del rio Quilca *(denominación final), de pendiente moderada, que a partir de Pueblo Nuevo se extiende sin mucho desarrollo debido a la presencia del Batolito de la Costa.*

- **Unidad (CO) Cordillera Occidental**; *esta unidad está subdividida en cinco subunidades. Es importante mencionar que el ALTIPLANO ha sido dividido en tres subunidades: Conos Volcánicos, Lomadas y Llanuras. No considerándosele como unidad.*

- **Subunidad (COL) Cordillera de Laderas**: *cadena montañosa con una elongación NW-SE. Constituida principalmente por rocas plutónicas con rocas metamórficas hacia el NW. El relieve muestra pendientes altas hacia los flancos con formas redondeadas o rugosas (Cerro Santa Rosa, Torconta, Las Laderas y San Ignacio). Hacia el SE presenta colinas de elevación moderada con perfiles poco abruptos. Presenta un drenaje dendrítico con fuerte pendiente.*

- **Subunidad (COB) Arco Volcánico Barrosos**; *formada por una cadena de montañas agrestes de origen volcánico, siguiendo un alineamiento claramente circular con una*

concavidad hacia el Pacifico. Está formado por los aparatos volcánicos del Chachani, Nocarena, Las Minas, Misti, PichuPichu, Quinto, Pijujasa, Ancasani, además de numerosos conos de menor altitud. En ellos se desarrolla un drenaje radial.

- **Subunidad (COP) Penillanura de Arequipa**; *comprendida entre las localidades de Arequipa, Yura y la confluencia de los ríos Chili y Yura.*

Superficie suavemente ondulada con pendiente promedio del 5%, inclinada hacia el SW, rodeada por parte de la Cordillera de Laderas, de las estribaciones del Altiplano y del Arco del Barroso. Esta penillanura ha sido formada en los tufos del Volcánica Sencca, que ocuparon una depresión originada posiblemente por erosión. Presenta un sistema de quebradas paralelas, temporales y ocasionales en forma de "V".

- **Subunidad (COF) Flujos de barro**; *formada por antiguos flujos de barro (lahars), con formas irregulares, muy erosionadas, dando lugar a quebradas profundas. Se localiza en el área de Socabaya, Hunter y en la falda occidental del Misti.*

- **Subunidad (COC) Conos Volcánicas**; *está representada por conos volcánicos aislados tal como el Ajana, Coila, Mesa Pillone, Andahuaca, Misti, Ampato, Sabancaya y las ubicadas al norte y sur de la Laguna Salinas, que constituye las partes más altas del Altiplano. Los conos volcánicos están erosionados tanto por las numerosas quebradas que corren según un diseño radial, como por la acción glaciar que ha originado circos glaciares, valles en "U", crestas irregulares, depósitos morrénicos, etc.*

- **Subunidad (LO) Lomadas (o Colinas)**; *representadas por colinas de superficie redondeadas y de poca elevación, las colinas más bajas están comprendidas entre el nivel de las pampas (4000 – 4200 m) y los 4400 m, constituidas casi íntegramente por los sedimentos poco compactos de las formaciones Maure y Capillune. Esta unidad esta disectada por valles*

poco profundos de fondo ancho y plano, con numerosos derrumbes en sus flancos. Los drenajes dendrítico y paralelo son los predominantes. Se localizan numerosos bofedales. Las lomas más importantes en esta zona son Hichocollo, Cantayoc, Chuquillahuasi, Cacapunco, Morro Blanco y Herochaca.

- **Subunidad (LL) Llanuras**: *están comprendidos en esta subunidad las áreas de suave pendiente o superficies más o menos planas denominadas "pampas", ubicadas generalmente entre los 4 000 y los 4 200 m. Entre las pampas que destacan tenemos Cañaguas, Yantarhuana, Chiligua, Pichu-Pichu, Machorome, Yanacancha, Jatun Pampa, Huanahuara, Cusi, Pampa de Arrieros, Puca Puca, Patapijo, etc.*
- **Subunidad (PA) Planicie Alta**; *ligada a la superficie Puna, con altitudes entre los 4 000 y 5 000 m. Conformadas por extensas planicies sub horizontales. La más destacada es la conocida como Pampa del Confital.*
- **Subunidad (NP) Nieves Perpetuas**; *en la actualidad solo el nevado Ampato posee nieves perpetuas.*

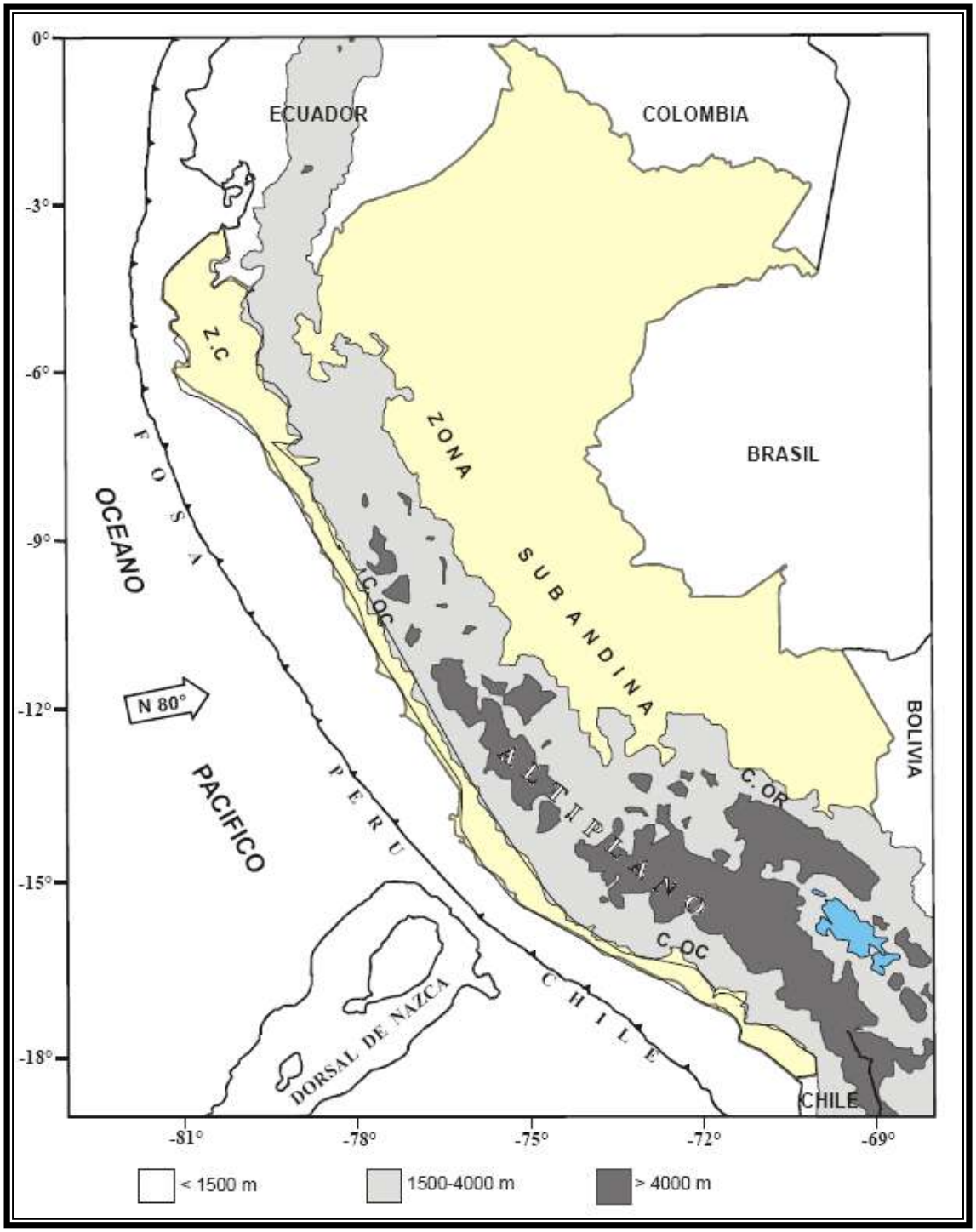


Figura N° 1

Principales unidades geomorfológicas del Perú, Z.C = Zona Costera ubicada desde el Norte hasta el Sur a lo largo de todo el litoral, C.OC = Cordillera Occidental limita por el Oeste con la Zona Costera y por el Este con la Cordillera Oriental, C.OR= Al Norte limita con la Zona Costera y en el Centro rodea a la C.OC y hacia el Sur va limitando con la Zona Subandina Z .S = que limita por el Oeste con la C.OC (Tavera y Buforn 1998)

2.3 Unidades Geomorfológicas Locales

De acuerdo con el Estudio Definitivo, Dv. Quilca Matarani-Ilo-Tacna, Dv. Quilca Matarani (Consorcio Vial Matarani, 2011) el valle del rio Quilca es un valle aluvial en forma de "V". La morfología del lugar está dominada por depósitos aluviales. Los materiales más recientes que se ubican sobre el cauce son producto del arrastre del flujo de agua proveniente del curso superior del rio.

La parte final del valle del rio Quilca, que es donde se encuentra el puente Quilca Matarani, tiene relieve topográfico casi plano cuyos suelos son de origen aluvial. También se tiene la presencia de terrazas no inundables (suelos limosos y arenosos) y terrazas inundables (suelos arenosos y gravosos).

- **UNIDAD (FL): Faja Litoral:** *Faja de terreno que se desarrolla entre la ribera del mar y los acantilados de la Formación Camaná; así como los complejos del granito basal de la costa, con alturas de hasta de 30 m. En esta unidad se desarrolla una barra litoral y la playa de Quilca.* **(Foto N° 04)**

- **UNIDAD (CC): Cordillera de la Costa:** *Formada por una cadena de cerros orientados en dirección SE-NO, paralela al litoral, con un ancho aproximado de 20 Km. y una elevación máxima de 1667 m en el cerro Guata.*

  El flanco occidental presente una topografía bastante accidentada, por estar cortada por el río Quilca y por una serie de quebradas profundas, como las de Posto Ruiz, Alto de Surcho, Alto de la Playuela.

  El río Quilca ha labrado un cañón de cerca de 600 m de profundidad, con flancos casi verticales.

  En contraste, esta unidad, en la parte superior ha desarrollado una superficie algo ondulada, con valles anchos, fondo plano y colinas suaves. El borde

oriental está caracterizado por colinas bajas que encierran pequeñas pampas, algunas de ellas conectadas con la planicie costanera.

Litológicamente está formada por rocas gnéisicas, alteradas, cubiertas por arcillas, limos arenas y conglomerados de hasta 1.5 m. de potencia.

- **UNIDAD (PC): Pampa Costanera:** *Esta unidad se desarrolla entre la Cordillera de la Costa y las estribaciones andinas (Cordillera Occidental – Cordillera de laderas), con altitudes entre los 1000 m y 1600 m, con un ancho promedio de 40 Km.* ***(Foto N° 05)***

  Está caracterizada principalmente por extensas pampas que ascienden suave mente hacia el NE, llana y desértica, que han sido originadas por el relleno de una cuenca, de probable origen tectónico, por depósitos clásticos continentales y acumulaciones de mantos de arena y dunas. En esta unidad los valles de los ríos Sihuas y Vitor se tornan angostos y profundos (600 m).

  Se desarrolla sobre rocas de las formaciones Moquegua, Sotillo y los aluviales pleistocenos.

- **UNIDAD (V): Valle:** *En esta unidad se considera al río Sihuas-Vitor y sus diferentes denominaciones que recibe en su recorrido. Las características morfológicas varían, según las formaciones litológicas que cortan en su recorrido, diferenciándose hasta cuatro subunidades:*

  - **Subunidad (VA): Valle:** *Caracterizada por presentar flancos con pendientes moderadas, con aspecto de valle maduro en algunas zonas: Arequipa, Tingo, Tiabaya, Uchumayo y Quishuarani. Esta subunidad también se observa en las localidades de Taya y Huanca.*
  - **Subunidad (VI): Valle Estrecho Inundables:** *Con características de valle juvenil, de laderas empinadas, angostas y profundas, donde sus riberas están*

propensas a las inundaciones en épocas de precipitaciones. En algunos sectores los flancos de los valles presentan cicatrices de grandes deslizamientos, dando lugar, en apariencia, a un valle maduro. Esta subunidad comprende sectores de los ríos Sihuas y Vitor en un recorrido medio.

- **Subunidad (VC): Cañón:** *El cambio de litología en el lecho del río, en este caso al encontrarse con materiales resistentes, origina morfologías de valles de gran profundidad (hasta 600 m), con flancos casi verticales, con ensanchamiento reducido y sin fondo plano, con características de "encañonamiento". Se localizan los cañones de los ríos Vitor y Sihuas al cortar la cordillera de la costa y el cañón de Charcani cuando el río flanquea a los volcanes Misti y Chachani.*

Faja litoral (FL), desembocadura del río Quilca

Pampa costanera (Pc). Tramo entre el Km. 924 al 929 de la carretera Panamericana Sur, pampa de Sihuas; obsérvese las acumulaciones de arena

- **Subunidad (VD: Cono de Deyección:** *Formado por el cono deyectado del río Quilca (denominación final), de pendiente moderada, que a partir de Pueblo Nuevo se extiende sin mucho desarrollo debido a la presencia del Batolito de la costa. En la* ***foto N°04*** *se observa parte de esta subunidad.*

- **UNIDAD (CO): Cordillera Occidental:** *Esta unidad esta sub – dividida en 5 subunidades. Es importante mencionar que el ALTIPLANO ha sido dividido en 3 subunidades: Conos volcánicos, Lomadas y Llanuras. No considerándosele como unidad.*

2.4 Parámetros geomorfológicos

De acuerdo con el Estudio Geodinámico de las Cuencas del rio Quilca, Sihuas y Vitor (INGEMMET, 1997), se puede mencionar que el efecto común de las acciones reciprocas entre el suelo, factores geológicos, agua y vegetación es el escurrimiento o corriente de agua. La determinación de parámetros geomorfológicos trata de establecer relaciones entre el

comportamiento del régimen hidrológico de la cuenca del rio Quilca (ríos Sihuas y Vitor) y las características geomorfológicas de la misma.

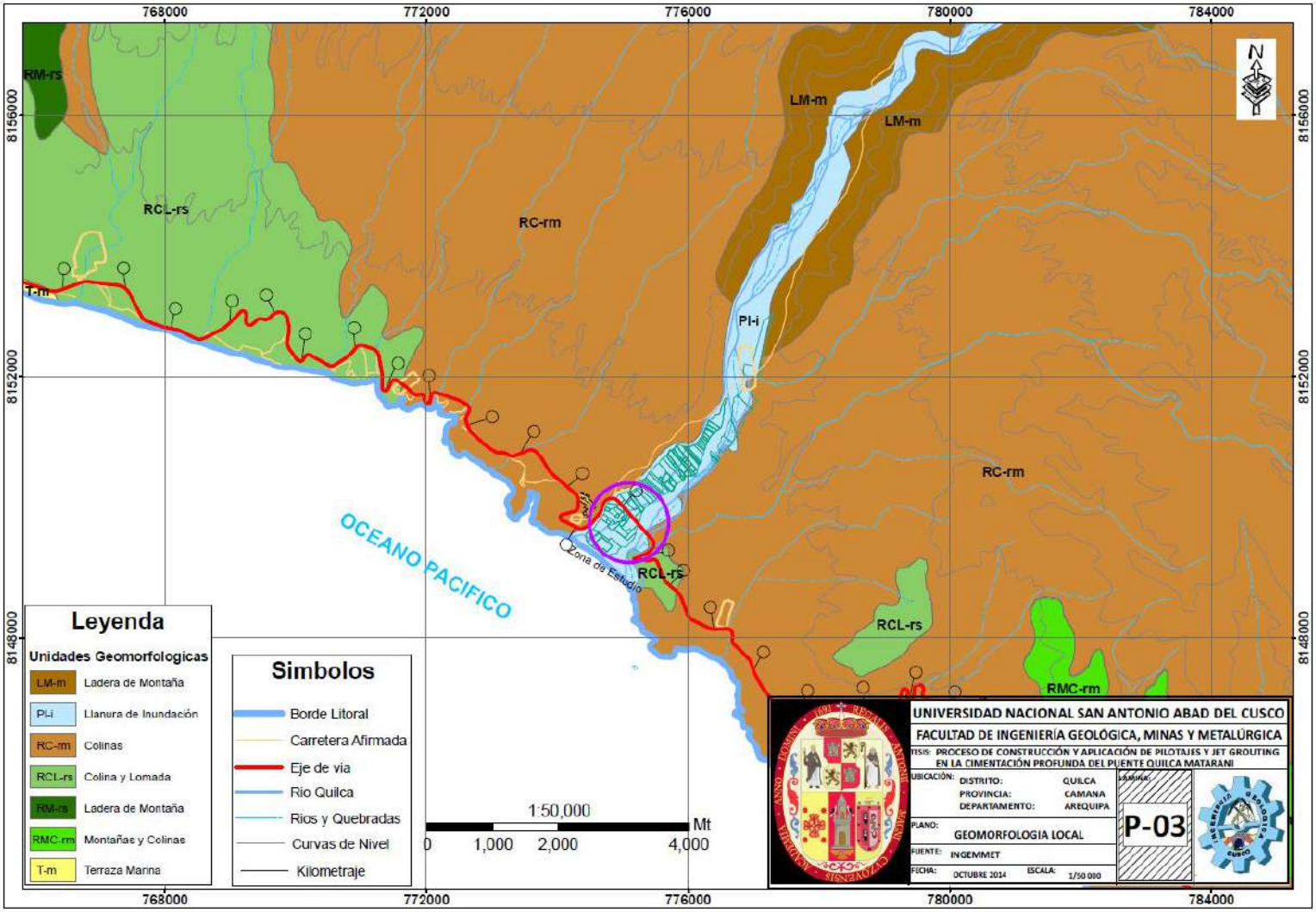
- **Área total de la cuenca (A).-** *Se considera a toda el área del terreno cuyas precipitaciones son evacuadas por el sistema común de cauces del rio Cañete, comprendida desde la divisoria de aguas hasta su desembocadura en el mar. (A= 12 839,16 Km^2).*

- **Coeficiente de compacidad (Kc). -** *Si su valor se acerca la unidad entonces habrá mayor oportunidad de crecientes, trayendo como consecuencia mayores probabilidades de ocurrencia de inundaciones, erosiones, etc. (Kc= 1.57, lo que nos indica que es una cuenca alargada y las crecientes se limitan a la época de avenidas, acumulándose el agua de las crecidas en las partes bajas de la cuenca, que es característica común de los ríos de la costa).*

- **Factor de forma (Ff). -** *Es la relación entre el ancho medio de la cuenca y la longitud del curso de agua más largo, en este caso el rio Quilca. (Ff=0.13, lo cual explica o describe la forma alargada de la cuenca).*

- **Pendiente media de la cuenca (Ic). -** *La cuenca del río Quilca (ríos Sihuas-Vitor) tiene una pendiente promedio de (1.54% y 4.24% de inclinación promedio del terreno).*

Los parámetros geomorfológicos mostrados son índices auxiliares de importancia que, en conjunción con otros factores como clima, vegetación, hidrología, litología, etc., proporcionan datos valiosos del comportamiento geomorfológico geodinámico de la cuenca.


768000
772000
776000
780000
784000
8156000
8152000
8148000
RM-rs
RCL-rs
RC-rm
T-m
LM-m
LM-m
PI-i
RC-rm
RCL-rs
RCL-rs
RMC-rm
OCEANO PACIFICO
Zona de Estudio
N
Leyenda
Unidades Geomorfologicas
LM-m Ladera de Montaña
PI-i Llanura de Inundación
RC-rm Colinas
RCL-rs Colina y Lomada
RM-rs Ladera de Montaña
RMC-rm Montañas y Colinas
T-m Terraza Marina
Simbolos
Borde Litoral
Carretera Afirmada
Eje de via
Rio Quilca
Rios y Quebradas
Curvas de Nivel
Kilometraje
1:50,000
0 1,000 2,000 4,000 Mt
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN: DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
LÁMINA: P-03
PLANO: GEOMORFOLOGIA LOCAL
FUENTE: INGEMMET
FECHA: OCTUBRE 2014 ESCALA: 1/50 000

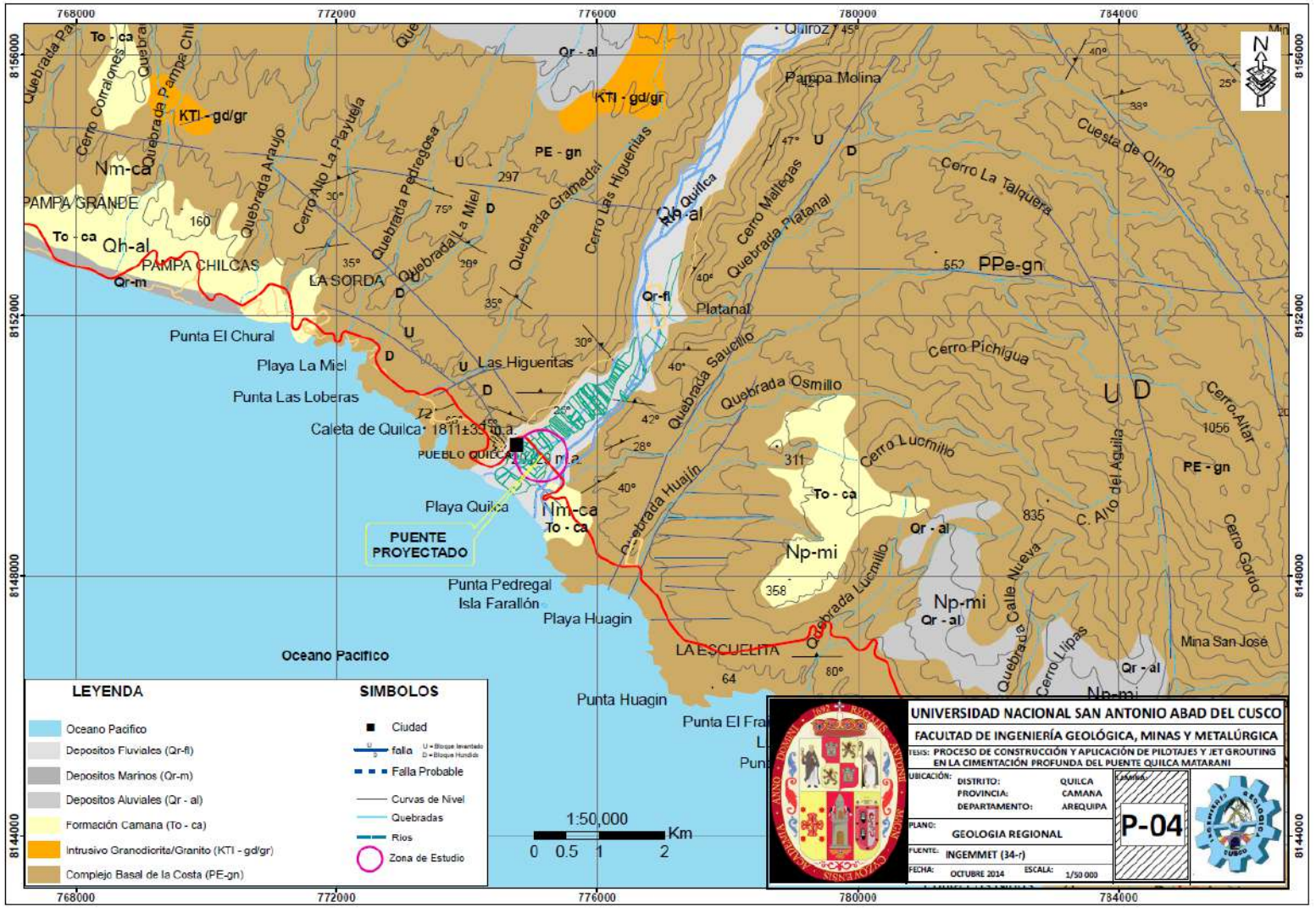
III. CAPITULO III:

GEOLOGIA REGIONAL

3.1 Generalidades

La geología regional está conformada por rocas más antiguas (edad pre cambriana a paleozoico inferior) de la región que afloran a lo largo de la Complejo Basal de la Costa, consisten en gneis y esquistos que se asumen al Pre Cambriano y comienzos del Paleozoico Inferior. Durante el Devoniano Superior se habría producido una profunda denudación que alcanzo parcialmente al basamento cristalino; sobre dicha superficie se depositaron durante el Misisipiano, en un ambiente continental, las capas del Grupo Ambo.

Se sabe que las condiciones marinas iniciadas en el Pensilvaniano continuaron hasta el Permiano Inferior, sin embargo, los sedimentos correspondientes a esta última época no han sido encontrados en la costa sur del país debido probablemente a la erosión.


768000
772000
776000
780000
784000
8156000
8152000
8148000
8144000
Quebrada Pampa Chil
Cerro Corralones
Quebrada Araujo
Cerro Alto La Playuela
Quebrada Pedregosa
Quebrada La Miel
Quebrada Gramadal
Cerro Las Higueritas
Quebrada Quilca
Cerro Mallegas
Quebrada Platanal
Cerro La Talquera
Cuesta de Olmo
Pampa Molina
Quiroz
To - ca
KTI - gd/gr
Qr - al
PE - gn
Nm-ca
PAMPA GRANDE
Qh-al
PAMPA CHILCAS
Qr-m
LA SORDA
Qr-fl
Plataná
PPe-gn
Punta El Chural
Playa La Miel
Punta Las Loberas
Las Higueritas
Caleta de Quilca
1811±35 a.a
PUEBLO QUILCA
Playa Quilca
PUENTE PROYECTADO
Quebrada Saucillo
Quebrada Osmillo
Cerro Pichigua
Cerro Lucmillo
Quebrada Huajín
Np-mi
Punta Pedregal
Isla Farallón
Playa Huagin
Oceano Pacifico
LA ESCUELITA
Punta Huagin
Punta El Fra
Quebrada Lucmillo
Quebrada Calle Nueva
Cerro Lipas
Mina San José
C. Alto del Aguila
Cerro Altar
Cerro Gorda
1056
835
311
358
64
LEYENDA
Oceano Pacifico
Depositos Fluviales (Qr-fl)
Depositos Marinos (Qr-m)
Depositos Aluviales (Qr - al)
Formación Camana (To - ca)
Intrusivo Granodiorite/Granito (KTI - gd/gr)
Complejo Basal de la Costa (PE-gn)
SIMBOLOS
Ciudad
falla
Falla Probable
Curvas de Nivel
Quebradas
Rios
Zona de Estudio
1:50,000
0 0.5 1 2 Km
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN:
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: GEOLOGIA REGIONAL
FUENTE: INGEMMET (34-r)
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: 1/50 000
P-04

En base a lo expuesto, se infiere que durante el Paleozoico la región sufrió una serie de transgresiones y regresiones, depositando tanto sedimentos marinos como continentales, los cuales sufrieron sucesivas y prolongadas denudaciones, a tal grado que en muchos sitios han sido completamente removidos antes de iniciarse los tiempos mesozoicos.

En el área en discusión, al igual que en el resto de país, no se reconocen depósitos del Triásico Inferior y Medio, se supone que durante esta época el país permaneció emergido y en denudación. Enunciado geología regional; en el estudio definitivo de la carretera Camaná – Dv Quilca – Matarani – Ilo – Tacna – Tramo Dv. Quilca Matarani. Estudio Definitivo ALPHA CONSULT S.A. – CONESUPSA S.A.

3.2 Estratigrafía regional

En la región se han diferenciado rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades van desde el Pre Cámbrico hasta el Cuaternario. Las rocas más antiguas están representadas por el Complejo Basal de la Costa constituido por gneis, mica esquistos, migmatitas, dioritas gnéisicas y granito rojo, entidad que en conjunto se considera de edad Pre Cámbrica a Paleozoico Inferior. Rocas del Paleozoico Medio y Superior, así como del Triásico Inferior y Medio no se han reconocido en el área, la ausencia de formaciones de estas edades probablemente se debe a erosión en unos casos y a no deposición en otros.

3.3 Complejo Basal de la Costa

Comprende en la zona de estudio el afloramiento de rocas metamórficas y de intrusiones. En gran parte del área evaluada principalmente se presentan las primeras conformadas por un gneis color gris verdoso con textura bandeada, así como también intrusiones de granitos color blanco grisáceo a blanco con tonos rosados.

El gneis abarca principalmente en las cercanías del pueblo de Quilca, la roca se extiende desde el litoral hasta la parte continental formando zonas rocosas de elevaciones medias que con el avance se hacen de mayor altura. En el Complejo Basal de un modo general presenta principalmente dos tipos de rocas; gneis y granito rosado.

Gneis; *es la roca más antigua del área, sus afloramientos se presentan en forma más o menos paralela al litoral pacífico, constituyendo el mayor volumen de las rocas de la Cordillera de la Costa.*

Esta roca metamórfica aflora dentro de los primeros 30 km, desde el km 25+100 antes de la Quebrada Pedregosa y se acentúa en los posteriores kilómetros llegando al pueblo de Quilca. Posteriormente al km 30, existen afloramientos grandes como en la Quebrada San José y la Quebrada Honda entre los km 60 y 70, también pequeños tramos rocosos de gneis gris bandeado.

Granito; *esta roca se presenta en forma de stocks, diques y pequeñas apófisis instruyendo a los gneis. Es de color rojizo, de grano medio a grueso; a simple vista se reconoce ortosa, cuarzo, plagioclasas, biotita y hornblenda. La roca se clasifica como granito potásico.*

Pegmatitas; *este tipo de roca se presenta en diques, lentes, venillas y masas irregulares. Sus minerales esenciales son ortosa, cuarzo y moscovita; accesoriamente se distinguen biotita y flogopita, esta última generalmente en contacto con el gneis. Numerosos diques pegmatíticos se hallan distribuidos entre el valle del rio Quilca por el NW y la Quebrada Calahuani por el SE.*

Edad y correlación; *las rocas del Complejo Basal han sido estudiadas por varios autores en la costa sur del país, todos ellos coinciden en asignarles una edad que va del Pre Cámbrico al Paleozoico Inferior, teniendo en consideración su alto grado de metamorfismo y de su posición infra yacente con fuerte discordancia angular a rocas más jóvenes del*

Paleozoico como las areniscas. El granito y los diques pegmatíticos cortan nítidamente al gneis indicando que la edad de este es más antigua. Por las relaciones expuestas se concluye que el Complejo Basal es del Precámbrico a Paleozoico Inferior.

3.4 Formación Camaná

Secuencia marina de areniscas y lutitas que afloran en el área de estudio. La formación se caracteriza por su coloración blanco-amarillenta y formando parte de la costa de la zona de Camaná pasando por Quilca y Matarani.

La litología de la formación consiste en la parte inferior de areniscas de grano medio de color blanco amarillento estratificadas en capas delgadas; hacia arriba la secuencia continua con arcillas impuras de color blanco en capas finas; en el tope de la sección se distinguen bancos de conchíferos con una matriz arenosa medianamente compactadas. Se evidencia claramente en el tramo de los acantilados con dirección al poblado de Quilca.

Aflora desde el km 4+800 del desvío a Quilca y en algunos tramos se observan junto con depósitos cuaternarios de arenas.

Edad y correlación; *durante el estudio de campo no se han encontrado fósiles en esta formación, sin embargo, el hallazgo de Miogypsina Gunteri Cole (Miogypsina) y Miogypsina Ecuadorensis (Ten Sin Hok) del Oligoceno Medio a Superior (Ruegg, 1952) en la misma formación del área de Camaná nos permite asignarles la misma edad basándonos en los afloramientos en la continuidad de los afloramientos entre ambas localidades.*

Depósitos Aluviales

Depósitos de conglomerados con intercalaciones de gravas, arenas, arcillas y a veces tufos. Su composición consiste principalmente de rocas volcánicas y secundariamente de rocas intrusivas de matriz areno arcillosa.

Los cantos tienen forma sub redondeada hasta angulosas de tamaño medio.

Ubicado en el valle y márgenes del rio Quilca, su afloramiento nos indica que se han formado en una época de fuertes precipitaciones y abundante escorrentía, condiciones que prevalecieron en las partes altas de los andes durante las etapas de glaciación y deglaciación del Pleistoceno.

Estos depósitos aluviales se han depositado antes de que se formaran los cauces de los ríos actuales pues se les nota claramente cortados por ellos.

Terrazas Marinas

Al borde del litoral, entre el valle de Quilca, se encuentran pequeños remanentes de terrazas marinas que reposan sobre la superficie de abrasión de las rocas del Complejo Basal.

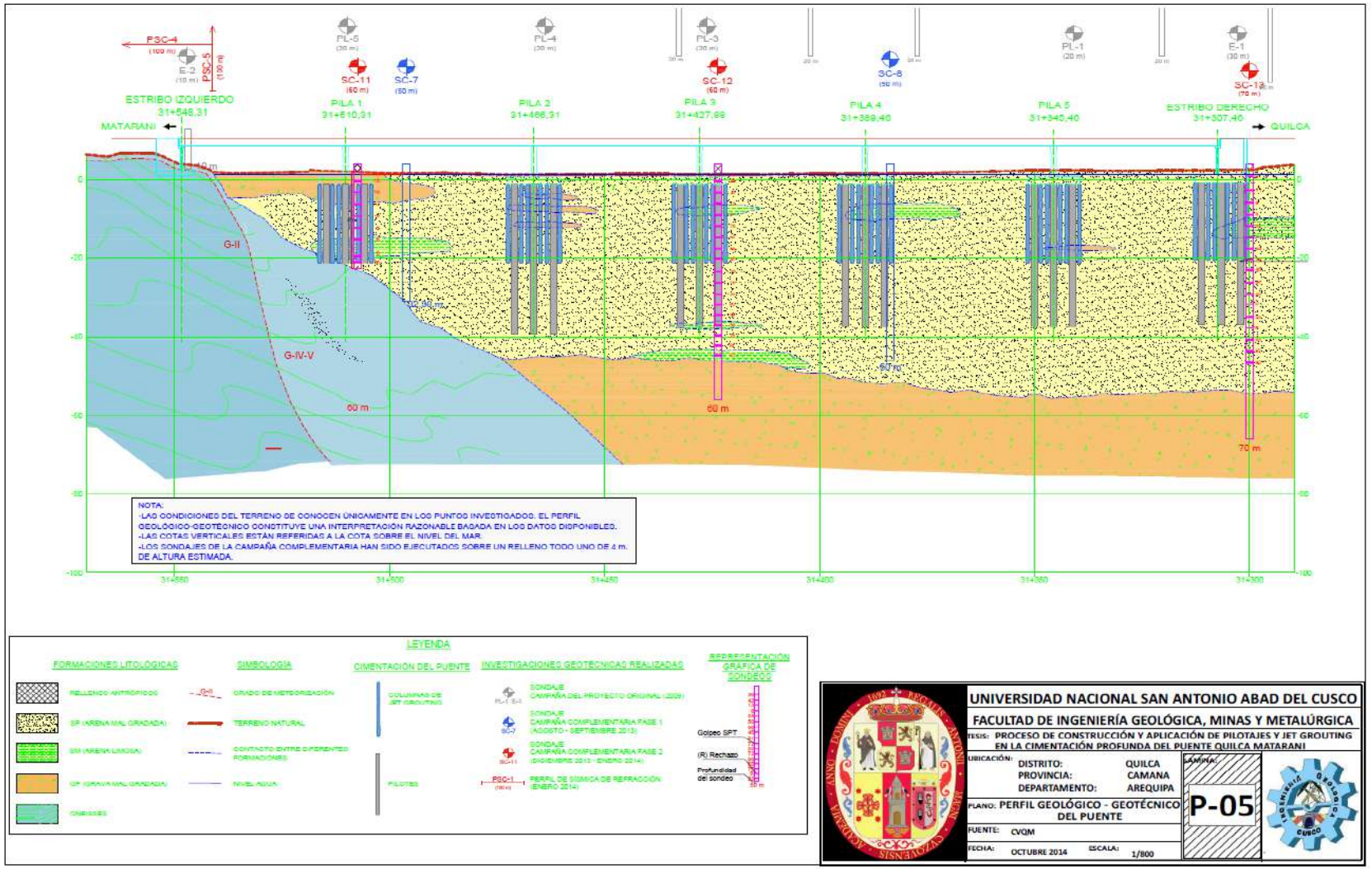
Están constituidas por capas horizontales de gravas bien redondeadas en matriz areno arcillosa, arenas conglomeráticas y bancos de conchas trituradas. El espesor de estos depósitos no pasa los 10 metros. Parcialmente están cubiertos por un material arcilloso de color amarillento.

Por correlación con depósitos similares de otros lugares de la costa se les considera del Pleistoceno.

Depósitos Cuaternarios Recientes

Lo conforman los depósitos aluviales, eólicos y de playa de composición heterogénea que cubren parcialmente a las formaciones más antiguas. Se presentan a amanera de terrazas compuestas de conglomerados con intercalaciones de gravas, arenas y lentes de tufos.

Muy evidentes y en gran extensión son los depósitos de arenas y de cenizas volcánicas que cubren grandes áreas de la zona evaluada. Son finos y de color blanco a crema y se extiende hasta las zonas más próximas al litoral.


ESTRIBO IZQUIERDO
31+548,31
MATARANI
PILA 1
31+510,31
PILA 2
31+466,31
PILA 3
31+427,89
PILA 4
31+389,40
PILA 5
31+340,40
ESTRIBO DERECHO
31+307,40
QUILCA
G-II
G-IV-V
60 m
70 m
NOTA:
-LAS CONDICIONES DEL TERRENO SE CONOCEN ÚNICAMENTE EN LOS PUNTOS INVESTIGADOS. EL PERFIL GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO CONSTITUYE UNA INTERPRETACIÓN RAZONABLE BASADA EN LOS DATOS DISPONIBLES.
-LAS COTAS VERTICALES ESTÁN REFERIDAS A LA COTA SOBRE EL NIVEL DEL MAR.
-LOS SONDAJES DE LA CAMPAÑA COMPLEMENTARIA HAN SIDO EJECUTADOS SOBRE UN RELLENO TODO UNO DE 4 m. DE ALTURA ESTIMADA.
LEYENDA
FORMACIONES LITOLÓGICAS
SIMBOLOGÍA
CIMENTACIÓN DEL PUENTE
INVESTIGACIONES GEOTÉCNICAS REALIZADAS
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE SONDEOS
Golpeo SPT
(R) Rechazo
Profundidad del sondeo
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN:
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: PERFIL GEOLÓGICO - GEOTÉCNICO DEL PUENTE
LÁMINA: P-05
FUENTE: CVQM
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: 1/800

3.5 Geología Local

El puente está ubicado en el delta del río Quilca, conformado por depósitos aluviales de gravas arenosas.

Margen derecha: *Conformada por depósitos aluviales de gravas arenosas y arenas finas de baja compacidad.*

Depósitos de conglomerados con intercalaciones de gravas, arenas, arcillas y a veces tufos.

Su composición consiste principalmente de rocas volcánicas y secundariamente, de rocas intrusivas de matriz areno arcillosa.

Los cantos tienen formas sub redondeadas hasta angulosas de tamaño medio. Ubicados en el valle y márgenes del río Quilca siguiendo el camino después del pueblo Km. 30+000 al Km. 31+000.

Margen Izquierda: *Conformada por un afloramiento rocoso de rocas tipo gneis, esta roca es la más antigua del área, sus afloramientos se presentan en forma más o menos paralela al litoral pacífico, constituyendo el mayor volumen de las rocas de la Cordillera de la Costa.*

Las bandas claras están constituidas por ortosa y cuarzo hialino, y las oscuras, por micas (principalmente biotita) y horblenda.

En gran parte del área evaluada principalmente se presentan las primeras conformaciones por un gneis color gris verdoso con textura bandeada, así como también intrusiones de granito color blanco grisáceo a blanco con tonos rosados.

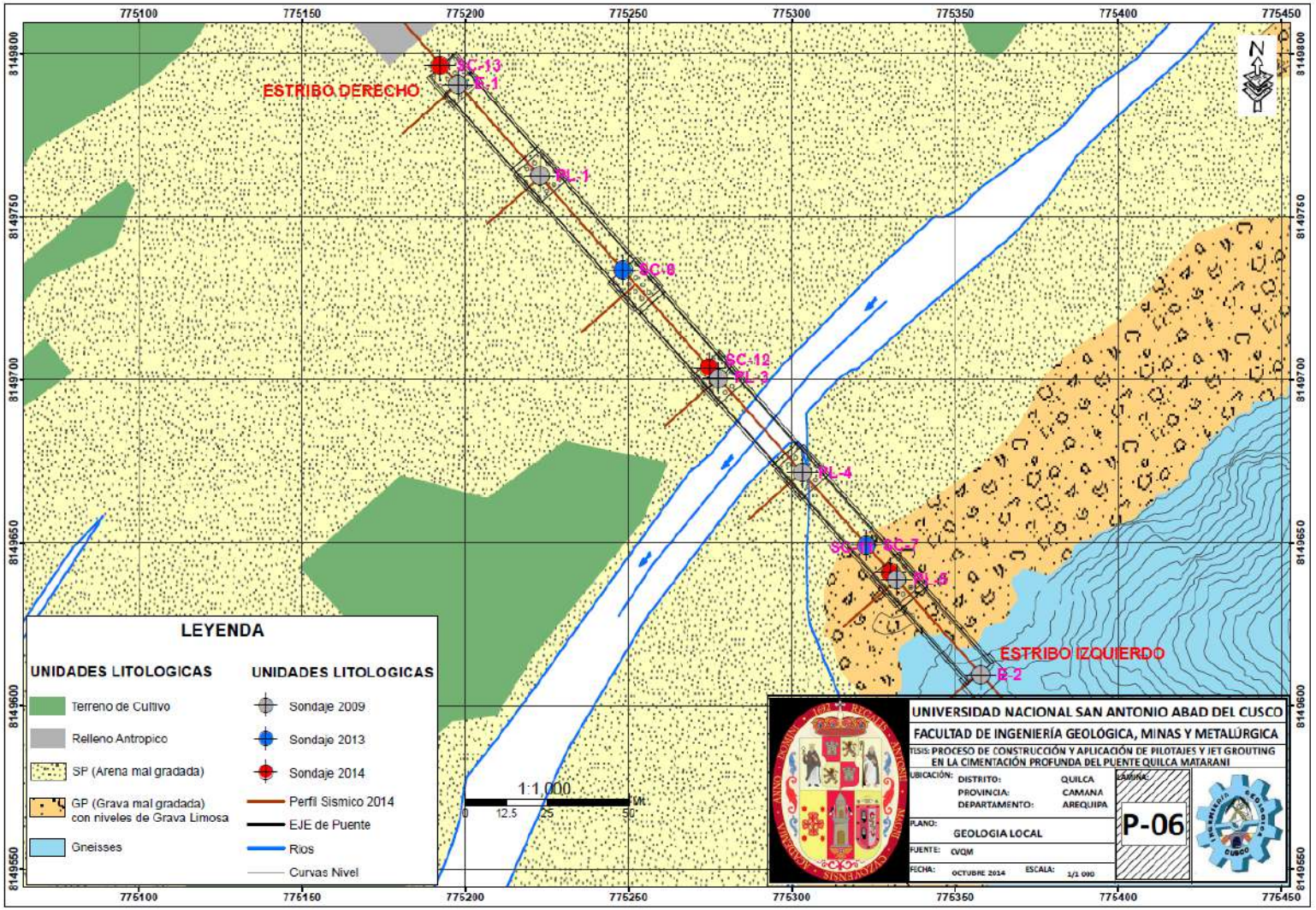

ESTRIBO DERECHO
ESTRIBO IZQUIERDO
SC-13
E-1
PL-1
SC-8
SC-12
E-3
PL-4
SC-11
SC-7
PL-6
E-2
LEYENDA
UNIDADES LITOLOGICAS
Terreno de Cultivo
Relleno Antropico
SP (Arena mal gradada)
GP (Grava mal gradada) con niveles de Grava Limosa
Gneisses
UNIDADES LITOLOGICAS
Sondaje 2009
Sondaje 2013
Sondaje 2014
Perfil Sismico 2014
EJE de Puente
Rios
Curvas Nivel
1:1,000
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN: DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: GEOLOGIA LOCAL
FUENTE: GVQM
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: 1/1 000
LAMINA: P-06

Tabla N°01.- Columna Estratigráfica de la cuenca del rio Quilca (ríos Sihuas y Vitor)

COLUMNA ESTRATIGRAFICA DE LA CUENCA DEL RIO QUILCA (RIOS SIHUAS - VITOR)				
ERA	SISTEMA	SERIE	UNIDADES ESTRATIGRAFICAS	ROCAS INTRUSIVAS
CENOZOICA	CUATERNARIO	Reciente	Depositos Aluviales Depositos Marinos Depositos Fluviales Depositos Coluviales Depoistos Eolicos Cenizas Volcanicas Depositos Piroclasticos Depositos Chihuata Volcanico Ubinas	
		Pleistocena	Terrazas Marinas Dep. Morrenicos y Fluvioglaciares Flujos de Barro "Lahar" Grupo Ampato Grupo Barroso Conglomerado Aluvial	
	TERCIARIO	Superior	Fm. Camaná Fm. Capillune Volcanico Sencca Fm. Millo Fm. Maure Grupo Sillapaca	
		Medio	Gpo. Tacaza	Porfidos e intrusivos Riodacita (Tm-rd)
		Inferior	Fm. Sotillo Fm. Huanca Fm. Moquegua Gpo. Puno	Superunidad Tiabaya (K Ti) Monzogranito, granodiorita, tonalita, diorita
MESOZOICA	CRETÁCEO	Superior	Fm. Seraj Fm. Toquepala Fm. Chilcane	
		Inferior	Fm. Arcurquina Fm. Marco	
	JURASICO	Superior	Fm. Yura	
		Medio	Fm. Socosani	
		Inferior	Volcánico Chocale	
PALEOZOICA			Batolito se San Nicolás	Granodiorita, monzogranito (Batolito de San Nicolás)
PRECÁMBRICA			Gneis de Charcani	Granodiorita, monzogranito (Batolito de San Nicolás)
			Complejo Basal de la Costa	Esquistos, granito, diorita gnéisica

Fuente: Estudio Geodinámico de las cuencas de los ríos Quilca, Sihuas y Vitor. INGEMMET, 1997.

Las bandas claras están constituidas por ortosa y cuarzo hialino, y las oscuras, por micas principalmente biotitas y hornblenda. En gran parte del área evaluada principalmente se presentan las primeras, conformadas por un gneis color gris verdoso con textura bandeada, así como también intrusiones de granitos color blanco grisáceo a blanco con tonos rosados.

3.6 Geología Estructural Regional

Las fallas constituyen los rasgos estructurales más importantes observados a lo largo de los cerros de la Cadena Costanera, donde afectan a las rocas del Complejo Basal de la Costa.

A lo largo de las escarpas no se distinguen brechas ni espejos de falla, las cuales se supone han desaparecido por erosión. Tampoco ha sido posible determinar el desplazamiento producido por las fallas por la ausencia de horizontes guías reconocibles en el gneis, solamente en casos excepcionales se han determinado saltos de fallas de más de 20 m.

Se agrupan en dos sistemas:

- **Fallas del sistema Este-Oeste**; *en algunos casos se trata de contacto-fallas entre los metamórficos del Complejo Basal y los cuerpos intrusivos, pero mayormente dislocan la roca del basamento.*

La falla más importante es la de Pampa Blanca, esta estructura se reconoce desde el cerro Caballo Blanco en el este hasta el cerro Yuta en el oeste, es decir, en una distancia de 13 a 15 km. El recorrido de la falla está señalado por escarpas casi verticales y quebradas más o menos rectas. En algunos tramos de la falla se observan rocas calizas y milonitizadas de pocos metros de ancho, así como pequeños diques diabasicos. De la inclinación de la escarpa se deduce que el plano de falla buza de 70° a 75° al sur.

A unos 2 km al norte del extremo oeste de la falla Pampa Blanca, se reconoce otra falla con rumbo N75°W que corre por una distancia de 10 a 12 km dislocando un cuerpo granítico que intruye a los gneis. La escarpa que denota la falla se inclina hacia el sur.

- **Fallas del sistema Noreste-Sureste**; *en este grupo se consideran todas las fallas cuyos rumbos varían entre NNW-SSE y NW-SE. La mayoría de estas fallas se encuentran entre Mollendo y el valle de Quilca. Las escarpas de algunas de las fallas se han seguido con ligeras discontinuidades por distancias de dos o tres decenas de kilómetros. Las fallas del sistema descrito interceptan y desplazan a las fallas de rumbo Este-Oeste, lo que significa que son posteriores. Una de las fallas más importantes del sistema NW-SE son:*

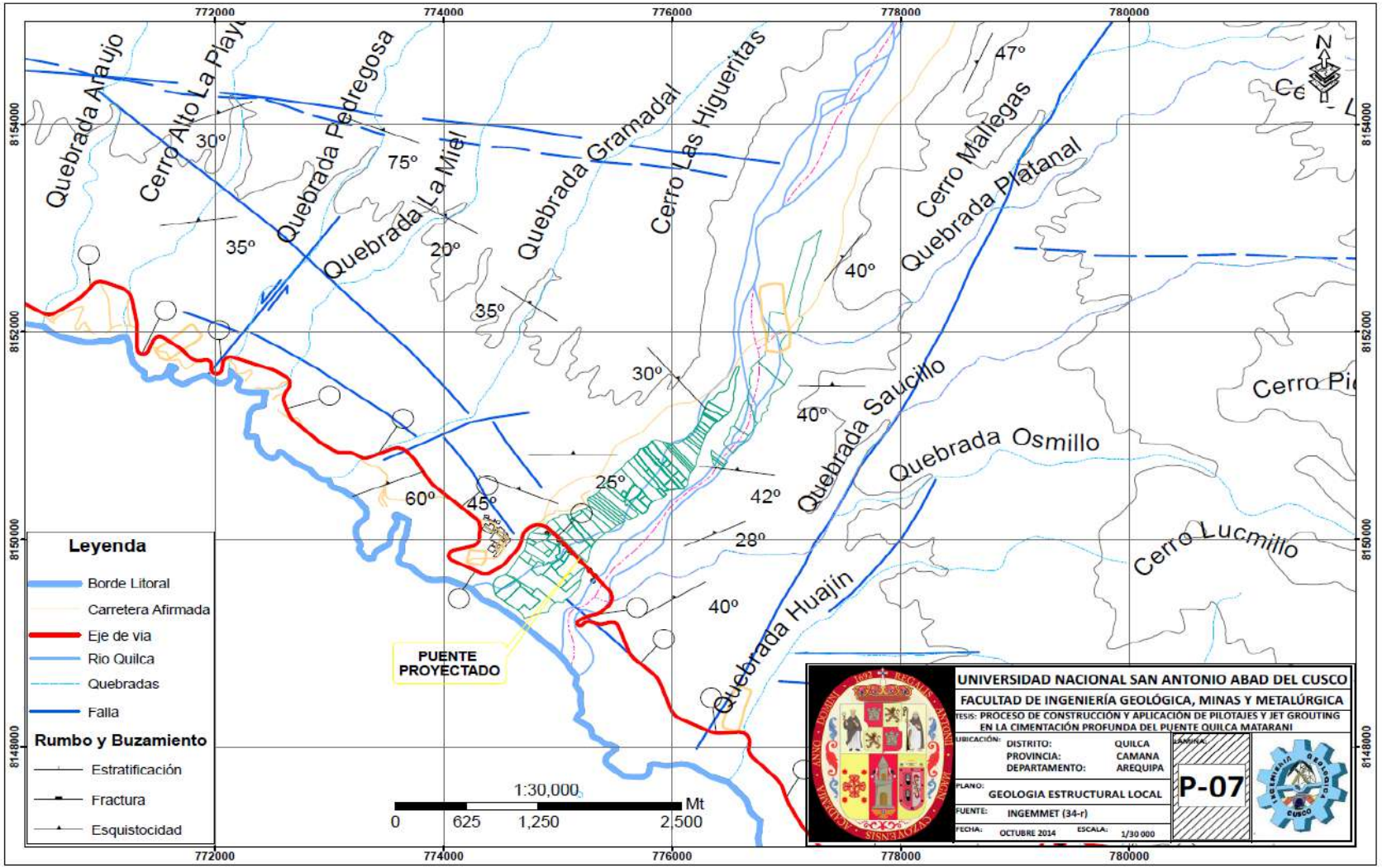
La que se ubica entre Tarpuy por el sur y Contadero por el norte, es una falla con azimut N 320° aunque en sus extremos se le nota un ligero arqueamiento hacia el este. A lo largo de su recorrido contra los gneis y granitos antiguos, aunque en ciertos tramos constituye un contacto falla. El bloque hundido viene a ser del lado SW, La falla ha sido reconocida por cerca de 20 km.

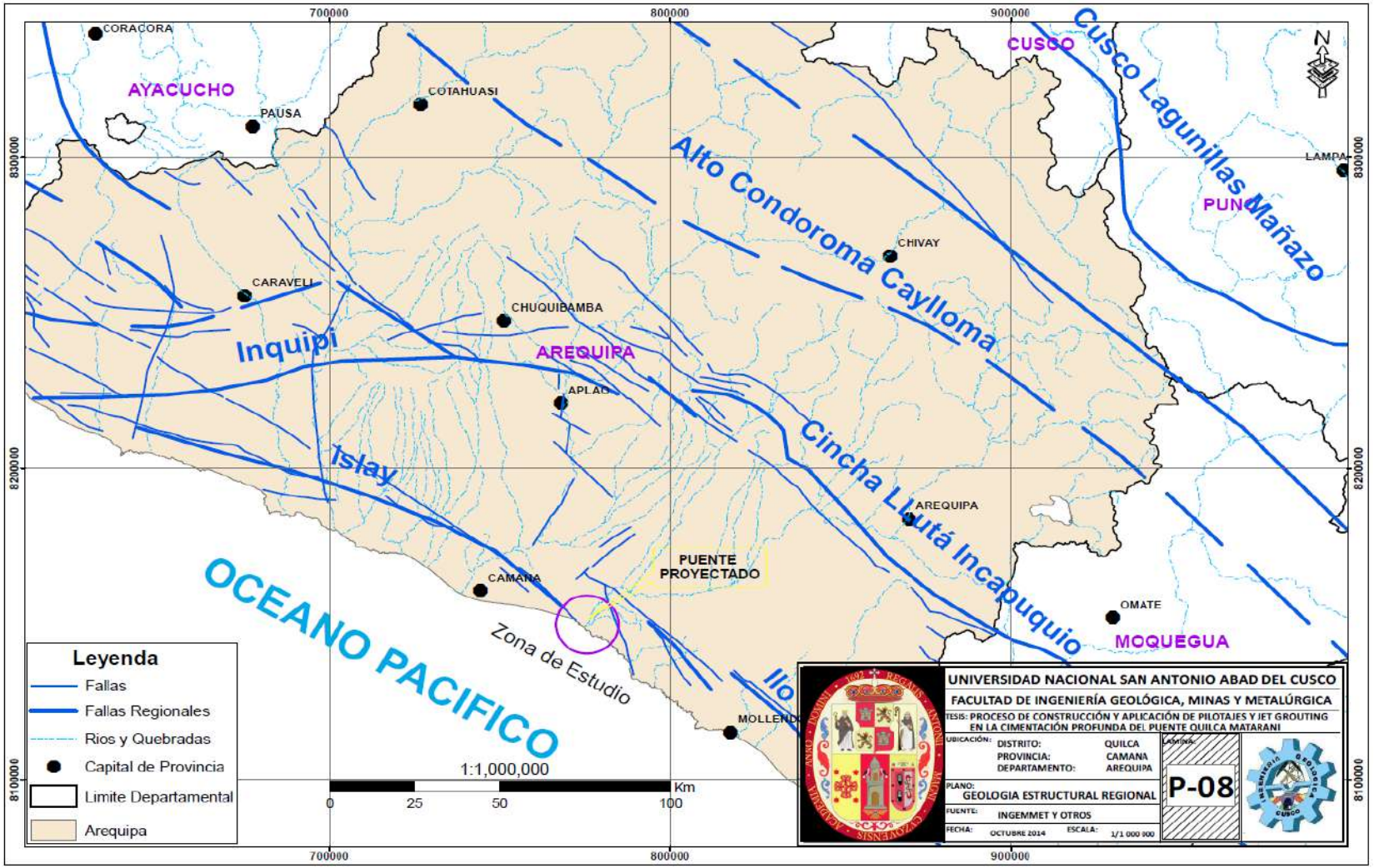
- **Diaclasas**; *las rocas intrusivas del Batolito de La Caldera muestran diversos grados de diaclasa miento. Los macizos ígneos del borde norte tienen diaclasas débiles y buzamiento muy variados. La zona más intensa se observa en el gran macizo denominado Complejo Linga. Aunque no se ha medido con mayor detalle las diaclasas existentes en este cuerpo, se puede asegurar que hay dos sistemas de juntura miento predominantes, uno de rumbo NW-SE y otro en dirección NE-SW. Estos sistemas dividen a las rocas en bloques tabulares y prismáticos de diversas dimensiones.*

3.7 Geología estructural local

Estructuralmente la cuenca muestra evidencias de haber soportado movimientos epirogénicos y orogénicos de diferente intensidad, de acuerdo con ello es posible distinguir las siguientes características:

- *Existe un grupo de fallas con rumbo general este – oeste a pocos kilómetros al norte de Pueblo Nuevo (desembocadura del rio Quilca). La falla se puede seguir por cerca de 20 km desde la parte alta de la mina San José hacia el oeste. Esta falla se prolonga hasta la zona de Camaná.*
- *Otro grupo de fallas con rumbo general noreste – sureste se encuentra entre Mollendo y el Valle del Quilca. En esta zona se desarrolla la falla ubicada entre la Quebrada Verde por el sur y el Valle del rio Quilca por el norte, siendo una falla de cerca de 30 km de longitud con rumbo promedio N40ºW, su recorrido está señalizado por una serie de quebradas rectas y a veces por cuellos en las cumbres de los cerros. La falla corta rocas metamórficas y un cuerpo de granodiorita del Cretáceo-Terciario.*
- *La zona de estudio para la cimentación del puente Quilca Matarani, es un valle de topografía casi plana el mismo que no presenta fallas regionales y locales cercanas a la zona de estudio donde será construido la cimentación del puente, los mismos que resultan ser favorables para la construcción del puente Quilca Matarani.*


772000
774000
776000
778000
780000
8154000
8152000
8150000
8148000
Quebrada Araujo
Cerro Alto La Playa
Quebrada Pedregosa
Quebrada La Miel
Quebrada Gramadal
Cerro Las Higueritas
Cerro Mallegas
Quebrada Platanal
Quebrada Saucillo
Quebrada Osmillo
Quebrada Huajín
Cerro Lucmillo
30°
75°
35°
20°
35°
47°
40°
30°
40°
25°
42°
28°
40°
60°
45°
PUENTE PROYECTADO
Leyenda
Borde Litoral
Carretera Afirmada
Eje de via
Rio Quilca
Quebradas
Falla
Rumbo y Buzamiento
Estratificación
Fractura
Esquistocidad
1:30,000
0
625
1,250
2,500
Mt
N
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN:
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL
FUENTE: INGEMMET (34-r)
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: 1/30 000
LÁMINA:
P-07


700000
800000
900000
8300000
8200000
8100000
CORACORA
AYACUCHO
PAUSA
COTAHUASI
CUSCO
Cusco Laguniillas Mañazo
PUNO
LAMPA
CHIVAY
Alto Condoroma Caylloma
CARAVELI
CHUQUIBAMBA
AREQUIPA
Inquipi
APLAO
Islay
Cincha Lluta Incapuquio
AREQUIPA
PUENTE PROYECTADO
CAMANA
OCEANO PACIFICO
Zona de Estudio
OMATE
MOQUEGUA
MOLLENDO
Leyenda
Fallas
Fallas Regionales
Rios y Quebradas
Capital de Provincia
Limite Departamental
Arequipa
1:1,000,000
0
25
50
100
Km
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN:
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL
FUENTE: INGEMMET Y OTROS
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: 1/1 000 000
LÁMINA:
P-08

IV. CAPITULO IV:

HIDROLOGIA

4.1 Generalidades

La región donde se desarrolló la construcción del puente Quilca Matarani corresponde a áreas de desierto costero del sur de nuestro país y a las estribaciones de la cordillera andina, con precipitación escasa y de carácter estacional.

En lo que respecta a las cuencas colectoras de los cursos hídricos comprometidos, la cuenca del rio Quilca (único curso hídrico de gran magnitud de la zona) comprende más de 12 000 km2 de área colectora que incluye zonas de alta precipitación de carácter estacional y distribución errática.

Las cuencas de los demás cursos de agua son de relativamente pequeña extensión y se distribuyen principalmente dentro de la zona costera o bajo andina presentando mucha menor precipitación y un patrón de distribución marcadamente más erráticos que el del rio Quilca.

4.2 Descripción general de la Zona de Estudio

La cuenca del rio Quilca forma parte de la Vertiente del Pacifico encontrándose situado en el sector meridional de la costa del país.

La cuenca tiene forma suigéneris, asemejándose en general a la de todas las cuencas de la costa, es decir, ancho en la parte alta y estrecha en la desembocadura, ocupando una extensión aproximada de más de 12 000 km2, de los cuales aproximadamente 7 000 km^2 situados por encima de los 2 000 m.s.n.m. corresponden a la cuenca húmeda. El sistema hidrográfico del rio Quilca tiene su origen en un grupo de pequeñas lagunas ubicadas en las partes altas de la cuenca y en las precipitaciones estacionales y deshielos de los grandes nevados que la circulan (nevado Ampato - Sabancaya).

El sistema hidrográfico de la cuenca presenta una pendiente promedio de aproximadamente 1.7% y está formado básicamente por dos redes hidrográficas (ríos Sihuas y Vitor) el cual difiere en su morfología de la mayoría de los ríos de la costa, estando formado por dos hoyas hidrográficas que se unen en las cercanías del litoral, estando limitadas en relación con las cuencas vecinas por cadenas de cerros que, en dirección al Océano Pacifico, muestran un descenso sostenido y rápido del nivel de cumbres. Presenta la siguiente ubicación geográfica:

- **Ubicación Geográfica**

– Latitud Sur 16º 39´44" y 16º 59´45"

– Longitud Oeste 72º 36´48" y 72º 06´16"

– Variación Altitudinal 0.00 – 6 310 m.s.n.m.

- **Límites de la cuenca**

– Por el norte y oeste con la Cuenca del rio Camaná - Majes

– Por el este y sur con la Cuenca del rio Tambo

– Por el oeste con el Océano Pacifico

- **Pluviometría**

La cuenca del rio Quilca (ríos Sihuas y Vitor) tiene un área de aporte efectivo de agua precipitada o "cuenca húmeda" de 7 749 km^2 sobre la cota de los 3 400 m que presenta precipitaciones anuales de entre 200 y 550 mm.

Las precipitaciones en lo que se denomina la "cuenca seca", cuya área es de 5 090.16 km^2, entre las cotas 0.0 hasta los 3 400 m se dan con promedios de 200 mm con lo cual se puede afirmar que existe una estrecha relación entre la altitud y la precipitación. Además, es de mencionar que las precipitaciones máximas en la zona de costa ocurren en los meses de Mayo a

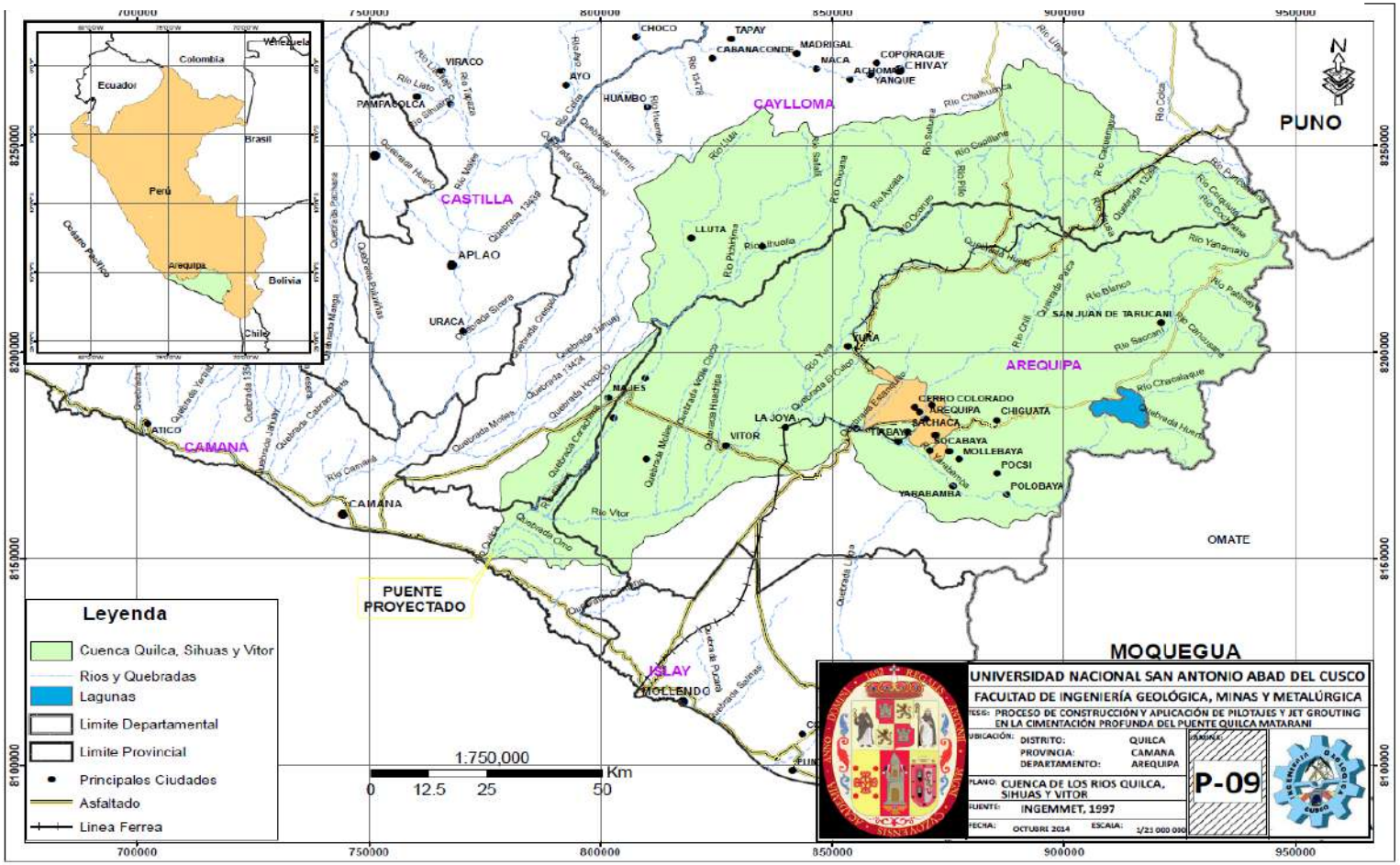
Octubre mientras que en la sierra las precipitaciones máximas ocurren en los meses de diciembre a marzo.

Foto N°: 06

Cuenca del río Quilca; vistas fotográficas aguas arriba y aguas abajo.

Foto N°: 07

Figura N° 02; *Estudio Geodinámica de las cuencas de los ríos Quilca, Sihuas y Vitor.*



Fuente: INGEMMET, 1997.

4.3 Registro de Caudales

De acuerdo con el Estudio Geodinámico de las cuencas del rio Quilca. Sihuas y Vitor (INGEMMET, 1997), el análisis del comportamiento de la cuenca del rio Quilca se basa en los registros de descarga de la estación de aforos de Charcani sobre el rio Chili.

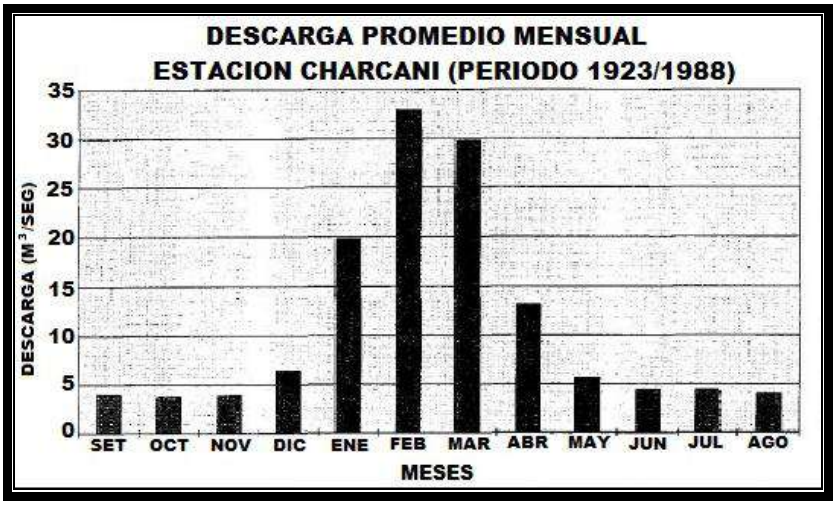
La estación de aforos de Charcani se encuentra ubicada en la cabecera del valle del rio Chili y controla un área aproximada de 4 145 km^2, que representa el 32% del área total de la cuenca de estudio.

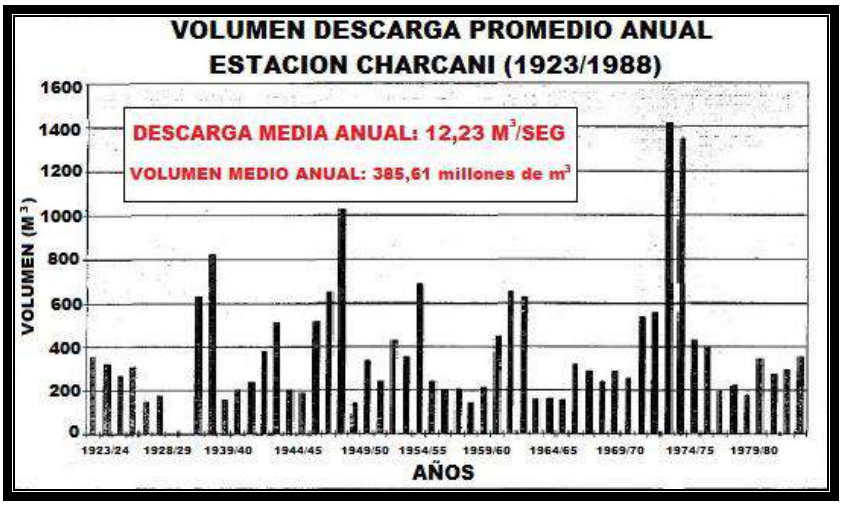
El escurrimiento superficial de los ríos Quilca, Sihuas y Vitor se origina en las precipitaciones que ocurren en su cuenca alta, concentrada en sus meses de diciembre a marzo, los deshielos de los nevados en la cuenca no representan aportes significativos y tienen muy poco aporte al escurrimiento ya que son bastante escasos, El área de los nevados cubre una extensión aproximada de 20 km2, circunscribiéndose solo al nevado Ampato-Sabancaya.

El análisis es realizado en base a los resultados de descargas medias mensuales reconstituidas (corrección por derivaciones y regulaciones) del rio Chili controladas durante el periodo de 1923 hasta 1987 con un lapsus entre 1931 – 1936.

El volumen promedio anual descargado por el rio Chili es de 380.32 millones de m3, con un promedio mensual anual de 12.23 m3/seg. El rendimiento anual de la cuenca es bajo en comparación con las cuencas del rio Colca (233.550 m3/km2) y tambo (134.480 m3/km2), esto se debería principalmente a las escasas precipitaciones en la cuenca alta como consecuencia de su peculiar morfología.

Figura N° 03 Histogramas de los volúmenes de descarga promedio mensual y la descarga promedio anual.





Fuente: Estudio en Proyecto Consorcio Quilca Matarani.

Metodología Empleada en el areado de las Cuencas Hidrográficas

4.4 Precipitación y/o Pluviometría

Desde el punto de vista hidrológico, la cuenca del rio Quilca finaliza en un valle de aproximadamente 800 m hacia el mar, pero en la parte alta de la cuenca es evidente que en el pasado han ocurrido precipitaciones fluviales de intensidades considerables cuyas aguas al discurrir siguiendo la pendiente del terreno hacia el mar han labrado su cauce con la roca génesis dando lugar a la aparición de quebradas con anchos, lagunas y/o embalses con profundidades que alcanzan varias decenas de metros. Su área de aportación es de 8 455.11

km2 y la longitud de su cauce principal es de 264.65 km desde la finalización del embalse "Aguada Blanca" hasta la sección de intersección con la carretera, estas características de la cuenca ofrecen un tiempo de concentración relativamente alto produciendo una descarga que fue estimada en 1 497.70 m^3/seg; para una vida útil de 100 años y 1 751.70 m^3/seg; para una vida útil de 200 años, este último se tomara como base para la estimación del diseño de la infraestructura.

4.5 Precipitación Máxima Diaria

Los datos empleados corresponden a los valores de precipitaciones máximas en 24 horas registradas.

Los análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas diarias se efectuaron en base a la distribución "Normal", "Log Normal", Gumbel y la "Log Pearson tipo III". Por lo general son las dos últimas las que mejor se adecuan ya que estas brindan un mayor ajuste para los valores extremos, pero no siempre se cumple esto, habiendo en algunos casos alguna excepción.

El uso de las distribuciones Normal y Log Normal se acepta o descarta mediante la prueba de X2, o la del coeficiente de simetría que debe ser estadísticamente igual a cero. Se escoge la distribución más representativa utilizando un método para comprobar la bondad del ajuste, tal como el método de Smirnov – Kolmogoro, tabla N° 02. de las Investigaciones de precipitaciones máximas.

Tabla N°02 de Precitaciones máximas en 24 Hrs zona de Proyecto Quilca.

TABLA DE PRECIPITACIONES MAXIMA EN 24 HORAS EN LA ZONA DEL PROYECTO	
Tr (años)	P 24 (mm)
	Camaná
10	9.18
20	12.94
50	18.55
100	23.23
200	28.24

Fuente: Elaborado por el CVQM

4.6 Precipitación y/o Pluviometría

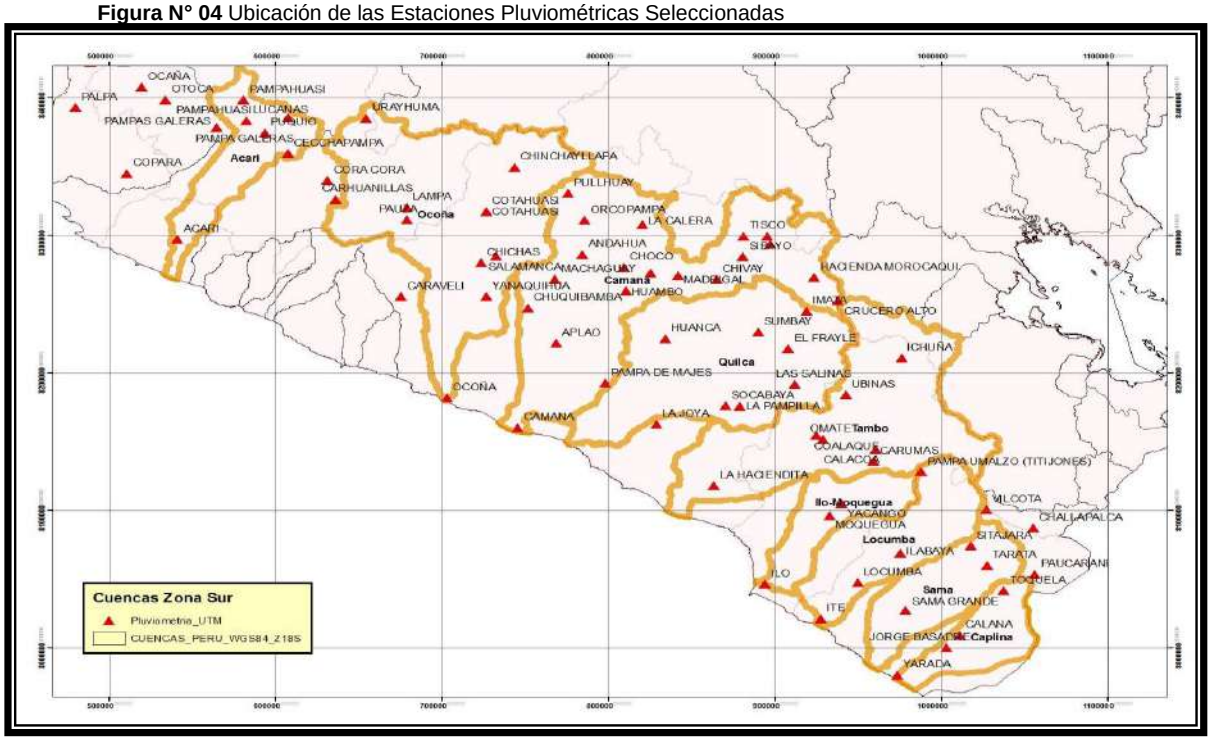
La precipitación, es toda forma de humedad que, originándose en las nubes, llega hasta la superficie del suelo; de acuerdo con esta definición la precipitación puede ser en forma de lluvias, granizadas, garúas y nevadas. Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre y sus mediciones y análisis, forman el punto de partida de los estudios concernientes al uso y control del agua. Las estaciones pluviométricas localizadas en la zona de estudio o cercana a ella, son la que se anota en el siguiente Tabla N°03. de Investigaciones de Estaciones Pluviométricas:

Tabla N°03 de Investigaciones de Estaciones Pluviométricas.

ESTACIONES PLUVIOMETRICAS DE LA CUENCA DEL RIO QUILCA				
ESTACION PLUVIOMETRICA	COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTITUD (msnm)	DEPARTAMENTO
	LATITUD	LONGITUD		
El Frayle	16°05'S"	71°11'W"	4060	Arequipa
Sumbay	15°59'S"	71°22'W"	4172	Arequipa
Huanca	16°01'S"	71°52'W"	3075	Arequipa
Pampa de Arrieros	16°03'S"	71°35'W"	3715	Arequipa
La Joya	16°35'S"	71°55'W"	1292	Arequipa
Pampa de Majes	16°19'S"	72°12'W"	1434	Arequipa

Fuente: Elaborado por el Senamhi.

Figura N° 04 Ubicación de las Estaciones Pluviométricas Seleccionadas



Fuente: Datos hidrométricos a nivel nacional – SENAMHI – Perú.

4.7 Precipitaciones Máxima Probable

Los datos empleados, corresponden a los valores de precipitaciones máximas en 24 horas registradas. Los análisis de frecuencia de las precipitaciones máximas diarias se efectuarán en base a la distribución "Normal", "Log Normal", "Gumbel" y la "Log Pearson III". Por lo general son las dos últimas las que mejor se adecuan, ya que estas brindan un mayor ajuste para los valores extremos, pero no siempre se cumple esto, habiendo en algunos casos algunas excepciones. El uso de las distribuciones Normal y Log Normal se acepta o descarta mediante prueba de X2, o la del coeficiente de simetría que debe ser estadísticamente igual a cero. Se escoge la distribución más representativa utilizando un método para comprobar la bondad del ajuste, tal como el método de Smimov – Kolmogorov. La precipitación se mide en términos de la altura de lámina de agua (hp), y se expresa comúnmente en

milímetros. Esta altura de lámina de agua, indica la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal, si la precipitación permaneciera donde cayó.

Los aparatos de medición se basan en la exposición a la intemperie de un recipiente cilíndrico abierto en su parte superior, en la cual se recoge el agua producto de la lluvia y otro tipo de precipitación, registrado su altura. Los aparatos de medición se clasifican de acuerdo con el registro de las precipitaciones, en pluviómetros y pluviógrafos indicados en el tabla N°04. las Investigaciones de precipitación máxima.

Tabla N°04 de Precitaciones máximas en 24 Hrs zona de Proyecto Quilca.

PERIODO UTIL	PRECIPITACION MAXIMA PROBABLE (mm)
2	11.95
5	18.43
10	22.72
20	26.83
25	28.13
50	32.15
100	36.14
200	40.11

Fuente: Elaborado por el Senamhi

4.8 Características Hidráulicas Generales del Río Quilca

Desde el punto de vista hidráulico, el rio Quilca ofrece un cauce ligeramente sinuoso donde desemboca en el océano, cuya característica principal es que en la desembocadura existen chacras donde el agua se empoza y puede provocar inundación. En el tramo cercano a la ubicación del puente a proyectar, el rio se desarrolla en forma perpendicular (normal) a la carretera, habiéndose identificado en su margen, posible socavación del terraplén por lo que se colocara escolleras (muros de piedra) que protejan al terraplén, los mismos que deberán ser controlados.

Foto N°08en dirección aguas arriba, véase las zonas de terrazas de cultivo margen izquierda y derecha, río Quilca.

Tabla N°05. Geomorfología de las Cuencas en Estudio

Parámetros		Cuencas de la Costa Sur		
		Rio Camaná	Rio Quilca -Vitor-Chili	Rio Tambo
Área (Km2)		17 049,51	13 457,01	12 953,36
Perímetro (Km)		1 089,64	666,55	893,47
Altitud Media (m)		3 614,79	3 330,19	3 523,6
Pendiente Media (%)		30,44	21,47	33,34
Coeficiente de Compacidad (Kc)		2,34	1,61	2,2
Factor de Forma		0,35	0,37	0,33
Rectángulo Equivalente	Longitud Mayor (Km)	511,49	286,27	415,57
	Longitud Menor (Km)	33,33	47,01	31,17
Longitud de Cause Principal (Km)		272,64	191,06	199,04
Pendiente Media del Cause Principal (%)		1,4	1,99	1,36

Fuente: Características Fisiográficas de las Cuencas de la Costa-ANA-Dirección de Conservación y Planeamiento del Recurso Hídrico.

4.9 Hidrografía de las Cuencas

Descripción General de las Cuencas

a) Cuenca del Río Camaná

Se enmarca en la cuenca Colca – Majes – Camaná. La cuenca del río Colca pertenece a la vertiente del Pacifico. La cuenca del Colca es un complejo hidrográfico que da origen del río del mismo nombre y recibe a lo largo de su recorrido aportes de las subcuencas tributarias. En la parte baja de la cuenca del río Colca cambia de nombre a río Majes, efectúa su recorrido en dirección NE –SO hasta desembocar en el Océano Pacifico, al Norte de la ciudad de Camaná, en donde toma el nombre de esta ciudad.

b) Cuenca del Río Quilca – Vitor – Chili

La cuenca total comprende 13 457,01 km2, de los cuales 4 261 km2 forman su cuenca seca, con una longitud cause principal de 191,06 km. El río Vitor a su vez es formado por los ríos Yura y Chili. En un año normal tanto el río Vitor como el río Sihuas no transportan agua en el lugar de su confluencia, ya que sus aguas son captadas y totalmente utilizadas para fines de irrigación.

El río Sihuas forma con el río Vitor, el Río Quilca, que es de corta longitud, puesto que después de 25km desemboca al mar estando seco la mayor parte del año. Una parte de la cuenca del río Sihuas pertenece a la zona de Puna con una altura de más de 4 000 m.s.n.m. y una superficie plana. Su límite con la cuenca del Colca está formado por una cadena de montañas y glaciares, de la cual forma parte el nevado Ampato con una altura de 6 288 m.s.n.m. Estos glaciares aumentan considerablemente la descarga durante la época de sequía, sumamente ventajoso para la agricultura. El resto de la cuenca está constituida por una densa red de profundas quebradas formadas por una erosión extremadamente grande debido a las

escasas precipitaciones (200 mm), la escasa vegetación y la fuerte pendiente del terreno. Después de abandonar la Puna al pie del Ampato, los valles de los afluentes y de la quebrada misma son muy profundos, difícilmente accesibles y en constante peligro por los frecuentes derrumbes.

Esta cuenca se subdivide en 8 subcuencas importantes como son: Sumbay, Alto Quilca – Vitor – Chili, Medio Alto Quilca – Vitor – Chili, Yura, Sihuas, Medio Quilca – Vitor – Chili, Medio Bajo Quilca – Vitor – Chili y Bajo Quilca – Vitor – Chili. Siendo sus cursos principales a esta cuenca los ríos Chacalaque, Blanco, Chili, Chalhuanca, Sumbay, Acomayo, Vitor y Sihuas, como se muestra en la Tabla 3 y figura 2.

c) Cuenca del Río Quilca

La cuenca del río Quilca forma parte de la vertiente del pacifico, encontrándose situado en el sector meridional de la costa del país.

La cuenca en estudio tiene forma suigéneris, asemejándose en general a la de todas las cuencas de la costa, es decir, ancho en la parte alta de la cuenca y estrecha en la desembocadura, ocupando una extensión aproximada de más de 12,000 km.2; de los cuales 8,000 km2 situados por encima de los 2,000 m.s.n.m; corresponden a la cuenca húmeda.

El sistema hidrográfico del rio Quilca tiene su origen en un grupo de pequeñas lagunas ubicadas en las partes altas de la cuenca y en las precipitaciones estacionales y deshielos de los grandes nevados que la circulan. Inicialmente, estos caudales de agua se han dado origen por la margen derecha a una serie de quebradas que originaron al rio Sihuas, por el sector central al rio yura y por la margen izquierda a los ríos Sumbay y Blanco; estos últimos en su confluencia, aguas debajo de la quebrada Jatumpalca, originan el río chili, el cual es uno de los principales ríos de esta cuenca y recibe por su margen izquierda la afluencia del río Andamayo.

El río chili, en su confluencia por la margen derecha con el rio Yura, uno de los formadores iniciales, da origen al río Vitor, el cual, en cercanías del litoral, en su confluencia con el río siguas principal formador por la margen derecha origina el rio Quilca. La tabla N° 06 indica las principales características del sistema hidrográfico del río Quilca.

La longitud de este sistema hidrográfico es de 310 km.; presentando una pendiente promedio de aproximadamente 1.7%, sin embargo, presenta sectores de pendiente más pronunciadas especialmente en el sector del río Andamayo, donde llega a 4.4%.

El sistema hidrográfico de la cuenca, formado básicamente por dos redes hidrográficas (Ríos Siguas y Vitor), difiere en su morfología de la mayoría de los ríos de la costa, estando formado por dos hoyas hidrográficas que se unen en las cercanías del litoral; son de fondo profundo y quebrado, de regular pendiente y estrechas gargantas, estando limitadas en relación con las cuencas vecinas por cadenas de cerros que en dirección al océano pacifico, muestran un descenso sostenido y rápido del nivel de cumbres indicado en la Tabla N°03; tabla de las Investigaciones del sistema hidrográfico.

Tabla N° 06 Características del Sistema Hidrográfico de la Cuenca Del Río Quilca

Nro	Cuenca	Área de Cuenca (Km2)			Longitud de Cause (Km)	Pendiente Media %
		Húmeda	Seca	Total		
1	Quilca (hasta desembocadura)	7,594	4,361	11,955	310	1.52
2	Vitor (hasta confluencia con el Rio Sihuas)	6,268	3,434	9,702	286	1.58
3	Sihuas	1,326	475	1,028	136	3,42
4	Chili (Hasta confluencia con el rio Yura)	5,067	1,028	6,095	210	1,52
5	Yura	1,195	269	1,464	88	3,75
6	Andamayo	711	333	1,044	49	4,39
7	Chili (Hasta Estación Charcani)	4,145	-	4,145	153	1,27
8	Chili (Hasta Aguada Blanca)	3,980	-	3,980	134	0.76
9	Sumbay (Hasta confluencia con el Rio Blanco)	2,476	-	2,476	126	0.78
10	blanco	1,207	-	1,207	73	1,07
11	Siumbay (Hasta Estación imata)	555	-	555	46	0,60
12	Blanco (Hasta EL Frayle)	1,087	-	1,087	58	0.95
13	Laguna las Saunas	642	-	642	-	-

Fuente: Elaborado por el Senamhi

4.10 Características hidráulicas de la zona de emplazamiento del puente Quilca Matarani

En el km 31+500 de la carretera Dv. Quilca Matarani, se identificó la no existencia de un puente que salve el cauce del rio Quilca. La carretera para proyectar pasa sobre una trocha cortando el cauce de dicho rio, rodeado por pastizales medianamente inundado donde sugiere alta permeabilidad del suelo por su saturación.

El tramo cercano a la proyección del puente Quilca Matarani se caracteriza por ofrecer una sección de forma trapezoidal, donde la vía en estudio recorre parte de la cuenca del rio Quilca que está flanqueada por dos cerros con altitudes que oscilan entre 70 y 130 m.s.n.m., con inclinaciones que oscilan entre 45 y 70°.

Las características locales del rio Quilca en la ubicación del puente Quilca Matarani se caracteriza por presentar una ligera depresión donde el agua desfoga en la margen izquierda del río.

Según las características geomorfológicas del rio Quilca, informadas en el ítem 2.3 Geomorfología local y siguiendo las recomendaciones dadas por Chow (Hidráulica de Canales Abiertos), así como por la USGS (Surface Water Field Techniques), el coeficiente de MANNING estimado es de 0.030 para las márgenes y 0.036 para el cauce.

El pendiente longitudinal promedio del cauce en el tramo proyectado se ha estimado en 0.0004 m/m.

4.11 Variabilidad Espacial y Temporal de la Precipitación

Variabilidad Espacial

La precipitación en las cuencas de la costa Sur del Perú, presentan una alta variabilidad espacial con precipitaciones escasas y/o nulas en las zonas bajas, llegando a incrementar en la cuenca media de los 100 mm/año hasta los 500 mm/año y en las zonas altas desde los 600 mm/año llegando a los 900 mm/año. Esta variabilidad está ligada a la influencia

de la Cordillera de los Andes, siendo sus precipitaciones de origen orográfico es decir que dependen del relieve y la altitud.

Para este análisis se ha establecido una ecuación de correlación entre precipitación total anual y altitud para las 4 zonas descritas anteriormente, donde en cada una de estas zonas la precipitación tiene el mismo comportamiento ya sea en cantidad y variación temporal.

Luego de un análisis de ajuste lineal de la información se ha obtenido una ecuación característica y su correspondiente coeficiente de correlación siendo un valor aceptable para el ajuste lineal de la ecuación así, tenemos que la precipitación media total anual (Pp) podría calcularse en función de la altitud (Z); usando las ecuaciones siguientes:

Zona baja y Media Baja: Para estas zonas no se realizó la correlación debido a que son zonas áridas y presentan precipitaciones bajas

Zona Media Alta:

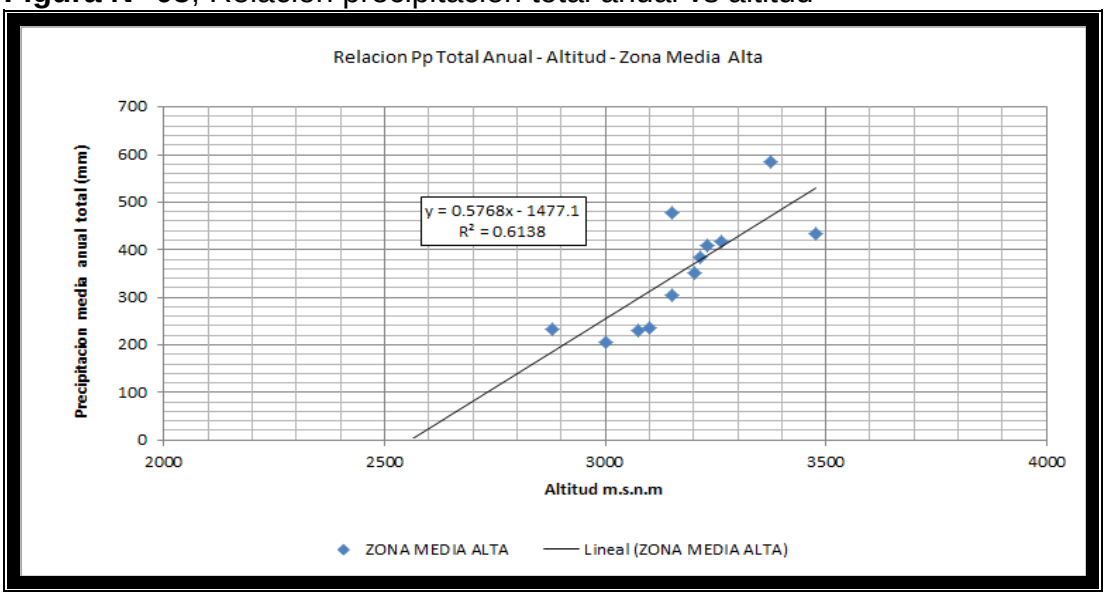
*Pp = 0.5768 * Z – 1477.1 R2 = 0.6138*

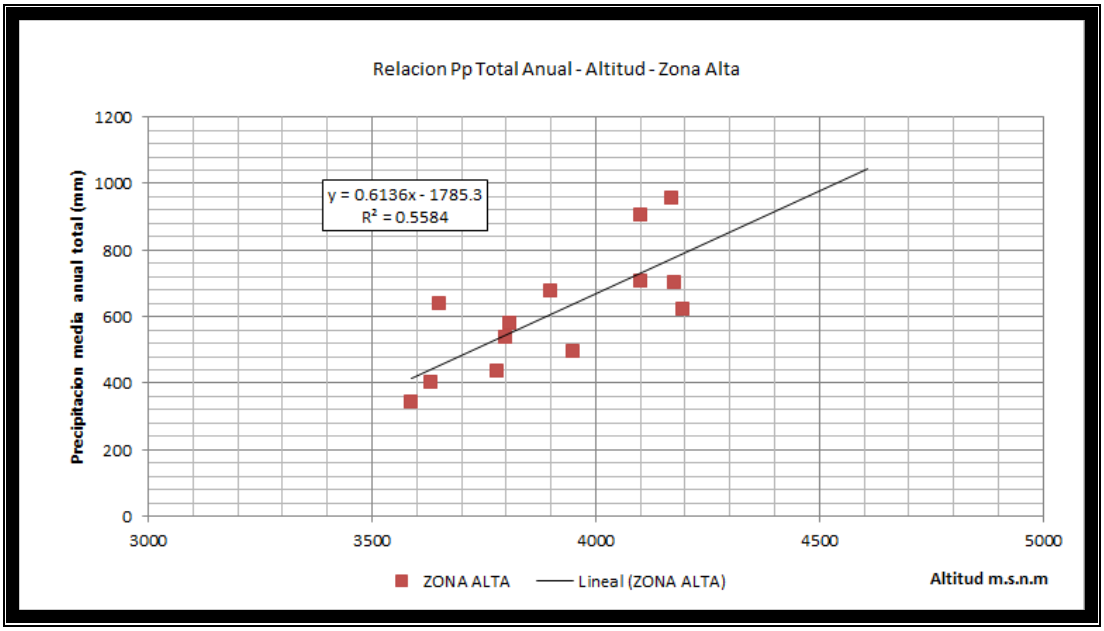
Zona Alta:

*Pp = 0.6136 * Z – 1785.3 R2 = 0.5584*

Donde (P) es precipitaciones totales anual y (Z) la altitud.

Figura N° 05, Relación precipitación total anual vs altitud





Fuente: Elborado por el Consorcio Vial Quilca Matarani.

Para una mayor apreciación de la distribución espacial de las precipitaciones en las cuencas también se empleó el método de interpolación como son:

a) **Método de la Inversa de la Distancia**: *Este método considera que en un punto cualquiera de la cuenca el valor de la precipitación en ese punto depende de los valores observados en el conjunto de las estaciones de la cuenca, donde cada estación tiene una influencia dependiente de la inversa de su distancia a este punto, elevada a una potencia, usualmente igual a 2. Con este sistema, las estaciones más cercanas tendrán mayor influencia que las estaciones más lejanas. Este método de interpolación es más fino y especializado, sin embargo, lejos de las estaciones tiende a un valor medio y el trazo de isolíneas es una circular, e igualmente que el método de los polígonos de Thiessen no toma en cuenta gradiente especial.*

b) **Método de Krigind**: *Este método consiste en establecer para cada punto de la grilla un vario grama que evalúa la influencia de las estaciones próximas en función de su distancia al punto y de su rumbo. El Kriging es así el único método que puede tomar*

en cuenta un eventual gradiente espacial de la información, por lo tanto, tiene como ventaja una interpolación de mejor calidad con menor sesgo y adicionalmente por tomar en cuenta un gradiente espacial de variación de valores puede realizar extrapolaciones más consistentes. Entonces, cuando las estaciones son mal repartidas es necesario hacer en ciertas zonas de la cuenca extrapolación y no interpolación, es preferible utilizar este método. Una de sus principales desventajas del método es que se necesita una buena comprensión del método y un mayor tiempo de cálculo.

4.12 Análisis de Máximas Avenidas en la Cuenca Alta

Ajuste de Función de Probabilidad

Debido a la escasez de información se ha decidido usar métodos regionales para encontrar valores de caudales máximos instantáneos. Se ha utilizado el método de la envolvente de Creager y las curvas envolventes regionalizadas, cuyas descargas máximas se calcula en función del área de cuenca y el periodo de retorno, mediante la expresión:

$$Qmax = (C1+C2) * Log (T) * A\ mA-n$$

Donde:

Qmax: Caudal máximo

T: Periodo de retorno

A: Área de la cuenca

C1, C2 m, n: Constantes para las diferentes regiones del Perú.

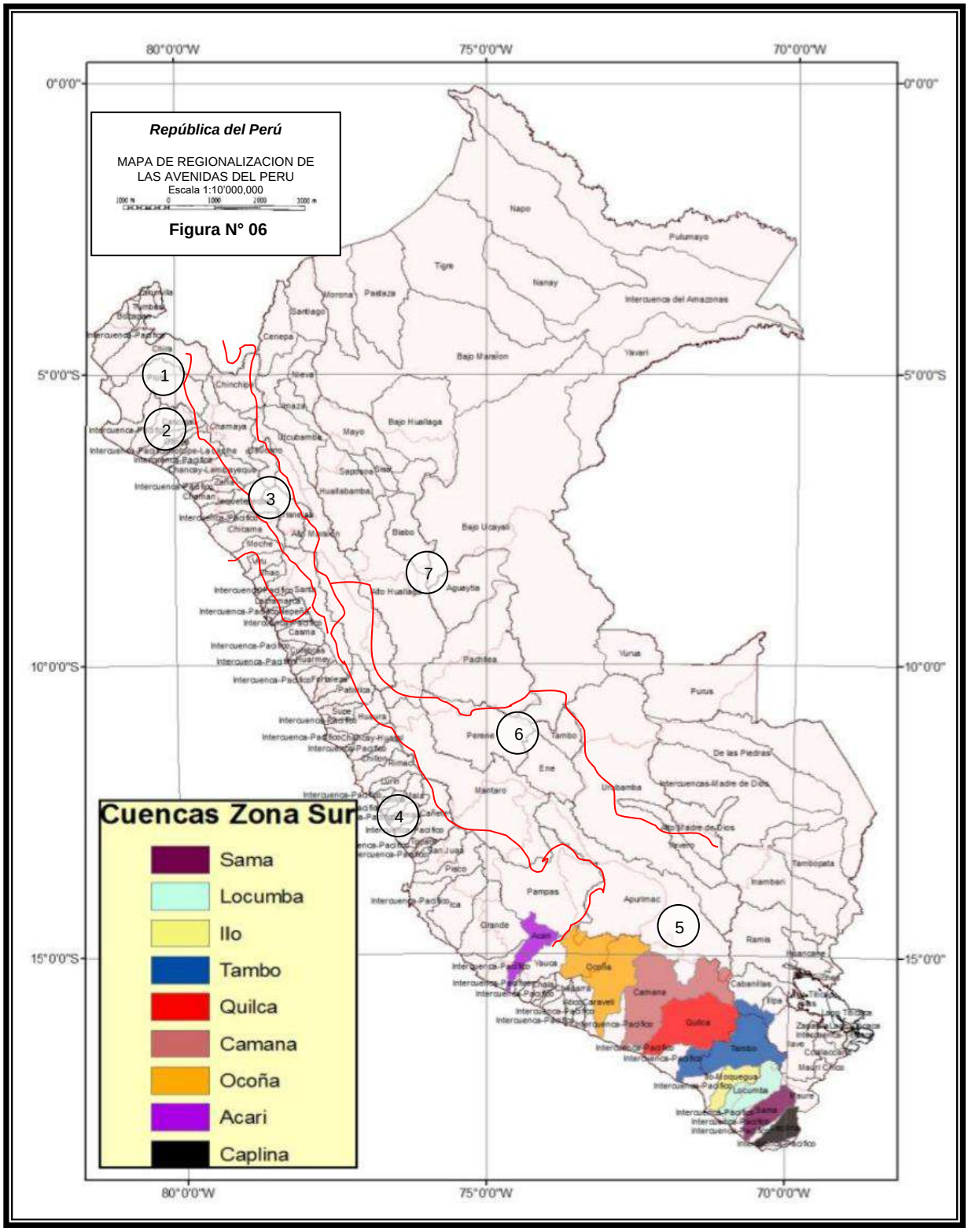
Los valores de las constantes C1, C2, m, n se presentan en la Tabla N°07 y la figura N°06 el Mapa de regionalización de las Avenidas del Perú, podemos observar la clasificación de regiones.

Tabla N°07; Constantes regionales del Perú por el método de Creager

Región	C1	C2	m	n
1	1.01	4.37	1.02	0.04
2	0.10	1.28	1.02	0.04
3	0.27	1.48	1.02	0.04
4	0.09	0.36	1.24	0.04
5	0.11	0.26	1.24	0.04
6	0.18	0.31	1.24	0.04
7	0.22	0.37	1.24	0.04

Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutiérrez; 1979.

Figura N° 06, Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú.



Fuente: Análisis regional de las avenidas en los ríos del Perú; Trau W. y Gutierrez R; 1979

La cuenca en estudio se encuentra dentro de las regiones 4 según la Figura N° 06; entonces podemos calcular el caudal máximo con la ecuación de Creager. Los resultados obtenidos para diferentes periodos de retorno se presentan en la Tabla N°08, tabla de las Investigaciones por subcuencas y por cuenca.

Tabla N° 08; Caudales Máximos en cada Subcuenta – Método de la envolvente de Creager

Cuenca	Subcuenta	Área (Km2)	Q25	Q50	Q75	Q100	Q200
RIO VITOR – QUILCA - CHILI	Alto Quilca	969.1	408.6	496.6	548.1	584.6	672.6
	Medio Alto Quilca	944.77	401.6	488.1	538.6	574.5	661.0
	Sihuas	1 858.98	628.9	764.3	843.5	899.7	1035.1
	Blanco	1 159.79	461.5	560.8	618.9	660.2	759.6
	Sumbay	745.18	340.7	414.1	457.0	487.5	560.9
	Yura	1 540.29	556.8	676.7	746.9	796.6	916.5
	Salinas	659.81	312.8	380.1	419.5	447.5	514.8
	Medio Quilca	2 341.33	728.0	884.7	976.4	1041.5	1198.2

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

4.13 Estudio de Drenaje

Descripción. - El objetivo del estudio de drenaje en el puente Quilca – Matarani, es el de controlar los problemas que generan los flujos de agua superficial "río Quilca" al discurrir sobre los pilares y estribos, e infiltrarse a través de estas estructuras del puente, dando sostenibilidad y por ende en su vida útil.

Desde el punto de vista hidráulico se proponen diseños que proporcionen obras de drenaje lo más eficiente posible y que guarden una proporción de rentabilidad y conservación con el medio ambiente. Estas obras civiles están destinadas a constituirse, en conjunto, como los sistemas que drenarán los flujos de agua libres de la zona. Se debe tener en cuenta que las estructuras de drenaje están íntimamente relacionadas a los niveles de paso de los flujos de agua a evacuar y los niveles alcanzados por la estructura del puente (tipo cantiléver), lo que es cuidadosamente observado en la realización de los diseños planteados.

Todo lo anteriormente expuesto tiene por única finalidad asegurar el correcto funcionamiento del puente, especialmente en el lecho de río donde interrumpe el paso de un curso natural, buscando que este sea afectado mínimamente en su recorrido natural y que por consecuencia el puente se adecue convenientemente a su paso.

a) Sistema de Drenaje

Entiéndase como sistema de drenaje al conjunto de estructuras de drenaje que adecuadamente diseñadas y correctamente instaladas permiten la evacuación ordenada de los diferentes flujos de agua presentes para el puente Quilca.

Para el presente estudio, los sistemas de drenaje propuestos se plantean básicamente siguiendo la orientación longitudinal y transversal al eje del puente Quilca, como principio base del orden de evacuación.

Un planteamiento espacial, lo constituye el sistema de drenaje de urbano, que por cubrir las zonas urbanas merecen un ítem aparte de explicación y también es ordenado en los sentidos fundamentales (longitudinal y transversal) ya expuestos.

b) Sistemas de Drenaje Longitudinal

El sistema de drenaje longitudinal planteado se destina al pase del agua pluvial que incide directamente sobre la superficie de rodadura del puente. Dicho flujo superficial es ordenadamente evacuado con estructuras de drenaje que siguen el sentido longitudinal del puente.

V. CAPITULO V:

GEOTECNIA – CONOCIMIENTO DEL TERRENO DE FUNDACION

5.1 Generalidades

El presente es un estudio geológico geotécnico de la carretera Camaná – Desvío Quilca – Matarani – Ilo – Tacna Tramo Desvío Quilca – Matarani, basado en el trabajo de campo, información bibliográfica y cartográfica disponible.

Este informe corresponde al puente Quilca Matarani de 242.00 metros lineales donde se identifica las formaciones e interpretado su génesis, así como el estudio de interpretación de los fenómenos de geodinámica externa junto con el estudio sísmico perteneciente a la zona evaluada.

En parte de la zona de estudio se presenta la formación Camaná a lo largo de varios kilómetros expendiéndose sobre la costa, donde se ha trazado el eje del puente.

En las partes más cercanas al pueblo de Quilca afloran rocas del complejo basal de la costa constituida por gneis, estas son las más antiguas de la zona de estudio.

También podemos decir que en gran extensión se tienen depósitos cuaternarios recientes, conformados por materiales eólicos, fluviales y aluviales (río Quilca) y depósitos de cenizas volcánicas.

Históricamente, a comienzos del Oligoceno el mar Pacífico avanzó sobre las áreas costaneras, depositando en un ambiente nerítico los sedimentos areno-arcillosos de la formación Camaná en la cual se ubica el trazo del puente Quilca.

5.2 Estudios de investigaciones Geotécnicas del Puente Quilca Km. 31+307.45 – Km.31+548.30

Generalidades

El proyecto tiene como finalidad superar el obstáculo que representa el río Quilca y los suelos sueltos que existen a su alrededor. La estructura considera dos estribos, 5 pilares y se ubica en una zona de amenaza sísmica.

Se presenta los resultados del estudio geotécnico realizado incluyendo las recomendaciones para la fundación del puente sobre el río Quilca.

Localización

Se localiza en el distrito de Quilca, provincia de Camaná en el departamento de Arequipa entre los Km. 31+340 al Km 31+600 de la carretera Desvío Quilca – Matarani.

Análisis de la Investigación

La tesis contempla un puente de 242.00 m. de luz con una superestructura conformada por una losa o tablero de concreto armado. Esta superestructura está apoyada sobre dos estribos tipo cantiléver de concreto armado y 5 pilares.

5.3 Perforaciones exploratorias características del Subsuelo

Se programaron investigaciones geotécnicas del puente Quilca (Km. 31+307.45 al Km. 31+548.31), consistentes en 120 m. lineales de perforación distribuidos en dos (02) Estribos y cuatro (04) pilares, con diámetros HQ y NQ.

La relación de perforaciones se presenta en la siguiente tabla.

Tabla N°09; Tabla de las Investigaciones Geotécnicas

Ubicación	Progresiva	Designación	Distancia (m)	Coordenadas GPS (Navegador)		Cota msnm Aprox.
Estribo Derecho	31+307.45	E-2	30.00	775,197.948	8,149,790.511	4
Pilar N° 5	31+345.45	PL-5	30.00	775,223.112	8,149,762.064	5
Pilar N° 4	31+389.46	PL-4	30.00	775,252.184	8,149,729.190	4
Pilar N° 3	31+427.88	PL-3	30.00	775,277.693	8,149,700.347	4
Pilar N° 2	31+466.30	PL-2	30.00	775,303.148	8,149,671.590	3
Pilar N° 1	31+510.30	PL-1	22.00	775,332.285	8,149,638.649	4
Estribo Izquierdo	31+548.30	E-1	10.00	775,357.456	8,149,610.210	5

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Geológicamente el área de trabajo se ubica sobre valles de vegetación abundante, en lecho de río y laderas de arena.

Ante la presencia de depósitos no consolidados y de baja consolidación conformados por mezclas e intercalaciones de arena y grava se procedió a realizar pruebas de campo de resistencia a la penetración estándar, con toma de muestras alteradas para prueba de clasificación.

Tabla N°10; Designación de colores de la muestra rocosa

Matiz	Intensidad	Valor
Rosa	Rosado	Claro
Rojo	Rojizo	Oscuro
Amarillo	Amarillento	
Café	Marrón	
Verde olivo	Verde olivo	
Verde	Verdoso	
Azul	Azulado	
Blanco	Grisáceo	
Gris		
Negro		

Fuente: The descripción of rock masses for engineering purpose (Anon. 1997)

Tabla N°11; Descripción del grado de meteorización de la roca

Indice	*Termino*	*Descripción*
M1	Fresca (sana)	No se observan signos de meteorización en la matriz rocosa, tal vez ligera decoloración sobre las superficies de las discontinuidades principales.
M2	Ligeramente Meteorizada	Se observan cambios en el color original de la roca matríz. Es conveniente indicar el grado de cambio. Todo el material rocoso puede estar decolorado por meteorización y puede ser algo mas debil externamente que en su condicón fresca.
M3	Moderadamente Meteorizada	Menos de la mitad del material rocoso esta descompuesto y/o desintegrado en suelo. Roca fresca decolorada esta presente aun, formando un esqueleto discontinuo o como núcleos de roca.
M4	Altamente Meteorizada	Mas de la mitad de la roca esta descompuesta y /o desintegrado a suelo. La roca se ha alterado al estado de un suelo, manteniendose la fábrica original formando un esqueleto discontinuo o como nucleos de roca. La roca es friable, pero los granos
M5	Completamente Meteorizada o descompuesta	La roca se altera al estado de un suelo, alguno o todos los minerales están descompuestos. La estructura original del macizo es aun en gran parte reconocible.
M6	Suelo residual	Todo el macizo rocoso se ha transformado en un suelo. Se ha destruido la estructura del macizo y la fabrica del material.

Fuente:(ISRM, 1981)

Tabla N°12; Grado de fracturamiento de la roca

Indice	*Grado de fracturación*	*Espaciamiento de fracturas (m)*
F1	Masivo sin fracturas	>6
F2	Algunas fracturas	2 - 6
F3	Poco fracturado	0.60 - 2
F4	Fracturado	0.20 - 0.60
F5	Muy fracturado	0.06 - 0.20
F6	Triturado	0.02 - 0.06
F7	Suelo residual	< 0.02

Fuente: **(ISRM, 1978)**

Tabla N°13; Indice de calidad de la roca (RQD)

RQD (%)	*Calidad de la roca*
< 25 %	Muy mala
25 - 50 %	Mala
50 - 75%	Regular
75 - 90 %	Buena
90 - 100 %	Muy buena

Fuente: según Deere, 1968.

Tabla N°14; Ensayo de Índice manual de resistencia de roca en campo

Clase	*Descripción*	*Identificación del campo*	*Valor aproximado de la resistencia a compresión simple*	
			Mpa	Kg/cm2
S1	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025	< 0.25
S2	Arcilla debíl	El debe penetrar facilmente varios cm.	0.025 - 0.05	0.25 - 0.5
S3	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para penetrar el dedo	0.05 - 0.1	0.5 - 1
S4	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.25 - 0.5	2.5 - 5.0
S5	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 - 0.5	2.5 - 5.0
S6	Arcilla dura	Se marca con dificultad al marcar con la uña	> 0.5	> 5.0
R0	Roca extremandamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 - 1.0	2.5 - 10
R1	Roca muy blanda	Deleznable bajo golpes del martillo de geologo, puede rayarse con una navaja. Se talla facílmente con una navaja.	1.0 - 5.0	10 - 50
R2	Roca blanda	Puede rayarse con dificultad con la navaja, se pueden hacer marcas poco profundas golpeando fuertemente con la punta del martillo.	5.0 - 25	50 - 250
R3	Roca moderadamente dura	No se puede rayar con una navaja la muestra en mano, se puede romper con un golpe firme del martillo de geólogo, al impacto la punta del martillo indenta hasta 5mm.	25 - 50	250 - 500
R4	Roca dura	Se necesita más de un golpe con el martillo de geólogo para romper la muestra, especimines sostenidos en la mano se rompe con un simple golpe de martillo.	50 - 100	500 - 1000
R5	Roca muy dura	Se necesita muchos golpes con un martillo de geólogo para romper la muestra.	100 - 250	1000 - 2500
R6	Roca extremandamente dura	El martillo produce solamente descarrillado de la muestra, sonido metálico de golpe. Solo saltan esquirlas de roca	> 250	> 2500

***Fuente*: (ISRM, 1981)**

Tabla N°15; Calidad del macizo rocoso en relación al Indice RMR

Clase	*Calidad*	*Valoración RMR*	*Cohesión*	*Angulo de rozamiento*
I	Muy buena	100 - 81	> 4 kg / cm2	> 45 °
II	Buena	80 - 61	3 - 4 kg / cm2	35 ° - 45 °
III	Media	60 - 41	2 - 3 kg / cm2	25 ° - 35 °
IV	Mala	40 - 21	1- 2 kg / cm2	15 ° - 25 °
V	Muy mala	< 20	< 1 Kg/cm2	< 15 °

Fuente: ***(ISRM, 1981).***

Tabla N°16; Clasificación de componentes y fracciones del suelo en el campo.

Material	*Tamaño (mm)*	*Tamiz*
Bloques	> 300	> de 12 plg
Bolon	150 - 300	6 - 12 plg
Canto rodado	76,2 - 150	3 - 6 plg
Grava gruesa	19 - 76,2	3/4 - 3 plg
Grava fina	4,76 - 19	N° 4 - 3/4 plg
Arena gruesa	2 - 4,75	N° 10 - N° 4
Arena media	0,425 - 2	N° 40 - N° 10
Arena fina	0,075 - 0,425	N° 200 - N° 40
Limo	< 0,074	< N° 200
Arcilla		

Fuente: ***Wagner - 1957 (Lambe)***

Tabla N°17; Plasticidad de suelos finos y fracción fina de los suelos gruesos

Termino		*Indice de plasticidad*	*Prueba de campo*
Plasticidad	*consistencia*		
Extremadamente	Muy suabe	> de 35	Exuda entre los dedos cuando se aprieta en la mano
Altamente	Suave	35 - 17	Puede hundirse el dedo pulgar con ligera presión
Moderadamente	Firme	17 - 7	Se hunde el dedo pulgar con fuerte presión
Ligeramente	Rígido	7 - 1	No se hunde el dedo pulgar pero se indenta con la uña del pulgar
No	Muy rígido o duro	< que 1	Se indenta con la navaja

Fuente: IAEG-1979 y Matula 1981

Tabla N°18; Consistencia relativa de suelos cohesivos

Termino	*Resistencia al corte no drenado*	*Indice de consistencia*	*Prueba de campo*
Muy blanda	< de 20	< 0.05	Se escurre entre los dedos al cerrar la mano
Blanda	20 - 40	0.05 - 0.25	Se amasa fácilmente con los dedos
Firme	50 - 75	0.25 - 0.75	Se amasa con fuerte presión de los dedos
Rígida	75 - 150	0.75 - 1.00	Se deprime con fuerte presión de los dedos
Muy rígida o dura	> de 150	> de 1.00	Se hiende ligeramente con la punta del lapiz

Fuente: ***Matula 1981 y Martínez 1982.***

Tabla N°19; Clasificación unificada de suelos incluyendo identificación y Descripción de campo.

Tamaño	*División principal*	*Símbolo de grupo*	*Nombre común*	*Procedimiento de identificación de campo*	*Criterios de clasificación de laboratorio*
Suelo grueso (0.074 - 76.2 mm)	Gravas limpias (pocos finos o ninguno)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, pocos finos o ninguno	Amplia variedad de tamaños de grano y cantidades sustanciales de todo los tamaños intermedios de partículas	Menos del 5% pasa la malla 200: $Cu=D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 4; $C_2=(D_{30})\,2/(D_{10}xD_{60})$ entre 1y3
		GP	Gravas o mezclas de grava y arena congraduación mala, pocos finos o ninguno	Predominantemente un tamaño, o un rango de tamanos en donde faltan algunos tamaños intermedios	Menos del 5% pasa la malla 200: no cumple ambos críterios para GW
	Gravas con finos (cantidad apreciable de finos)	GM	Gravas limosas mezcla de grava - arena - limo	Finos no plásticos o finos de baja plasticidad (véase los suelos ML)	Mas del 12% pasa la malla N° 200 índice de plasticidad menor que 4
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava - arena - arcilla	Finos plásticos (véase los suelos CL)	Mas del 12% pasa la malla N° 200 índice de plasticidad mayor que 7
	Arenas limpias (pocos finos o ninguno)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, poco finos o ninguno	Amplia variedad de tamaños de grano y cantidades sustanciales de todo los tamaños intermedios de partículas	Menos del 5% pasa la malla 200: $Cu=D_{60}/D_{10}$ mayor o igual que 6; $C_2=(D_{30})\,2/(D_{10}xD_{60})$ entre 1y3
		SP	Arenas o arenas con gravas con graduación mala, pocos finos o ninguno	Predominantemente un tamaño, o un rango de tamanos en donde faltan algunos tamaños intermedios	Menos del 5% pasa la malla 200: no cumple ambos críterios para SW
	Arenas con finos (cantidad apreciable de finos)	SM	Arenas limosas, mezclas de arena - limo	Finos no plásticos o finos de baja plasticidad (véase los suelos ML)	Mas del 12% pasa la malla N° 200 índice de plasticidad menor que 4
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena - arcilla	Finos plásticos (véase los suelos CL)	Mas del 12% pasa la malla N° 200 índice de plasticidad mayor que 7
Suelos finos (< a 0.074mm)	Limos y arcillas	ML	limos inorgánicos y arenas muy finas, roca pulverizada, arenas finas limosas o arcillosas, o limo arcilloso con ligera plasticidad	Resistencia seca o trituramiento = ninguna a ligera. Dilataria o reacción a las sacudidas = rápida a lenta. Tenacidad o consistencia cerca del LP=Ninguna.	Mas del 50 % pasa la malla N° 200. Límite líquido menor de 50
		CL	Arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas delgadas	Resistencia seca o trituramiento = media a alta. Dilataría o reacción a las sacudidas = ninguna a muy lenta. Tenacidad o consistencia cerca del LP=Media.	
		OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad	Resistencia seca o trituramiento = ligera a media. Dilataría o reacción a las sacudidas = Lenta. Tenacidad o consistencia cerca del LP=Ligera.	
		MH	Limos inorgánicos, suelos limados o arenosos micáceos o dicotomaceos, limos elásticos	Resistencia seca o trituramiento = ligera a media. Dilataría o reacción a las sacudidas = Lenta a ninguna. Tenacidad o consistencia cerca del LP=Ligera a media.	Mas del 50% pasa la malla N° 200. Límite líquido mayor a 50
		CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas gruesas	Resistencia seca o trituramiento = ligera a muy alta. Dilataría o reacción a las sacudidas = ninguna. Tenacidad o consistencia cerca del LP = alta.	
		OH	Arcillas orgánicas de plasticidad media a alta	Resistencia seca o trituramiento = Media a alta. Dilataría o reacción a las sacudidas = ninguna a muy lenta. Tenacidad o consistencia cerca del LP = ligera a media.	
Suelo orgánico		Pt	Turbas y otros suelos altamente orgánico	Se identifican fácilmente por el olor, color, sensación esponjosa y con frecuencia, por su textura fibrosa	

Fuente: Arthur Casagrande

Foto N°09, caja 1 de 7, Estribo Derecho

Foto N°10, caja 2 de 7, Estribo Derecho

Foto N°11, caja 3 de 7, Estribo Derecho

Foto N°12, caja 4 de 7, Estribo Derecho

Foto N°13, caja 5 de 7, Estribo Derecho

Foto N°14, caja 6 de 7, Estribo Derecho

Foto N°15, caja 7 de 7, Estribo Derecho

Foto N°16, caja 1 de 5, Pilar 1

Foto N°17, caja 2 de 5, Pilar 1

Foto N°18, caja 3 de 5, Pilar 1

Foto N°20, caja 5 de 5, Pilar 1

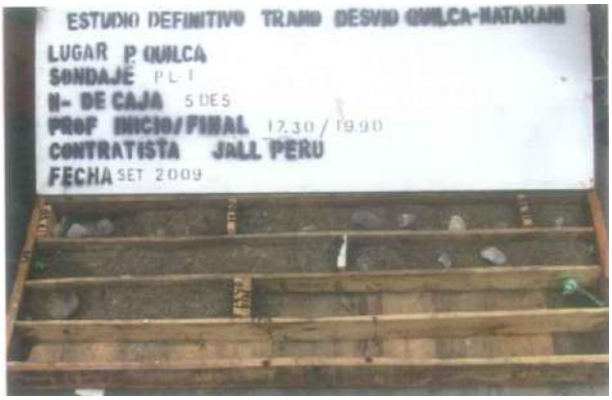


Foto N°19, caja 4 de 5, Pilar 1

Foto N°21, caja 1 de 5, Pilar 3

Foto N°22, caja 2 de 5, Pilar 3

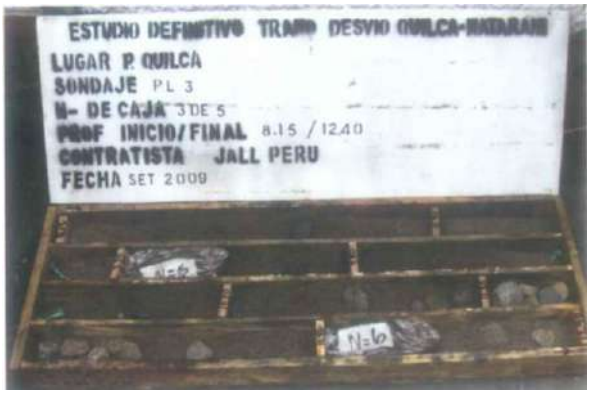


Foto N°23, caja 3 de 5, Pilar 3

Foto N°24, caja 4 de 5, Pilar 3

Foto N°25, caja 5 de 5, Pilar 3

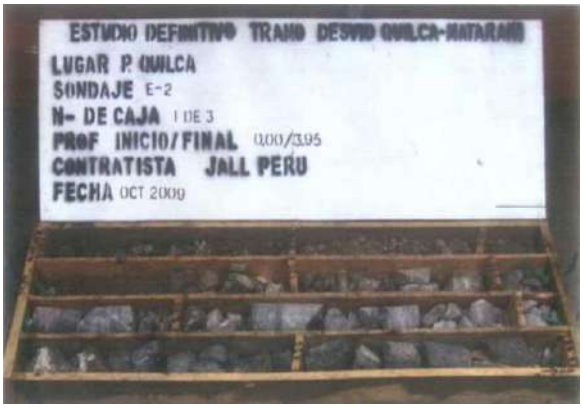


Foto N°26, caja 1 de 3, Estribo Izquierdo

Foto N°27, caja 2 de 3, Estribo Izquierdo

Foto N°28, caja 3 de 3, Estribo Izquierdo

Foto N°29, caja 1 de 4, Pilar 5

Foto N°30, caja 2 de 4, Pilar 5

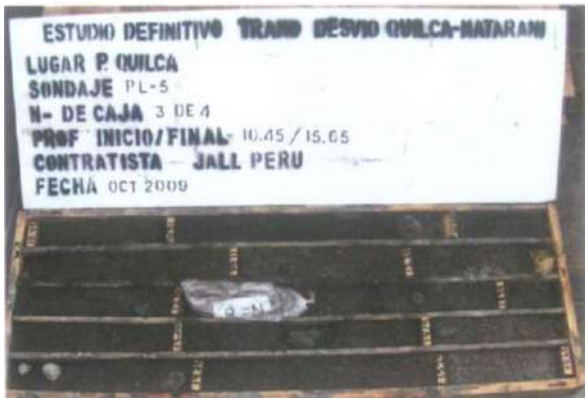


Foto N°31, caja 3 de 4, Pilar 5

Foto N°32, caja 4 de 4, Pilar 5

Foto N°33, caja 1 de 4, Pilar 4

Foto N°34, caja 2 de 4, Pilar 4

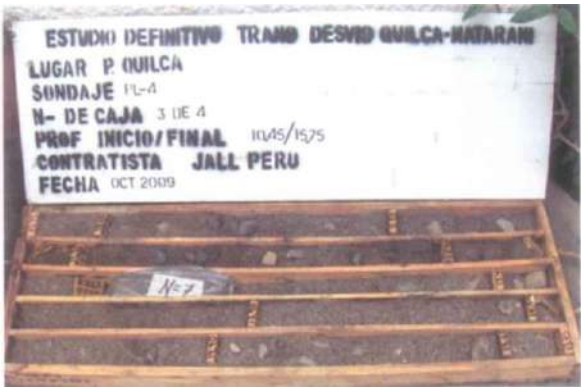


Foto N°35, caja 3 de 4, Pilar 4

Foto N°36, caja 4 de 4, Pilar 4

Tabla N°20 Aspectos Geotécnicos

Aspectos geotécnicos, los perfiles estratigráficos del terreno de fundación han sido agrupados en 2 sectores que presentan caracteristicas geotécnicas siilares, resultado en soluciones similares para la cimentación profunda; Perfil Estratigráfico del subsuelo de fundación P1, P2, P3, P4, P5 y ED				
Produndidad (m)	**Material**	**SPT (N° golpes /pie)**	**Ø**	**Ɣ(') (Tn/m3)**
0.00 - 13.50	SM	5	26°	1.50
13.50 - 30.00	SP	8	27°	1.60

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

TABLA N° 21 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE ESTRIBO DERECHO

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani — SONDEO N° E-1

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani — MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149790 E: 775197 — NIVEL FREATICO: 1.20

COTA: Aprox. 4 msnm

FECHA DE INICIO: 11 - 09 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 13 - 09 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0	0.50	0.50	0.46	92		(0.00 - 0.23) Arcilla inorgánica de plasticidad baja (CL) de color marron claro con raices secas compacto. (0.23 - 0.64) (SP) arena mal graduada, fina de color gris, con grava sub redondeada y raices secas
2	0.50	0.90	0.40	0.40	100		(0.64 - 2.40) (SP) arena fina de color gris y marron claro, con grava sub redondeada en forma aislada suelta.
3	0.90	1.80	0.90	0.86	96		
4	1.80	2.25	1.00	0.77	77	5	(2.40 - 2.65) Limo arenoso color marron claro - suelto.
	1.80	2.80					(2.65 - 3.55) Arena mal graduada color gris marron claro, suelto con 15% de grava sub redondeada de origel aluvial.
5	2.80	3.40	1.15	0.60	52		
6	3.40	4.00	0.60	0.60	100		(3.55 - 5.60) Grava sub redondeada a redondeada compacta, color gris de diferente litología y origen aluvial.
7	4.00	5.00	1.00	1.00	100		
8	5.00	5.50	0.50	0.45	90		
9	5.50	5.90	0.40	0.40	100		(5.60 - 6.25) Arena mal graduada (SP - SM) de color gris a marron claro, compacta ligeramente limosa.
10	5.90	6.90	1.00	0.87	87		(6.25 - 7.40) Grava bien graduada (GW) de color gris, compacta de forma sub redondeada y de origen aluvial, contiene 30% de arena fina.
11	6.90	7.50	0.60	0.59	98		(7.40 - 7.65) Limo inorgánico, tieso, ligeramente arcilloso color marron claro.
12	7.50	8.50	1.00	1.00	100		(7.65 - 10.70) (SP) Arena fina, mal graduada de color gris, suelta con 30% de grava redondeada de origen aluvial.
13	8.50	9.50	1.00	0.85	85		
14	9.50	10.30	0.80	0.70	87		
15	10.30	11.20	0.90	0.88	98		(10.70 - 13.40) (GP) Grava mal graduada, color gris claro y gris oscuro de forma redondeada y sub redondeada de origen aluvial y suelta.
16	11.20	12.40	1.20	0.92	77		
17	12.40	13.40	1.00	0.97	97		
18	13.40	14.10	0.70	0.62	89		(13.40 - 29.90) (SP) Arena mal graduada, de grano fino, suelta, color gris y gris oscuro, contiene grava redondeada de litología heterogenea en +- 10 % de origen aluvial húmeda.
19	14.10	14.20	0.50	0.45	52	N>50	
	14.10	14.60					
20	14.60	15.50	1.30	0.90	69		
21	15.50	16.50	1.00	0.90	90		
22	16.50	16.95	0.80	0.65	81	5	
	16.50	17.30					
23	17.30	18.10	1.15	0.70	61		(13.40 - 29.90) (SP) Arena mal graduada, de granos finos, suelta. color gris y gris oscuro contiene grava redondeada de litología heterogenea en +- 10% de origen aluvial húmeda.
24	18.10	18.55	0.40	0.40	100	6	
	18.10	18.50					
25	18.50	19.50	0.95	0.90	95		
26	19.50	19.95	1.30	1.20	92	6	
	19.50	20.80					
27	20.80	21.50	1.55	0.60	39		
28	21.50	22.50	1.00	0.95	95		
29	22.50	23.10	0.60	0.55	92		
30	23.10	23.50	0.40	0.40	100		
31	23.50	24.20	0.70	0.60	86		
32	24.20	25.20	1.00	0.90	90		
33	25.20	25.65	0.60	0.45	75	7	
	25.20	25.80					
34	25.80	26.90	1.25	0.95	76		
35	26.90	27.35	0.60	0.50	83	8	
	26.90	27.50					
36	27.50	27.80	0.45	0.30	67		
37	27.80	28.50	0.70	0.70	100		
38	28.50	28.95	0.60	0.55	92	7	
	28.50	29.10					
39	29.10	29.90	0.95	0.65	68		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 12.00 m de profundidad de tubería HW
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 29.90 m de profundidad.
Perforación en seco, con y sin serrucho

TABLA N° 22 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE PILAR N°01

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani — SONDEO N° PL-1

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani — MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149762 E: 775223 — NIVEL FREATICO: 2.00

COTA: Aprox. 5 msnm

FECHA DE INICIO: 14 - 09 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 15 - 09 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0	0.90	0.90	0.9	100		(0.00 - 0.35) (DL)Limo orgánico de plasticidad baja con raices secas.
							(0.35 - 1.10) (SP) Arena mal graduada color gris claro, húmeda compacta.
2	0.90	1.50	0.60	0.6	100		
3	1.50	1.95	0.80	0.65		8	(1.10 - 6.60) arena mal graduada (SP) color gris, suelta con 15% de grava sub - redondeada de origen aluvial y saturada.
	1.50	2.30			81		(6.60 - 8.30) SP arena mal graduada gruesa con gravasub redondeada con 20% suelta y saturada.
4	2.30	3.10	1.15	0.80	70		(8.30 - 8.64) GP grava mal graduada muy densa color gris saturada.
5	3.10	4.10	1.00	0.95	95		(8.64 - 16.00) Arena mal graduada (SP), saturada, color gris, fina con 10% de grava sub - redondeada de origen aluvial.
6	4.10	4.50	0.40	0.40	100		(16.00 - 16.30) (GP) Grava mal graduada, saturada sub - redondeada de origen aluvial.
7	4.50	4.95	1.10	0.9		6	
	4.50	5.60			82		(16.30 - 17.30) (SP) Arena mal graduada, color gris claro, suelta satura de grano fino con 10% de grava redondeada de origen aluvial.
8	5.60	6.00	1.05	0.40	38		(16.30 - 17.30) (SP) Arena mal graduada, color gris claro, suelta satura de grano fino con 10% de grava redondeada de origen aluvial.
9	6.00	6.45	0.60	0.4		6	
	6.00	6.60			67		
10	6.60	7.10	0.65	0.40	62		(17.30 - 17.90) (GP) Grava mal graduada, color gris, saturada redondeada de origen aluvial con +- 30% de arena fina.
11	7.10	8.30	1.20	1.10	92		
12	8.30	8.40	0.80	0.8		N >50	(17.90 - 19.90) (SP) Arena mal graduada, color gris claro, suelta satura de grano fino con 10 % de grava redondeada de origen aluvial.
	8.30	9.10			100		
13	9.10	9.55	1.15	0.4		6	
	9.10	9.70			35		
14	9.70	10.70	1.15	0.75	65		
15	10.70	11.20	0.50	0.40	80		
16	11.20	12.00	1.20	0.92	77		
17	12.00	12.45	0.70	0.6		8	
	12.00	12.70			86		
18	12.70	13.10	0.65	0.40	62		
19	13.10	14.10	1.00	0.80	80		
20	14.10	14.70	0.60	0.60	100		
21	14.70	15.20	0.50	0.50	100		
22	15.20	15.65	0.80	0.60		7	
	15.20	16.00			75		
23	16.00	17.00	1.35	0.95	70		
24	17.00	17.45	0.80	0.65		8	
	17.00	17.80			81		(17.90 - 19.90) (SP) Arena mal graduada, color gris claro, suelta saturada de grano fino con 10% de grava redondeada de origen aluvial.
25	17.80	18.30	0.85	0.50	59		
26	18.30	19.00	0.70	0.65		6	
					93		
27	19.00	19.90	0.90	0.80	89		
28	19.90	20.30	0.40	0.40	100		(19.90 - 22.50)Gneis fracmentada acción mecánica, color gris y marron anaranjado, poco meteorizado, abrasivo.
29	20.30	21.30	1.00	1.00	100		(22.50 - 26.60)Gneis claro, poco meteorizado muy abrasivo, algo fracturado.
30	21.30	22.30	1.00	0.90	90		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 12.00 m de profundidad de tubería HW
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 19.90 m de profundidad.
Perforación en seco, con y sin serrucho

TABLA N° 23 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE PILAR N°03

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani — SONDEO N° PL-3

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani — MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149700 E: 775277 — NIVEL FREATICO: 1.10

COTA: Aprox. 4 msnm

FECHA DE INICIO: 16 - 09 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 17 - 09 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0.00	0.90	0.90	0.90	100		(0.00 - 0.60) (ML)Limo orgánico de baja plasticidad, suave con abundantes raices secas.
2	0.90	1.90	1.00	1.00	100		(0.60 - 2.80) SP arena mal graduada color gris a marron claro, suelta, humeda con grava redondeada de origen aluvial.
3	1.90	2.50	0.60	0.50	83		(2.80 - 3.36) GP Grava mal graduada, humeda, color gris, forma redondeada de origen aluvial.
4	2.50	3.50	1.00	1.00	100		
5	3.50	3.90	0.40	0.40	100		(3.36 - 3.90) (SP) Arena mal graduada, color gris, húmeda, suelta con grava sub - redondeada en +-10% de origen aluvial.
6	3.90	4.40	0.50	0.50	100		(3.90 - 4.90) (GW) Grava bien graduada, color gris y verde claro, húmeda suelta, sub - redondeada de origen aluvial con +- 25% de arena fina.
7	4.40	5.10	0.70	0.60	86		(4.90 - 7.40) (SP) Arena mal graduada, fina, color gris a marron claro, húmeda suelta con cantos aislados de origen aluvial.
8	5.10	5.40	0.30	0.30	100		
9	5.40	6.00	0.60	0.55	92		(7.40 - 8.15) GP Grava mal graduada, color gris, húmeda de forma redondeada de origen aluvial aluvial.
10	6.00	6.45	0.90	0.75		5	(8.15 - 11.05) (SP) Arena mal graduada, color marron claro, suelta contiene grava redondeada en forma aislada de origen aluvial.
	6.00	6.90			83		
11	6.90	7.20	0.75	0.30	40		
12	7.20	7.90	0.70	0.65	93		(11.05 - 11.55) GP Grava mal graduada, color gris, forma redondeada suelta de origen aluvial aluvial.
13	7.90	8.90	1.00	1.00	100		(11.55 - 20.00) (SP) Arena mal graduada, color marron claro, húmeda suelta con grava redondeada de origen aluvial en forma aislada.
14	8.90	9.30	0.40	0.40	100		
15	9.30	9.75	0.60	0.4		6	
	9.30	9.90			67		
16	9.90	10.70	0.95	0.75	79		
17	10.70	11.20	0.50	0.45	90		
18	11.20	11.90	0.70	0.65	93		
19	11.90	12.35	1.00	0.8		6	
	11.90	12.90			80		
20	12.90	13.20	0.85	0.30	35		
21	13.20	13.70	0.50	0.40	80		
22	13.70	14.10	0.40	0.40	100		
23	14.10	14.55	1.00	0.80		6	
	14.10	15.10			80		
24	15.10	15.30	0.75	0.20	27		(11.55 - 20.00) (SP) Arena mal graduada, color marron claro, húmeda suelta con grava redondeada de origen aluvial en forma aislada.
25	15.30	15.90	0.60	0.45	75		
26	15.90	16.35	1.00	0.80		7	
	15.90	16.90			80		
27	16.90	17.50	1.15	0.35	30		
28	17.50	18.30	0.80	0.60	75		
29	18.30	18.90	0.60	0.50	83		
30	18.90	19.60	0.70	0.60	86		
31	19.60	20.00	0.40	0.20	50		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 12.00 m de profundidad de tubería HW
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 20.00 m de profundidad.

TABLA N° 24 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE PILAR N°04

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani — SONDEO N° PL-4

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani — MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149671 E: 775303 — NIVEL FREATICO: -

COTA: Aprox. 4 msnm

FECHA DE INICIO: 07 - 10 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 08 - 10 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0.00	0.90	0.90	0.85	94		(0.00 - 0.30) (GP) Grava mal graduada, humeda, color gris, suelta de forma redondeada de origen aluvial.
2	0.90	1.50	0.60	0.60	100		(0.30 - 0.90) SP arena mal graduada color gris, humeda, suelta de origen aluvial con grava sub - redondeada en forma aislada.
3	1.50	1.90	0.40	0.40	100		
4	1.90	2.70	0.80	0.70	88		(0.90 - 1.50) (GW) Grava bien graduada, color gris, húmeda suelta, de forma sub - redondeada a redondeada de origen aluvial.
5	2.70	3.20	0.50	0.45	90		
6	3.20	3.90	0.70	0.60	86		(1.50 - 2.00) (SP) Grava bien graduada, color gris, húmeda suelta con grava sub - redondeada de origen aluvial con +- 15%.
7	3.90	4.30	0.40	0.40	100		(2.00 - 2.80) (GW) Grava bien graduada, color gris húmeda, suelta de forma sub redondeada de origen aluvial en +- 15% de arena fina.
8	4.30	4.60	0.30	0.30	100		(2.80 - 6.40) (SP) Arena mal graduada, color marron claro, húmeda, suelta suelta con grava sub - redondeada en forma aislada de origen aluvial.
9	4.60	5.05	0.50	0.4	80	6	
	4.60	5.10					
10	5.10	5.80	0.75	0.60	80		(6.40 - 7.00) GP Grava mal graduada, color gris, húmeda, suelta, con +- 30% de arena fina, de origen aluvial.
11	5.80	6.00	0.20	0.20	100		(7.00 - 7.60) (SP) Arena mal graduada, color marron claro, húmeda suelta con grava redondeada de origen aluvial.
12	6.00	6.80	0.80	0.60	75		
13	6.80	7.40	0.60	0.60	100		(7.60 - 10.60) (SP) Arena mal graduada, fina, color marron claro, húmeda suelta con grava sub redondeada en forma aislada.
14	7.40	7.80	0.40	0.40	100		
15	7.80	8.25	0.70	0.6	86	5	(10.60 - 19.60) (SP) Arena mal graduada, de grano medio, color marron claro, húmeda suelta con grava sub redondeada en +- 15% de origen aluvial.
	7.80	8.50					
16	8.50	8.80	0.55	0.30	55		
17	8.80	9.10	0.30	0.30	100		
18	9.10	9.60	0.50	0.50	100		
19	9.60	10.20	0.60	0.60	100		
20	10.20	10.60	0.40	0.40	100		
21	10.60	11.20	0.60	0.55	92		
22	11.20	11.60	0.40	0.40	100		
23	11.60	12.30	0.70	0.70	100		
24	12.30	12.60	0.30	0.30	100		
25	12.60	13.06	0.80	0.75	94	7	
	12.60	13.40					
26	13.40	13.90	0.85	0.50	59		
27	13.90	14.50	0.60	0.50	83		
28	14.50	14.90	0.40	0.40	100		
29	14.90	15.60	0.70	0.50	71		
30	15.60	16.40	0.80	0.55	69		
31	16.40	16.70	0.30	0.30	100		
32	16.70	17.20	0.50	0.40	80		
33	17.20	17.60	0.40	0.40	100		
34	17.60	18.00	0.40	0.40	100		
35	18.00	18.45	0.60	0.50	83	7	
	18.00	18.60					
36	18.60	19.10	0.65	0.25	38		
37	19.10	19.60	0.50	0.40	80		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 15.00 m de profundidad de tubería HQ
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 19.60 m de profundidad.

TABLA N° 25 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE PILAR N°05

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani — SONDEO N° PL-5

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani — MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149638 E: 775332 — NIVEL FREATICO: 1.10

COTA: Aprox. 4 msnm

FECHA DE INICIO: 05 - 10 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 06 - 10 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0.00	0.60	0.60	0.60	100		(0.00 - 0.60) (ML) Limo orgánico, de baja plasticidad color Beigge claro con raices secas.
2	0.60	1.00	0.40	0.40	100		(0.60 - 6.20) SP arena mal graduada color marron claro y gris húmeda, suelta de grano fino con láminas de limo y grava redondeada en +- 20% de origen aluvial.
3	1.00	1.45	0.90	0.9		6	
	1.00	1.90			100		
4	1.90	2.90	1.00	0.90	90		(6.20 - 19.65) (SP) Arena mal graduada de grano medio color marron claro húmeda, suelta con grava en forma aislada de forma redondeada de origen aluvial.
5	2.90	3.55	0.65	0.60	92		
6	3.55	4.00	0.45	0.45	100		
7	4.00	4.95	0.95	0.85	89		
8	4.95	5.55	0.60	0.55	92		
9	5.55	5.90	0.35	0.35	100		
10	5.90	6.30	0.40	0.40	100		
11	6.30	6.85	0.55	0.55	100		
12	6.85	7.40	0.55	0.55	100		
13	7.40	7.85	0.80	0.65		6	
	7.40	8.20			81		
14	8.20	8.90	0.70	0.65	93		
15	8.90	9.90	1.00	0.90	90		
16	9.90	10.35	0.80	0.8		7	
	9.90	10.70			100		
17	9.90	11.20	0.50	0.50	100		
18	11.20	11.80	0.60	0.60	100		
19	11.80	12.20	0.40	0.30	75		
20	12.20	12.80	0.60	0.55	92		
21	12.80	13.25	0.55	0.55		8	
	12.80	13.35			100		
22	13.25	13.75	0.40	0.40	100		(6.20 - 19.65) (SP) Arena mal graduada de grano medio color marron claro húmeda, suelta con grava en forma aislada de forma redondeada de origen aluvial.
23	13.75	14.15	0.40	0.40	100		
24	14.15	14.75	0.60	0.60	100		
25	14.75	15.25	0.50	0.40	80		
26	15.25	15.65	0.40	0.20	50		
27	15.65	16.15	0.50	0.30	60		
28	16.15	16.55	0.40	0.30	75		
29	16.55	17.15	0.60	0.40	67		
30	17.15	17.65	0.50	0.25	50		
31	17.65	18.15	0.50	0.30	60		
32	18.15	18.45	0.30	0.30	100		
33	18.45	18.85	0.40	0.30	75		
34	18.85	19.35	0.50	0.40	80		
35	19.35	19.65	0.30	0.20	67		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 15.00 m de profundidad de tubería HW
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 19.65 m de profundidad.

TABLA N° 26 REGISTRO GEOTECNICO – SONDAJE ESTRIBO IZQUIERDO

REGISTRO DE SONDAJE GEOTECNICO

PROYECTO: Estudio definitivo Puente Quilca Matarani SONDEO N° E-2

UBICACIÓN: Puente Quilca Matarani MAQUINA: Atlascopco

COORDENADAS GPS: N: 8149610 E: 775357 NIVEL FREATICO: 1.70

COTA: Aprox. 5 msnm

FECHA DE INICIO: 02 - 10 - 09 **FECHA DE CULMINACION**: 04 - 10 - 09

N°	Profund. (m)		Total	Recup.	Recup.	SPT / CP	Descripcion del material
Corrida	De	A	(m)	(m)	(%)	N°	
1	0	0.50	0.50	0.5	100		(0.00 - 0.50) Limo inorgánico, color marron claro, húmedo, suave con raices secas.
2	0.50	0.90	0.40	0.40	100		(0.50 - 1.30) (ML) Limo inorgánico, color marron claro, húmedo, no plástico suave.
3	0.90	1.50	0.60	0.6	100		(1.30 - 1.55) Carbonatos de Ca, color naranja claro.
4	1.50	1.90	0.40	0.4	100		(1.55 - 5.90) Gneis fragmentada acción mecánica, color gris y marron anaranjado, poco meteorizado, duro , testigo triturado.
5	1.90	2.30	0.40	0.40	100		
6	2.30	2.90	0.60	0.60	100		(5.90 - 10.00) Gneis gris claro, poco meteorizado muy duro, poco fracturado.
7	2.90	3.50	0.60	0.60	100		
8	3.50	4.20	0.70	0.65	93		
9	4.20	4.90	0.70	0.70	100		
10	4.90	5.30	0.40	0.40	100		
11	5.30	5.90	0.60	0.60	100		
12	5.90	6.80	0.90	0.80	89		
13	6.80	7.80	1.00	1.00	100		
14	7.80	8.80	1.00	0.90	90		
15	8.80	9.20	0.40	0.40	100		
16	9.20	10.00	0.80	0.45	56		

Nota:

Bo = Bolon (150 - 300 mm), Ca = Canto (80 - 150 mm), Gg = Grava gruesa (40 - 80 mm), Gm= Grava media (20 - 40 mm), Gf= Grava fina (5-20mm), Sg= Arena gruesa (2.5mm), Sm = Arena media (0.5 - 2mm), Sf = Arena fina (0.075 - 0.5 mm), F= finos (< de 0.075mm)

Observaciones: Revestimiento usado hasta 4.50 m de profundidad de tubería HW
Perforado y muestreado con tubería HQ desde 0.00 m hasta 10.00 m de profundidad.

Ensayos de Laboratorio

Las muestras obtenidas en los sondeos E-1, PL-1, PL-3, PL-4, PL-5 y E-2 se identificaron visualmente en campo y en el laboratorio. Se realizó un programa de ensayos en los que se encuentran, clasificación Unificada de suelos (ASTM D 2487), Límite Líquido y Plástico (ASTM D 4318), Análisis granulométrico (ASTM D 422) además de ensayos de penetración Estándar (ASTM D 1586).

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados a las muestras obtenidas en los sondeos de detallan en el perfil estratigráfico.

Perforación E-1

0.00 – 0.23 *Arcillas Inorgánicas de plasticidad baja (CL) de color marrón claro*

0.23 – 0.64 *Arena mal gradada, fina de color gris, con grava sub redondeada (SP).*

0.64 – 2.40 *Arena fina de color gris y marrón claro, con grava sub redondeadas (SP).*

2.40 – 3.40 *Limo arenoso color marrón claro – suelto.*

3.40 – 4.40 *Arena mal gradada color gris marrón claro, suelta con 15% de grava sub redondeada de origen aluvial.*

4.40 – 5.40 *Grava sub redondeada a redondeada compacta, color gris de diferente litología y origen aluvial*

5.40 – 6.40 *Arena mal gradada (SP-SM) de color gris a marrón claro compacta ligeramente limosa.*

6.40 – 7.40 *Grava bien gradada (GW) de color gris, compacta de forma sub redondeada y de origen aluvial, contiene 30% de arena fina.*

7.40 – 8.40 *Limo inorgánico, tieso, ligeramente arcilloso color marrón claro.*

8.40 – 9.40 *Arena fina, mal gradada de color gris, suelto, con 30% de grava redondeada de origen aluvial (SP).*

9.40 – 10.40 *Grava mal gradada, color gris claro y gris oscuro de forma redondeada y sub redondeada de origen aluvial y suelta (GP).*

10.40 – 11.40 *Arena mal gradada, de grano fino suelto, color gris y gris oscuro, contiene grava redondeada de litología heterogénea en +-10% de origen aluvial húmeda (SP).*

Perforación PL – 1:

0 – 0.35 *Limo orgánico de plasticidad baja con raíces secas (DL)*

0.35 – 1.10 *Arena mal gradada color gris claro, humedad compacta (SP)*

1.1 – 6.60 *Arena mal gradada (SP) color gris, suelto con 15% de grava sub – redondeada de origen aluvial y saturado.*

6.60 – 8.80 *Arena mal gradada gruesa con grava sub redondeada en 20% suelto y saturado (SP).*

8.30 – 8.64 *Grava mal gradada muy denso color gris saturado (GP).*

8.64 – 16.00 *Arena mal gradada (SP), saturada, color gris, fina con 10% de grava sub – redondeada a redondeada de origen aluvial.*

16 – 16.30 *Grava mal gradada, color gris, saturada sub – redondeada de origen aluvial (GP)*

16.3 – 17.30 *Arena mal gradada, color gris claro, suelta saturada de grano fino con 10% de grava redondeada de origen aluvial (SP).*

17.3 – 17.9 *Grava mal gradada, color gris, saturado redondeado de origen aluvial con + - 30% de arena fina.*

17.9 – 30.00 *Arena mal gradada, color claro, suelto saturado de grano fino con 10% de grava redondeada de origen aluvial (SP)*

Perforación PL – 3

0.0 – 0.60 *Limo orgánico de baja plasticidad, suave con abundantes raíces secas (ML).*

0.60 – 2.80 *Arena mal gradada color gris a marrón claro, suelta, húmeda con grava redondeada de origen aluvial (SP).*

2.80 – 3.36 *Grava mal gradada, húmeda, color gris, forma redondeada de origen aluvial suelto (GP).*

3.36 – 3.90 *Arena mal gradada, color gris, húmeda, suelto con grava sub – redondeada en + - 10 % de origen aluvial (SP).*

3.90 – 4.90 *Grava bien gradada, color gris y verde claro, húmedo suelto, sub redondeado de origen aluvial con + - 25% de arena fina (GW).*

4.90 – 7.40 *Arena mal gradada, fino color gris a marrón claro, húmedo suelto con clastos de origen aluvial (SP).*

7.40 – 8.15 *Arena mal gradada, color gris marrón claro.*

8.15 – 11.05 *Arena mal gradada, color marrón claro, suelto contiene grava redondeada en forma aislada de origen aluvial (SP).*

11.05 – 11.55 *Grava mal graduada, color gris, forma, redondeada suelta de origen aluvial (GP).*

11.55 – 20.00 *Arena mal gradada, color marrón claro, húmedo, suelto con grava redondeada de origen aluvial en forma aislada (SP).*

Perforación PL-4

0.0 – 0.30 *Grava mal gradada, color gris, húmedo, suelto de forma redondeada y origen aluvial (GP).*

0.30 – 0.90 *Arena mal gradada, color gris, húmedo, suelto, de origen aluvial con grava sub - redondeada en forma aislada (SP).*

0.90 – 1.50 *Grava bien gradada, color gris, húmedo, suelto, de forma sub - redondeada de origen aluvial (GW).*

1.50 – 2.00 *Arena mal gradada, color gris húmedo, suelto con grava sub - redondeado de origen aluvial en + - 15% (SP).*

2.00 – 2.80 *Grava bien gradada, color gris húmedo, suelto de forma sub - redondeada de origen aluvial en + - 15% de arena fina (GW).*

2.80 – 6.40 *Arena mal gradada color marrón claro, húmedo suelto, con grava sub - angulosa en forma aislada de origen aluvial. (SP).*

6.40 – 7.00 *Grava mal gradada, color gris, húmedo, suelto, con + - 30% de arena fina, origen aluvial (GP).*

7.00 – 7.60 *Arena mal gradada, color gris, húmedo, suelto, con + - 30% de arena fina. Origen aluvial (GP).*

7.60 – 10.60 *Arena mal gradada, fina, color marrón claro, húmedo, suelto con grava sub - redondeada en forma aislada (SP).*

10.60 – 20.00 *Arena mal gradada, de grano medio, color marrón claro, húmedo, suelto con grava sub – redondeada en + - 15% de origen aluvial (SP).*

Perforación PL-5

0.0 – 0.60 *Limo inorgánico, de baja plasticidad color beige claro con raíces secas (ML).*

0.60 – 6.20 *Arena mal gradada color marrón claro y gris húmedo, suelto de grano fino con láminas de limo y grava redondeadas en + - 20% de origen aluvial (SP).*

6.20 – 20.0 *Arena mal gradada de grano medio color marrón claro húmedo, suelto con grava en forma aislada de forma redondeada de origen aluvial (SP).*

Perforación E-2

0.0 – 0.50 *Limo inorgánico color marrón claro, húmedo suave con raíces secas (ML).*

0.50 – 1.30 *Limo orgánico color marrón claro, húmedo, no plástico suave (ML).*

1.30 – 1.55 *Limo orgánico color marrón claro.*

1.55 – 5.90 *Gneis fragmentado acción mecánica, color gris y marrón anaranjado, poco meteorizado, duro, testigo triturado.*

5.90 – 10.00 *Gneis gris claro, poco meteorizado muy duro y poco fracturado.*

5.4 Características del Sub-Suelo

5.4.1 Generalidades

En la región se han diferenciado rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas, cuyas edades van desde el pre cambriano hasta el cuaternario. Las rocas más antiguas están representadas por el complejo basal de la costa, constituido por gneis, mica esquistos, migmatitas, dioritas gnéisicas y granito rojo, entidad que en conjunto se considera de edad pre cambriana a paleozoico inferior.

En la zona del Puente Quilca encontramos depósitos fluviales que provienen de la meteorización y erosión de las rocas trasladadas por el agua de los ríos y depósitos eólicos.

a) Complejo Basal de la Costa

Comprenden en la zona de estudio el afloramiento de rocas metamórficas y de intrusiones. En gran parte del área evaluada principalmente se presentan las primeras conformadas por un gneis color gris verdoso con textura bandeada, así como también intrusiones de granito color blanco grisáceo a blanco con tonos rosados.

El gneis abarca principalmente en las cercanías del pueblo de Quilca, la roca se extiende desde el litoral hasta la parte continental formando zonas rocosas de elevaciones

medias que con el avance se hacen de mayor altura. En el complejo basal, de un modo general, presenta principalmente dos tipos de rocas: gneis y granito rosado.

b) **Gneis**.- *Esta roca es la más antigua del área, sus aforamientos se presentan en forma más o menos paralela al litoral pacífico, constituyendo el mayor volumen de las rocas de la cordillera de la costa.*

Las bandas claras están constituidas por ortosa y cuarzo hialino y las oscuras, por micas (principalmente biotita) y hornablenda.

Esta roca metamórfica aflora dentro de los primeros 30km; desde el km. 25+100 antes de la quebrada pedregosa y se acentúa en los posteriores kilómetros llegando al pueblo de Quilca. Posteriormente al kilómetro 30, existen afloramientos grandes de roca como en la Quebrada San José y la Quebrada Honda.

c) **Granito. -** *Esta roca se presenta en forma de stocks, diques y pequeñas apófisis instruyendo a los gneis. Es de color rojizo claro de grano medio a grueso a simple vista se reconocen los siguientes minerales: ortosa, cuarzo, plagioclasas, biotita y hornablenda.*

La ortosa es el mineral más abundante y ocurre en cristales anhedrales de coloración rosada; el cuarzo es hialino, de brillo vítreo, las plagioclasas son de coloración blanco-lechosa y ligeramente rosada y se presenta en menor proporción.

Entre los elementos máficos se distinguen biotitas en placas de brillo metálico con contornos irregulares y hornablenda en cristales aislados.

d) **Pegmatitas. -** *Este tipo de rocas se presenta diques, lentes, venillas y masas irregulares. Los minerales esenciales de las pegmatitas son ortosa, cuarzo y moscovita; accesoriamente se distinguen biotita y flogopita, esta última generalmente en el contacto con el gneis.*

Numerosos diques pegmatíticos se hallan distribuidos entre el valle del río Quilca por el NW y la Quebrada Calahuani por el SE.

e) **Edad y Correlación. -** *Las rocas del complejo basal han sido estudiadas por varios autores en la Costa sur del País; todos ellos coinciden en asignarles una edad que va del pre cambriano al paleozoico inferior, teniendo en consideración su alto grado de metamorfismo y su posición infra yacente, con fuerte discordancia angular, a rocas más jóvenes del paleozoico como las areniscas.*

El granito y los diques pegmatíticos cortan nítidamente al gneis, indicando que la edad de este es más antigua. Por las relaciones expuestas se concluye que el complejo basal es pre cambriano a paleozoico inferior.

f) Depósitos aluviales

Depósitos de conglomerados con intercalaciones de gravas, arenas, arcillas y a veces tufos.

Sus composiciones consisten principalmente de rocas volcánicas y secundariamente de rocas intrusivas de matriz areno arcillosa.

Los cantos tienen formas sub redondeadas hasta angulosas de tamaño medio.

Ubicados en el valle y márgenes del río Quilca siguiendo el camino después del pueblo Km. 30+000 al Km. 31+600.

Su afloramiento indica que se han formado en una época de fuertes precipitaciones y abundante escorrentía, condiciones que prevalecieron en las partes altas de los Andes durante las etapas de glaciación y desglaciación del pleistoceno.

Estos depósitos aluviales se han depositado antes de que se formaran los causes de los ríos actuales; pues se les nota claramente cortados por ellos.

g) Depósitos Cuaternarios Recientes

Lo conforman los depósitos aluviales, coluviales, eólicos y de playa de composición heterogénea que cubren parcialmente a las formaciones más antiguas.

h) Descripción General de las condiciones de Subsuelo

De acuerdo a los perfiles estratigráficos los suelos encontrados son mayormente arenas marrones claras, sueltas con grava sub-redondeada y redondeada de origen aluvial.

En casi todos los ensayos de penetración estándar el valor N encontrado es menor de 10 (suelto.)

Solo en el estribo izquierdo y pilar número 01 se encontró roca competente (gneis) con carga portante >100 Kg/cm2.

i) Análisis de Cimentación

Para el análisis de cimentación se ha efectuado los ensayos de exploración de suelo a través de perforaciones y ensayos geofísicos mediante refracción sísmica, los cuales brindan la información de las características del suelo donde se apoyará la cimentación del puente y es la base para el planteamiento de alternativas de cimentación.

Con las características geotécnicas encontradas, el perfil estratigráfico adoptado.

5.5 Procedimiento de perforación Rotativa y Muestreo

5.5.1 Equipo y Material Utilizado:

El equipo de perforación utilizado fue una maquina Atlas Copco D-1500 E. para la recuperación de muestras se emplearon, en suelos se adaptaron serruchos para la perforación y recuperación en seco.

La mayor parte de la recuperación se efectúo por tubo (Core barel) y en pocas ocasiones se recuperó sin tubo interior. En roca, toda la recuperación se efectuó con Core barel.

5.5.2 Perforación y Muestreo

La perforación fue efectuada con recuperación total, las muestras obtenidas se llenaron en cajas y las muestras obtenidas del ensayo de penetración estándar se llenaron en bolsas plásticas y se guardaron en las cajas de valor N, provenientes de los últimos treinta centímetros de los ensayos.

5.5.3 Logueo y Testificación de Muestras

El logue y la testificación de muestras fueron coordinados entre el perforista y el ingeniero encargado del registro de perforación y muestreo.

Se emplearon los métodos convencionales para el logueo y testificación de muestras (SUCS) e (ISMR).

Las muestras fueron debidamente guardadas en forma correlativa en cajas de madera y los ensayos SPT en bolsas plásticas y luego en las mismas cajas de madera.

- *Condición General de las Condiciones del Sub-Suelo Investigado*

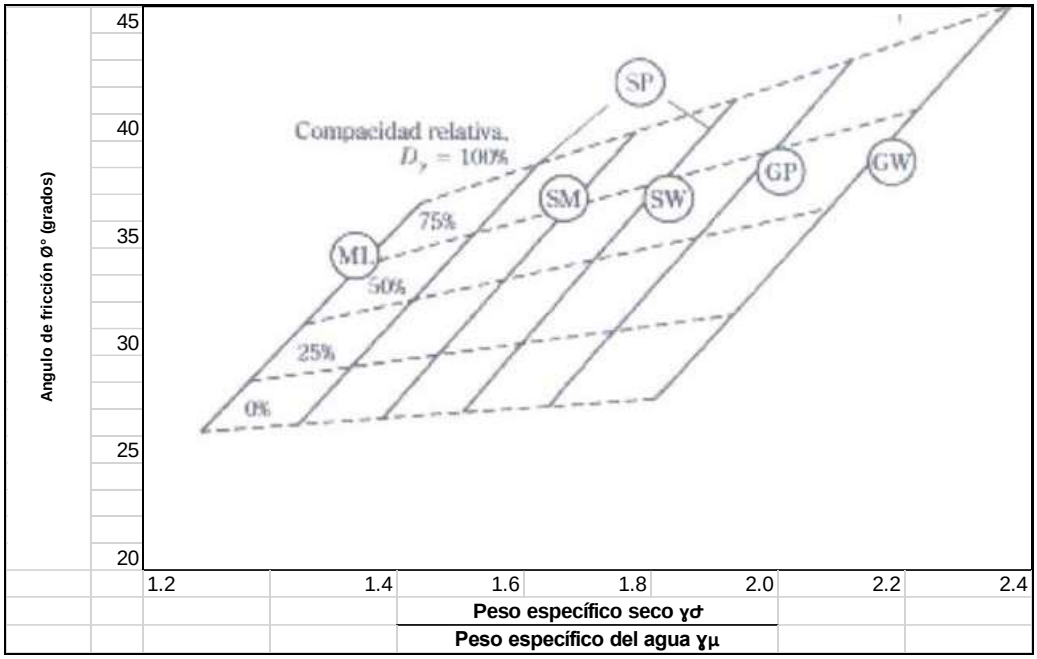
Para la evaluación de los materiales del subsuelo existente fue necesaria la ejecución de los siguientes estudios:

- *Perforación de 6 sondajes diamantinos con recuperación continua de testigos de profundidades comprendidas entre 24 y 70 metros.*
- *Ejecución de ensayos SPT según Norma ASTM D1586 durante el avance de las perforaciones a intervalos de 2 y 3 metros de avance, incluyendo la toma de la muestra.*
- *Ensayos de laboratorio sobre las muestras extraídas durante la ejecución de los ensayos SPT.*
    - Toma de muestras y ensayos de laboratorio.
- *Los ensayos que han sido realizados sobre las muestras recogidas son:*
- *Granulometría por tamizado, según ASTM D2216;*
- *Determinación de los límites de liquidez y de plasticidad, según ASTM D 4318;*
- *Determinación de contenido de humedad, según ASTM D 2216;*
- *Determinación de la densidad máxima, según ASTM D4253;*
- *Determinación de la densidad mínima, según ASTM D 4254.*

En la siguiente tabla se resumen los resultados de los ensayos in situ y de laboratorio realizados sobre muestras en suelo:

TABLA DE NAVFAC

Tabla N° 27: Tabla de Navfac



Fuente: Alpha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 28: Propiedades en arenas

N 30cm x N° golpes	En arenas		Ø Angulo de fricción interna	E kg/cm2
	Descripción	Compacidad relativa		
0 _ 4	Muy floja	0 - 15 %	28°	100
5_10	Floja	16 - 35 %	28 _ 30	100 _ 250
11 _ 30	Media	36 - 65 %	30 _ 36	250 _ 500
31 _ 50	Densa	66 - 85 %	36 _ 41	500 _ 1000
> 50	Muy densa	86 - 100 %	> 41	> 1000

Fuente: Ingeniería Geotécnica / Suelos y cimentaciones

De acuerdo con los perfiles estratigráficos los suelos encontrados son mayormente arenas marrones claro, sueltas, con grava sub – redondeada y redondeada de origen aluvial.

En casi todos los ensayos de penetración estándar el valor N encontrado es menor de 10 lo que nos da una densidad suelta.

Solo en el estribo izquierdo y pilar N° 01 se encontró roca competente (gneis) con carga portante 117 Mpa y 128 Mpa.

Asimismo, se tomaron muestras de agua del interior de los sondeos para estudiar sus características y agresividad.

Tabla N° 29; Ensayos físico químico del agua

	Contenido en					
Muestras	**Cloruros (mg/l)**	**Sulfatos (mg/l)**	**Materia orgánica (mg/lO2)**	**Alcalinidad (mg/lCaCO3)**	**Sales solubles**	**Ph**
MAQ 01		1075	6.45			
MAQ 02		1357	6.17			
MAQ 03	944	1410	5.85	127	4150	8.28
MAQ 04	944	1150	5.17	129	4150	8.37
MAQ 05	947	933	5.95	127		
MAQ 06		1257	7.7			
Promedio	945	1197	6.22	128	4150	8.33

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

5.5.4 Ensayos de Compresión Simple

- **Ensayos de compresión simple M-1 y M-2**

Los ensayos se realizaron con la Norma ASTM D2938

Los resultados con los siguientes:

Tabla N° 30; Ensayos a compresión simple

Muestra	Profundidad	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (KN.)	Resistencia a la compresión Simple (kg./cm2)	Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)
M-1	6.80 – 7.60	6.30	12.60	366.00	1200.26	117.63
M-2	8.80 – 9.20	6.31	12.58	400.00	1307.09	128.09

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

- **Ensayos de Compresión Simple**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM D2938

Los resultados son los siguientes:

Tabla N° 31; Ensayos a compresión simple M-6

Muestra	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Carga (KN.)	Resistencia a la compresión Simple (kg./cm2)	Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)
M-6	5.52	10.60	217.90	925.99	90.95

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

- **Ensayos de Propiedades Físicas**

Los ensayos se realizaron según la norma ASTM C 97 - 02

Los resultados son los siguientes:

Tabla N° 32; Ensayos de Propiedades Físicas

Muestra	Diámetro (cm.)	Altura (cm.)	Densidad Seca (gr./cm3)	Densidad Húmeda (gr./cm3)	Porosidad Aparente (%)	Absorción (%)	Peso Específico Aparente (KN/m3)
M-6	5.52	2.92	2.83	2.83	0.30	0.11	27.75

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Compresión Uniaxial

Foto N°37, Antes

Foto N°38, Después

Foto N°39, Antes

Foto N°40, Después

Foto N°41, Antes

Foto N°42, Después

Descripción del desarrollo del ensayo:

Se desarrollo dos tipos de evaluaciones para determinar el tipo de roca, a continuación, se detalla.

Macroscópica; se describe las características de la muestra en dimensiones mayores iguales a 1 mm.

Microscópica; se describe las características de la muestra en dimensiones menores a 1mm.

- **Metodología**

Para cada caso se describirá los procedimientos seguidos:

- *Macroscópico*

Mediante observaciones a través del microscopio estereoscópico y de la lupa de 10X de aumento; se describe la morfología e interrelación de los componentes. Así mismo se identifica los minerales que la componen.

- *Microscópico*

De la muestra proporcionada se elaboró una sección delgada sobre la cual se realizó el análisis a nivel microscópico.

Este análisis consiste en la identificación de los minerales que componen la muestra que nos permitirán determinar la clasificación y el nombre de la roca. Adicionalmente las características propias de la misma.

- **Descripción macroscópica y microscópica**

A continuación, se describirá una muestra a las cuales se les asigno el siguiente código: 84+820; las características más resaltantes de cada muestra estudiada indicando su denominación propuesta.

Código de Muestra: 84+820.

Foto N°43

Los minerales componentes

Los principales componentes de esta muestra son:

- *Cuarzo*
- *Feldespato potásico (microclina)*
- *Anfiboles y piroxenos*

Alterabilidad de los componentes

Feldespatos potásicos

Los feldespatos son los minerales más fácilmente alterables; cuando están sanos son minerales de alta dureza, muy aptos para un buen pulido, y con muy baja capacidad de absorción de agua.

Debemos indicar que su alteración genera minerales arcillosos (caolín, illita, sericita, etc.) Que presentan caracteres diametralmente opuestos: baja dureza, no aptos para el pulido, y con muy alta capacidad de absorción de agua.

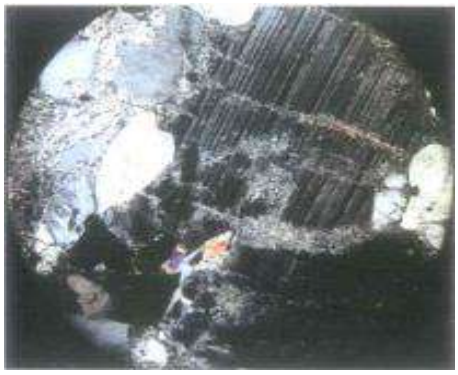


Foto N°44

Como podemos apreciar en la vista en las fracturas se aprecia rellenos de minerales (sericita, un tipo de arcillas); adicionalmente de los contactos entre otros cristales.

Es preciso señalar la existencia de material de alteración en los bordes de algunos de los cristales que la componen (feldespatos potásicos fundamentalmente) ofreciendo la idea de poseer matriz alterado; que no es el caso en esta muestra.

Micas

Existe poca presencia de micas, siendo la biotita la reconocida son muy alterables, en la muestra existe un incipiente proceso de alteración en ellas.

Anfiboles y Piroxenos

Los anfiboles son metaestables en condiciones atmosféricas y tienden a alterarse con relativa facilidad; para efectos de nuestro estudio estos componentes poseen baja estados de alteración.

Microfracturamientos

Se ha reconocido la presencia de microfracturas en los feldespatos potásicos de poca persistencia; pero con contenidos de minerales de alteración (sericita).

Foto N°45

No se apreció en los otros minerales este fracturamiento.

Tipo de Roca

La muestra presenta un aspecto masivo de coloración pardo claro por la presencia de feldespato potásico; exhibe bandeamientos de color gris oscuro denotando la presencia de elementos máficos (piroxenos y anfiboles).

Es resistente a golpes de martillo.

De acuerdo con lo expuesto podemos referirnos a la muestra como una roca metamórfica de nombre gneis con presencia de feldespato potásico anhedral y de bandeamiento con contenido de máficos.

Lo expresado se sustenta de los estudios macroscópicos y microscópicos realizados en gabinete y laboratorio.

Características Principales de la Muestra 84+820

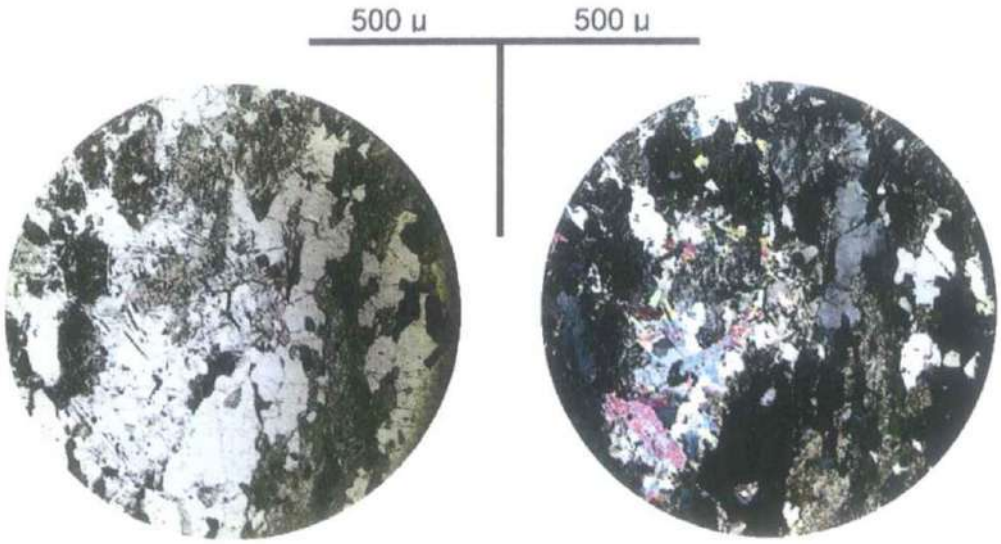


Foto N°46 y 47

Textura granoblástica, con orientación de elongación marcada

Cristales de feldespato potásico (microclina) y de cuarzo ondulante indicador de deformación; fragmentos de piroxenos entre los cristales ya descritos.

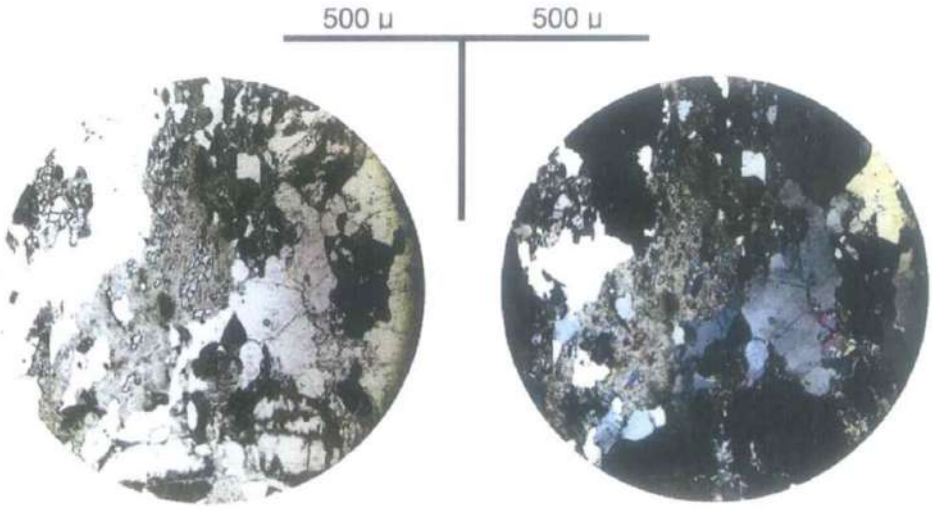


Foto N°48 y 49

La textura granoblástica con cristales mostrando fracturas con relleno.

Los fracturamientos se encuentran rellenos por cristales de piroxenos y de feldespatos alterados.

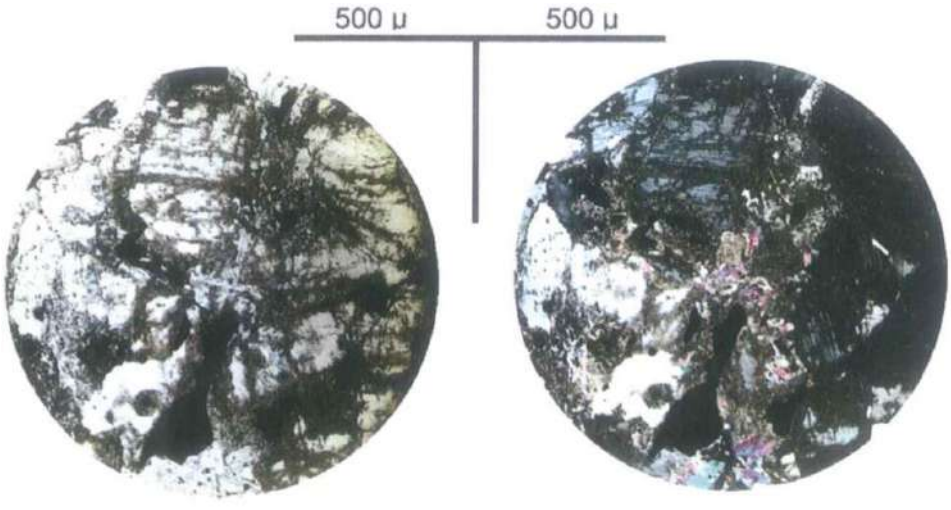


Foto N°50 y 51

Fenocristales de feldespatos potásicos, mostrando fracturamientos paralelos.

Cristales de piroxenos ocupan la parte central de la fotomicrografia.

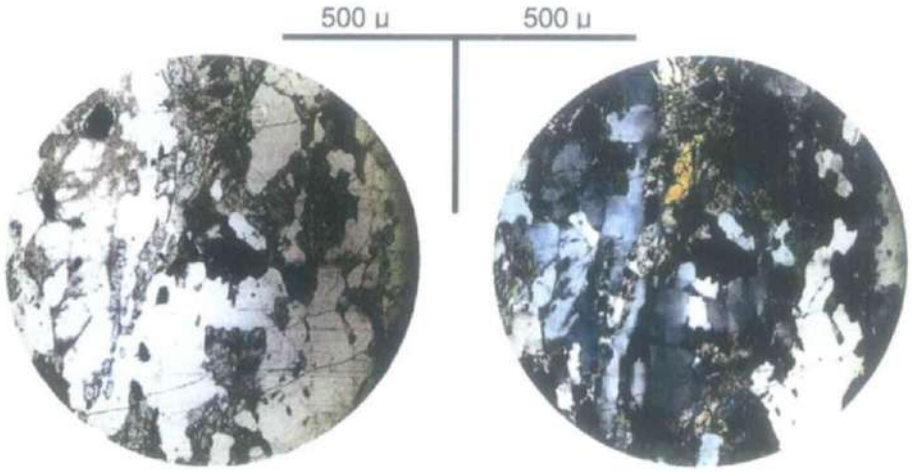


Foto N°52 y 53

Cristales de cuarzo alongados con extinción ondulante denotando por ello condiciones de presión.

Fracturamiento débil, rellenado por cristales de piroxenos.

- *Dos son las formaciones que desde el punto de vista geológico se pueden diferenciar en el ámbito del estudio:*

- **Gneises** *pertenecientes al complejo basal de la costa, se trata de una roca metamórfica de gran dureza que aflora en ambos lados del valle sirviendo de apoyo al estribo del lado oeste.*
- **Sedimentos aluviales y derrubios de ladera** *pertenecientes a la dinámica fluvial del río Quilca y sedimentos recientes procedentes de la alteración de las paredes gnéisicas del valle. La disposición de estos materiales dentro del valle es muy heterogenia siendo complicado encontrar un criterio homogéneo de distribución. Los principales materiales encontrados en los reconocimientos geotécnicos efectuados han sido los siguientes:*
    - **Arenas. -** *Las arenas representan el material predominante localizado en las columnas de los sondajes perforados. Este material puede representar cerca del*

65% del material perforado. Se trata de arenas de todas las granulometrías de colores oscuros por la presencia de materia orgánica y con frecuente presencia de numerosos minerales lo que nos habla de una arena de formaciones recientes. Se ha observado que en la margen izquierda del valle (lado Matarani) los golpes de los ensayos SPT aumentan significativamente con la profundidad. Sin embargo, este hecho no se ha detectado en la margen derecha. Las arenas de compacidad floja a media se corresponden con la unidad geotécnica 1 y las arenas de compacidad densa a muy densa se corresponden con la unidad geotécnica 2.

- **Gravas.** - *Las gravas representan aproximadamente el 25% del material perforado en los sondajes. Se han localizado en los sondajes SC -13 y SC – 12 a partir del entorno de los 50 m de profundidad. En los sondajes SC – 9, SC -15 y SC -16 también se han detectado en pequeños niveles de entre 1 y 2 m distribuidos a lo largo de todo el valle, desde la superficie del terreno hasta una profundidad de entre 8 y 10 m. Estas gravas son de naturaleza gnéisica y se han encontrado redondeadas y angulosas, lo que marca diferentes procedencias a lo largo de todo el valle. Esta formación geológica se corresponde con la unidad geotécnica 3.*

- *Localización en planta de trabajos realizados en diciembre 2013 – enero 2014*

Tabla N° 33; Coordenadas de Sondajes perforados Localización en planta y profundidad de sondajes perforados

Nombre sondaje	Coordenadas UTM – Datum WGS 84		Profundidad alcanzada (m)
	X	Y	
SC-11	775332	8149638	60
SC-12	775277	8149700	60
SC-13	775197	8149864	70
SC-14	775133	8149864	30
SC-15	775057	8149949	24.7
SC-16	774964	8150055	26.8

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

- **Limos.** - *Los materiales más finos no aparecen en una zona específica del valle. Únicamente, en el sondeo SC – 9 se ha encontrado una capa de espesor de unos 10 m. en resto de los sondeos, los niveles de limo localizados están en el entorno de 1 a 2 m. los golpes de los ensayos SPT obtenidos en estas capas han sido siempre bajos. Los limos se corresponden con la unidad geotécnica 4.*

Tabla N° 34; Coordenadas de Sondajes perforados
Localización en planta y profundidad de sondajes perforados

Nombre sondaje	Coordenadas UTM – Datum WGS 84		Profundidad alcanzada (m)
	X	Y	
SC-7	775325	8149646	50
SC-8	775254	8149728	50
SC-9	775177	8149822	50
SC-10	775091	8149911	50

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

5.6 Criterios finales de diseño geotécnico del Puente Quilca

De acuerdo con las condiciones topográficas de la zona, a las condiciones hidráulicas del río, al diseño geométrico del proyecto vial y a las posibilidades constructivas en el lugar de ubicación del puente, se plantea un puente de 242.00 m. de longitud, compuesto por 6 tramos de 38.00 m y 44.00 m. de longitud entre apoyos en pilares. El ancho de la calzada es de 7.80 m. y cubre la superficie de rodadura de la vía y las bermas correspondientes.

El diseño en planta del puente se considera recto toda vez que el eje del puente cruza el eje predominante del río aproximadamente a 90°. De acuerdo con las necesidades hidráulicas y para controlar la socavación local en los estribos, se proyectarán enrocados en ambas márgenes.

5.7 Breve análisis que justifican la construcción de los pilotes y Jet Grouting

El puente Quilca se encuentra ubicado en el delta del río Quilca, sobre depósitos in consolidados de gravas y arenas finas.

El estudio de investigación contempla un puente de 242.00 m. de luz con una superestructura conformada por una losa o tablero de concreto armado y 5 pilares.

Se realizó el análisis de licuación, tomando como base los resultados del ensayo de SPT tomados en cada una de las perforaciones, con el objetivo de evaluar la resistencia cíclica del depósito.

Las arenas saturadas son combinadas con características específicas de granulometría, compacidad, esfuerzos y actividad sísmica son vulnerables al fenómeno de la licuación.

En todos los análisis de licuación realizados, se observó la licuación del material de fundación, quedando al descubierto que es necesario utilizar una solución para cimentar a grandes profundidades, ya que no se encontró ningún estrato estable.

La solución más apropiada para la cimentación de los pilares del puente Quilca es la alternativa referida a la colocación de pilotes y vaciado in situ raíz de 1500 mm. de diámetro y de 1000 mm. de diámetro el jet grouting.

5.8 Sismicidad

5.8.1 Generalidades

El presente informe documenta los resultados de la revisión y el análisis de la sismicidad histórica, sismicidad instrumental y geotectónica existente en el área de la zona sur del Perú perteneciente al tramo de la carretera Quilca – Matarani, en el departamento de Arequipa. La actividad sísmica contemplada comprende el área Lat. – 15.00 a. 18.50°S; Long. -68.00° a – 76.00° O en el periodo de los años 1908 al 2008 y con magnitud mayor a 4.

En la evaluación del peligro sísmico se ha realizado el método determinístico y el probabilístico. Con el primero obtendremos la aceleración máxima del terreno en la zona de estudio y con el segundo se obtiene la probabilidad anual de excelencia de un nivel de aceleración dado.

La finalidad del estudio será proponer aceleraciones de diseño en el área del proyecto para que las construcciones sean diseñadas con sistemas constructivos adecuados. Además, se proponen valores del coeficiente sísmico para el diseño de taludes, muros y puentes.

5.8.2 Historia del área de Influencia

La fuente básica de datos de intensidades sísmicas es el trabajo de Silgado (1969, 1973, 1978 y 1992), que describe los principales eventos sísmicos ocurridos en el Perú. Un mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas observadas en el Perú ha sido propuesto por Alva Hurtado al (1984). La confección de dicho mapa se ha basado en treinta isosistas peruanos y datos de intensidades puntuales de sismos históricos y sismos recientes.

Los sismos más importantes que afectaron la región y que su historia se conoce son:

22 de Enero de 1582

Terremoto en Arequipa, Fray Víctor Barriga (1915) comenta que "los cerros conmovidos ayudaron al temor con el ruido, desgalgo de piedras, la tierra y el mucho polvo parecía que unos con otros se apresuraban a sepultar a los vivientes".

28 de Febrero de 1600

Hubo un fortísimo temblor en Arequipa el 19 de Febrero causado por la explosión del cráter del volcán Huaynaputina (Omate). Esta explosión fue precedida y seguida por una serie de temblores. Este evento del 28 de febrero de 1600 trajo como consecuencia en el poblado de Omate se sepultaron 6 a 7 pueblos, pereciendo todos sus habitantes. El rio Tambo quedó represado por los torrentes de escombros y lavas.

24 de Agosto de 1942

Terremoto de Nazca, Silgado (1978) indica derrumbes en los cerros de los tramos de la carretera de acceso al interior, especialmente a la altura Puquio y en otros

lugares de la vertiente occidental, así como al noroeste de Cangallo, en la vertiente atlántica.

28 de Mayo de 1948

Terremoto en Cañete. Silgao (1978) reporta que en las inmediaciones de Calaveras se produjeron varios deslizamientos en terrenos pantanosos. En las faldas de cerro Candela se formaron grietas, observándose en el lugar pequeños derrumbes a la saturación del terreno.

9 de Diciembre de 1950

Fuerte temblor en Ica. Ocurrieron derrumbes en la carretera de Ica a Córdova; en Pacarán y en el pueblo de Huaytará hubo deslizamientos (Silgado 1952).

21 de Abril de 1954

Movimiento ligeramente destructor en el sur del Departamento de Lima. Derrumbe en el sector de Pasamayo y entre Chincha y la Florida se produjo un deslizamiento de arena en el talud de falla de Jahuay (Silgado, 1957).

15 de Enero de 1958

Terremoto en Arequipa. Silgado (1978) indica que, por efecto, tanto del Misti como de los cerros vecinos, se desprendieron enormes piedras que al rodar cuesta abajo, levantaron gran polvareda. Hacia la cordillera, los derrumbes dañaron en varios tramos la línea del ferrocarril de Puno. La carretera Panamericana entre Chala y Arequipa fue cubierta en varios trechos por deslizamientos de magnitud variable, siendo la zona más afectada entre Ático y Camaná.

16 Febrero de 1979

Sismo causo estragos en Camaná, Corire y Huancarqui. Intensidad VII MM en Camaná, VI en Huancarqui, Caraveli, Ocoña, Chivas, Chala y V MM en la Joya.

12 Noviembre de 1996

Sismo causa estragos en Nazca, Acari, Inseria máxima de VII MM en Marcona, intensidades VIII MM en Camaná, VII en Chuquibamba y III en Lima.

3 de Junio 2001

De fallamiento inverso, se localizó en la costa del Pacifico frente a la ciudad de Ocoña, Arequipa. Se reportan intensidades MM de VII y VIII en las ciudades de Ocoña, Arequipa. Se reportan intensidades MM de VII y VIII en las ciudades de Moquegua y Tacna, asi como un maremoto local (ola de 7 a 10 m de altura) en la localidad de la punta, Camaná. Esta zona presenta un periodo de recurrencia de 100 años.

5.8.3 Distribución Espacial de los Sismos

La ubicación de hipocentros ha mejorado en tiempos recientes, por lo que pueden considerarse los siguientes periodos en la obtención de datos sismológicos.

Antes de 1900: datos históricos descriptivos de sismos destructores.

1900 – 1963: datos instrumentales aproximados.

1963 – 1992: datos instrumentales precisos.

Los sismos en el área de influencia presentan el mismo patrón general de distribución espacial que el resto del territorio peruano, es decir la mayor actividad sísmica se concentra en el mar, paralelo a la costa, se aprecia subducción de la Placa de Nazca, ya que hacia el continente la profundidad focal de los sismos aumenta. También se producen sismos en el continente que son superficiales e intermedios y que estarían relacionados a posibles fallas existentes.

Tabla N°35: Sismos más importantes de los últimos 70 años en el área del proyecto

Fecha	Hora	Lat.	Lon.	Prof	
dd/mm/aaaa	GMT	S	O	km	mb
23/06/2001	20:33:14.4	-16.462	-73.936	30	8.4
06/08/1913	22:14:24.0	-15.800	-73.500	80	7.8
12/11/1996	16:59:39.9	-15.214	-75.937	20	7.7
11/10/1922	14:49:50.0	-16.000	-72.500	50	7.4
28/12/1915	23:40:00.0	-15.155	-73.930	90	7.3
19/07/1959	15:06:10.0	-15.000	-70.500	200	7.1
07/10/1920	20:54:00.0	-15.133	-74.173	80	7.1
15/01/1958	19:14:29.0	-16.500	-72.000	60	7.0
28/07/1913	06:40:00.0	-16.600	-73.300	30	7.0
16/02/1979	10:08:54.2	-16.576	-72.565	53	6.9
15/01/1960	09:30:24.0	-15.000	-75.000	70	6.9
07/07/2001	09:38:39.0	-18.032	-72.446	11	6.8
24/02/1947	17:31:00.0	-15.310	-68.810	20	6.8
05/07/1943	21:07:54.0	-16.000	-74.000	5.9	6.8
29/03/1937	07:49:47.0	-15.500	-71.000	120	6.8
21/09/1928	13:27:05.0	-15.000	-70.500	250	6.8
11/05/1948	08:55:41.0	-17.500	-70.250	70	6.7
24/08/1942	22:50:27.0	-15.549	-74.742	70	6.7
27/12/1915	15:48:00.0	-15.200	-75.000	70	6.7
29/11/1989	01:00:19.9	-15.500	-73.510	65	6.5
12/10/1956	02:37:44.0	-15.500	-75.280	5.8	6.5
21/07/1949	08:01:39.0	-15.500	-73.000	150	6.5
19/09/1935	09:55:47.0	-15.500	-70.000	250	6.5
09/12/1932	08:34:55.0	-15.379	-74.348	90	6.5

Fuente: Instituto Geofísico del Perú.

5.8.4 Tectónica y Sismo tectónica

Tectónica de los Andes Peruanos

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que hay en la Tierra, formando parte del Cinturón Circumpacífico.

Los principales rasgos tectónicos de la región occidental de Sudamérica, como son la Cordillera de los Andes y la fosa oceánica Perú-Chile, están relacionados con la alta actividad sísmica y otros fenómenos telúricos de la región, como una consecuencia de la interacción de dos placas convergentes cuya resultante más notoria precisamente es el proceso orogénico contemporáneo constituido por los Andes. La teoría que postula esta relación es la Tectónica de Placas o Tectónica Global (Isacks et al, 1968). La idea básica de la Tectónica de Placas es que la envoltura más superficial de la tierra sólida, llamada Litósfera (100 km), está dividida en varias placas rígidas que crecen a lo largo de estrechas cadenas meso-oceánicas casi lineales; dichas placas son transportadas en otra envoltura menos rígida, la Astenosfera, y son comprimidas o destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida en cadenas montañosas o donde existen fosas marinas (Berrocal et al, 1975).

El mecanismo básico que causa el movimiento de las placas no se conoce, pero se afirma que es debido a corrientes de convección o movimientos del manto plástico y caliente de la tierra y también a los efectos gravitacionales y de rotación de la tierra.

Los límites o bordes de las placas raramente coinciden con las márgenes continentales, pudiendo ser de tres tipos:

1) *Según cordilleras axiales, donde las placas divergen una de otra y en donde se genera un nuevo suelo oceánico.*

2) *Según fallas de transformación, a lo largo de las cuales las placas se deslizan una respecto a la otra.*
3) *Según zonas de subducción, en donde las placas convergen y una de ellas se sumerge bajo el borde delantero de la suprayacente.*

Se ha observado que la mayor parte de la actividad tectónica en el mundo se concentra a lo largo de los bordes de estas placas. El frotamiento mutuo de estas placas es lo que produce los terremotos, por lo que la localización de éstos delimitará los bordes de estas. La margen continental occidental de Sudamérica, donde la Placa Oceánica de Nazca está siendo sub ducida por debajo de la Placa Continental Sudamericana, es uno de los bordes de placa mayores en la tierra.

La Placa Sudamericana crece de la cadena meso-oceánica del Atlántico, avanzando hacia el noroeste con una velocidad de 2 a 3 cm por año y se encuentra con la Placa de Nazca en su extremo occidental, constituido por la costa Sudamericana del Pacífico. Por otro lado, la Placa de Nazca crece de la cadena meso-oceánica del Pacífico Oriental y avanza hacia el este con una velocidad de aproximadamente 5 a 10 cm por año, subyaciendo debajo de la Placa Sudamericana con una velocidad de convergencia de 7 a 12 cm por año (Berrocal et al, 1975).

Como resultado del encuentro de la Placa Sudamericana y la Placa de Nazca y la subducción de esta última, han sido formadas la Cadena Andina y la Fosa Perú-Chile en diferentes etapas evolutivas. El continuo interaccionar de estas dos placas da origen a la mayor proporción de actividad sísmica en la región occidental de nuestro continente. La Placa de Nazca se sumerge por debajo de la frontera Perú-Brasil y noroeste de Argentina. La distribución espacial de los hipocentros confirma la subducción de la Placa de Nazca, aun

cuando existe controversia debido a la ausencia de actividad sísmica entre los 300 y 500 km de profundidad (Berrocal et al, 1975).

Algunos trabajos de sismo tectónico en Sudamérica han señalado ciertas discontinuidades de carácter regional, que dividen el panorama tectónico de esta región en varias provincias tectónicas. Dichas provincias están separadas por discontinuidades laterales (Berrocal, 1974) o por "zonas de transición" sismo tectónicas (Deza y Carbonell, 1978), todas ellas normales a la zona de subducción o formando un ángulo grande con ésta. Estas provincias tectónicas tienen características específicas que influyen en la actividad sísmica que ocurre en cada una de ellas.

Los rasgos tectónicos superficiales más importantes en el área de estudio son: (Berrocal et al, 1975).

- *La Fosa Oceánica Perú - Chile.*
- *La Dorsal de Nazca.*
- *La porción hundida de la costa al norte de la Península de Paracas, asociada con un zócalo continental más ancho.*
- *La cadena de los Andes.*
- *Sistemas regionales de fallas normales e inversas y de sobre escurrimientos.*

La Dorsal de Nazca tiene una influencia decisiva en la constitución tectónica de la parte occidental, donde se nota un marcado cambio en la continuidad de los otros rasgos tectónicos. En la parte oceánica, la Dorsal de Nazca divide la Fosa Oceánica en la Fosa de Lima y la Fosa de Arica.

La Cadena Andina es el rasgo tectónico más evidente. Su orogénesis es un producto de la interacción de las placas litosféricas, cuyo desarrollo está todavía vigente. La convergencia

de la Placa de Nazca y la Sudamericana da como resultado una deformación dentro de la Litósfera continental.

El régimen de esfuerzo regional tectónico parece ser predominantemente compresional, normal a las líneas de la Costa y a la dirección de las Cordilleras. La parte occidental del área de estudio está constituida por varias unidades tectónicas de diferentes grados de deformabilidad, debido a su diferente litología y época de formación.

La deformación en la corteza se caracteriza por fallas inversas, de rumbo predominantemente Norte a Nor-Noroeste en los Andes, que buzan con bajo ángulo sea al Sur-Oeste o al Nor-Este.

5.8.5 Sismo Tectónica Regional

La placa de Nazca en la parte norte y centro del Perú subduce con un ángulo de entre 15 y 20 º hasta alrededor de 50 km de profundidad y manteniendo una profundidad similar hasta los 100-150 km. Sin embargo, la parte sur del Perú, a partir de la latitud 15º dicha inclinación aumenta a 30º y se mantiene a 250 km de profundidad (zona del antiplano), al tiempo que la cordillera de los andes alcanza su mayor ancho, su mayor raíz y la presencia de volcanes activos. La placa se contornea (Boyd 1984 y Grange 1984) cambiando tan abruptamente tanto en inclinación con en su dirección de convergencia, expresado por la dirección de los ejes de esfuerzo principales de presión (paralelos a la dirección de subducción).

5.9 Ensayo Geofísico

El estudio determina el perfil sísmico unidimensional de ondas de corte (Vs), en base al cual se inferirá la complejidad y potencia de los diferentes materiales que componen el sub suelo de cimentación del puente Quilca.

El puente Quilca se encuentra emplazado entre los kilómetros 31+340 al km 31+600 en el tramo Desvió Quilca Matarani, donde el área de trabajo se encuentra a una altitud media de 2 m.s.n.m. indica en las siguientes coordenadas.

Área de Estudio del puente Quilca	775100 E	8149540 N
	775450 E	8149540 N
	775450 E	8149840 N
	775100 E	8149840 N

El área de estudio ha sido explorada mediante líneas geofísiscas de sondaje MASW y MAN, convenientemente distribuidos en función de la ubicación de los pilares de la estructura del puente de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

Las líneas geofísicas de los sondajes MASW alcanzaron una longitud de 300 m. sobre la superficie del terreno y las líneas geofísicas de sondaje MAN alcanzan 520 m. sobre la superficie del terreno. Las tablas 1 y 2 indican la longitud de cada línea y el total realizado.

5.9.1 FUNDAMENTOS DE LOS ENSAYOS MASW Y MAN

Los ensayos de medición de ondas superficiales en arreglos multicanales (MASW y MAN) consisten en generar ondas vibratorias en la superficie del terreno y registrar a distancias viables el arribo de las ondas de corte (Ondas S), con las cuales se determinaron los cambios de velocidad a lo largo de los contactos.

- ***Ensayos MASW y MAM***

El ensayo MASW o análisis de ondas superficiales en arreglo multicanal es un método de exploración geofísica que permite determinar la estrategia del subsuelo bajo un punto en forma indirecta, basándose en el cambio de las propiedades dinámicas de los materiales que la conforman. Este método consiste en la interpretación de las ondas superficiales (Ondas Rayleigh) de un registro en arreglo multicanal, generadas por una fuente de energía impulsada en puntos localizados a distancias predeterminadas a lo largo de un eje sobre la superficie del terreno, obteniéndose el perfil de velocidades de ondas de corte (Vs) para el punto centrl de dicha línea.

Por su parte, el ensayo MAN o análisis de Microtrepidaciones en arreglos multicanales, consiste en monitorear las vibraciones ambientales en arreglos predeterminados y mediante el análisis de dispersión de estas determinar el perfil de velocidades de ondas S, la combinación de los métodos MASW y MAN, permiten obtener perfiles de ondas S hasta profundidades promedio de 60 a 100 m.

5.9.2 EQUIPOS E INSTRUMENTOS UTILIZADOS

Para realizar los ensayos MASW y MAN se contó con un equipo de prospección geofísica ES-3000, el cual tiene las siguientes características:

a) *12 canales de entrada, cada uno tiene un convertidor A/D individual con resolución 24 bit y alta velocidad de muestreo.*
b) *13 sensores o geófonos de 4.5 Hz de frecuencia los cuales permiten registrar las vibraciones ambientales del terreno producidas por fuentes naturales o artificiales y el arribo de las ondas P y ondas S generadas por las fuentes de energía.*
c) *Computadora portátil, laptop con procesador.*

d) Un cable de conectores de geófonos de 180m.

e) Radios de comunicación y accesorios.

5.9.3 PROCEDIMIENTO DE LOS TRABAJOS DE CAMPO

En los ensayos de campo que se realizaron se define el punto central y dirección del eje de la línea geofísica, luego se procede a instalar los geófonos y los cables de conexión al equipo de adquisición de datos.

Se ejecutaron 03 sondajes MASW de 53 m y 03 sondajes MASW de 47 m de longitud, con una separación de 03 m entre geófonos, haciendo un total de 300. También se ejecutaron 03 sondajes Man de 100 m, 02 sondajes MAN de 80 M y 01 sondaje MAM 60 m. de longitud con una separación de 10.08 m y 06 m respectivamente, haciendo un total de 520m. La fuente de energía utilizada para generar las ondas sísmicas, en el caso del ensayo MASW, fue una comba de 25 lbs, el cual se golpea sobre un plato metálico generándose las ondas de corte en e terreno. Para el caso del ensayo MAN se registra las ondas sísmicas debido a la vibración ambiental, dichas ondas sísmicas se registran a lo largo de los sensores o geófonos instalados sobre la superficie del terreno a estudiar para luego ser almacenados mediante el software correspondiente y su posterior procesamiento.

- ***Sondaje – MASW-01***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 01, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 01, de 53 m de longitud, ubicado en el pilar N°1 en la margen derecha del rio Quilca. La interpretación de este ensayo generó un sondaje de velocidades de onda S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estratos sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) entre 105 m/s y 215 m/s, hasta una profundidad de 7.0 m, estratigráficamente está conformada por un material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) entre 240 m/s a 260 m/s, con un espesor de 8.6 m. dichas velocidades corresponden a un suelo conformado por un material medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundidad de 270 m/s a 310 m/s. dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por un material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje de muestra en la figura 11.

- ***Sondaje – MASW-02***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 02, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 02, de 53 m de longitud, ubicado en el pilar N° 2 en la margen derecha del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 20 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 90 m/s y 220 m/s, hasta una profundidad de 5.1 estratigraficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 275 m/s a 310 m/s, con un espesor de 5.9m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 350 m/s a 375 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 12.

- ***Sondaje – MASW-03***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 03, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 03, de 53 m de longitud, ubicado en el pilar N° 3 en la margen derecha del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 90 m/s y 120 m/s, hasta una profundidad de 2.3 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 145 m/s a 175 m/s, con un espesor de 8.7m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 200 m/s a 245 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 13.

- ***Sondaje – MASW-04***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 04, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 04, de 47 m de longitud, ubicado en el pilar N° 4 y N° 5 en la

margen izquierda del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 115 m/s y 125 m/s, hasta una profundidad de 2.3 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 165 m/s a 180 m/s, con un espesor de 8.0m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 195 m/s a 250 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 14.

- ***Sondaje – MASW-05***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 05, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 05, de 47 m de longitud, ubicado en el pilar N° 5 en la margen izquierda del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 95 m/s y 100 m/s, hasta una profundidad de 2.0 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 130 m/s a 200 m/s, con un espesor de 9.0m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 325 m/s a más, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 15.

- ***Sondaje – MASW-06***

Este sondaje corresponde al ensayo MASW 06, el cual se encuentra conformado por la línea sísmica denominada sondaje 05, de 47 m de longitud, ubicado en el pilar N° 5 y N°6 en la margen izquierda del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 25 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 85 m/s y 90 m/s, hasta una profundidad de 2.0 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 145 m/s a 190 m/s, con un espesor de 7.1m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 225 m/s a más, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 16.

5.9.4 PROCESAMIENTO DE LOS SONDAJES MAN

Los registros de las ondas sísmicas de los ensayos de ondas MAM (análisis de microtrepidaciones en arreglo multicanal), se presentan en curvas de dispersión de sondaje MAM, esta información para la interpretación de los modelos unidimensionales de velocidades de ondas de corte que se presenta a continuación.

- ***MAM - 01***

La línea sísmica denominada MAN – 01, de 100 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 1 del puente quilca en la margen derecha del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 130 m/s y 270 m/s, hasta una profundidad de 14.8 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 245 m/s a 320 m/s, con un espesor de 29.2m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 350 m/s a más, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 17.

- ***MAM - 02***

La línea sísmica denominada MAN – 01, de 100 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 2 del puente Quilca en la margen derecha del rio Quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 160 m/s y 270 m/s, hasta una profundidad de 12.3 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto a medianamente suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 300 m/s a 320 m/s, con un espesor de 17.7m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 360 m/s a 380 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 22.

- ***MAM - 03***

La línea sísmica denominada MAN – 01, de 100 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 2 del puente Quilca en la margen derecha del rio Quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 130 m/s y 170 m/s, hasta una profundidad de 10.0 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto a medianamente suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 200 m/s a 210 m/s, con un espesor de 12.8m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 250 m/s a 300 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 23.

- ***MAM - 04***

Este sondaje corresponde a un ensayo MAN – 01, de 80 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 4 y N°5 en la margen derecha del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 115 m/s y 150 m/s, hasta una profundidad de 10.0 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto a medianamente suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 210 m/s a 220 m/s, con un espesor de 14.0 m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 250 m/s a 360 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 24.

- ***MAM - 05***

Este sondaje corresponde a un ensayo MAN, de 80 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 5 y en la margen izquierda del rio Quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 115 m/s y 165 m/s, hasta una profundidad de 10.0 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto a medianamente suelto.

El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 200 m/s a 275 m/s, con un espesor de 14.0 m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 310 m/s a 345 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 25.

- ***MAM - 06***

Este sondaje corresponde a un ensayo MAN, de 60 m de longitud, se ubicó en el pilar N° 5 y N° 6 de la margen izquierda del rio quilca, la interpretación de este ensayo genera un sondaje de velocidad de ondas S con resultados confiables hasta una profundidad de 60 m en el punto central de la línea, el cual muestra la presencia de tres estrados sísmicos.

El primer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S(Vs) entre 105 m/s y 150 m/s, hasta una profundidad de 8.6 estratigráficamente está conformado por material aluvial suelto a medianamente suelto.

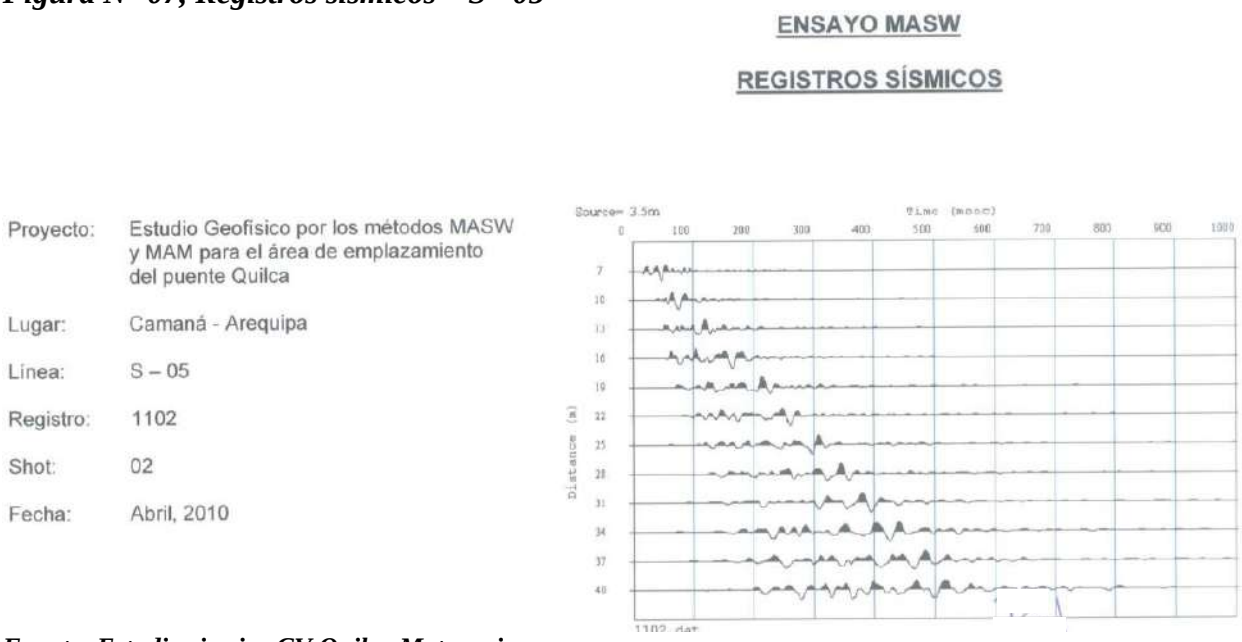
El segundo estrato presenta valores de velocidades de propagación de ondas S (Vs) entre 205 m/s a 275 m/s, con un espesor de 17.0 m. estos valores de velocidad corresponderían a un suelo conformado por material aluvial medianamente suelto.

El tercer estrato presenta valores de velocidad de propagación de ondas S (Vs) incrementándose con la profundad de 290 m/s a 350 m/s, dichas velocidades corresponderían a un suelo conformado por el material aluvial medianamente suelto a medianamente compacto.

Este sondaje se muestra en la figura 26.

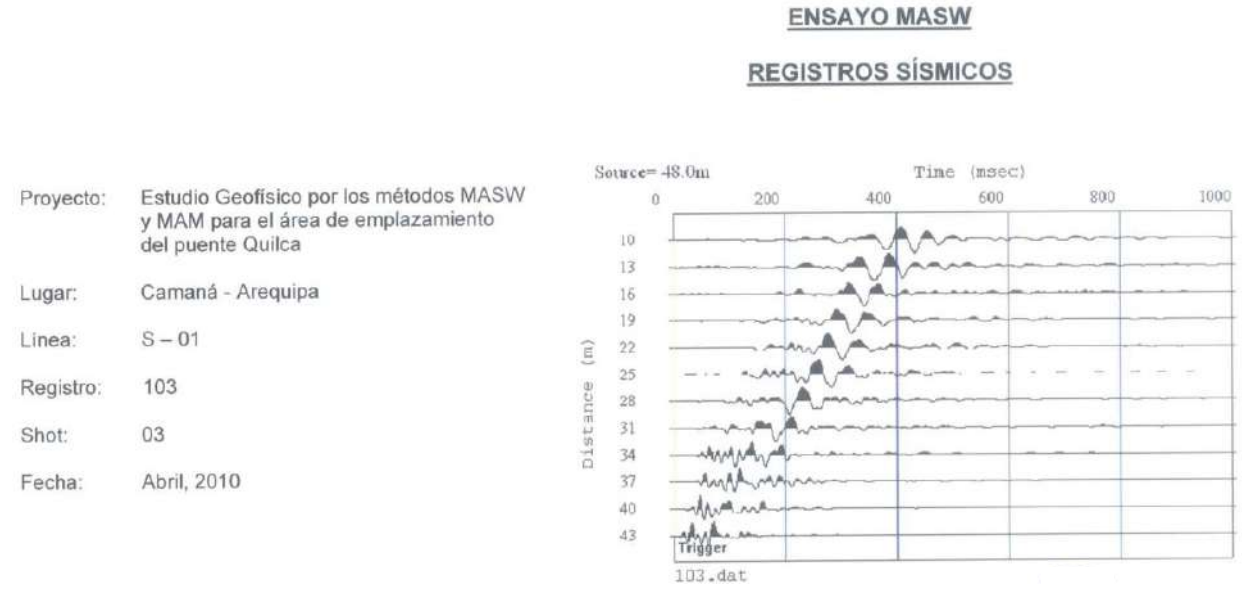
REGISTRO DE ONDAS SISMICAS SONDAJE MASW

Figura N° 07, Registros sísmicos – S - 05



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 08, Registros sísmicos – S - 01



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

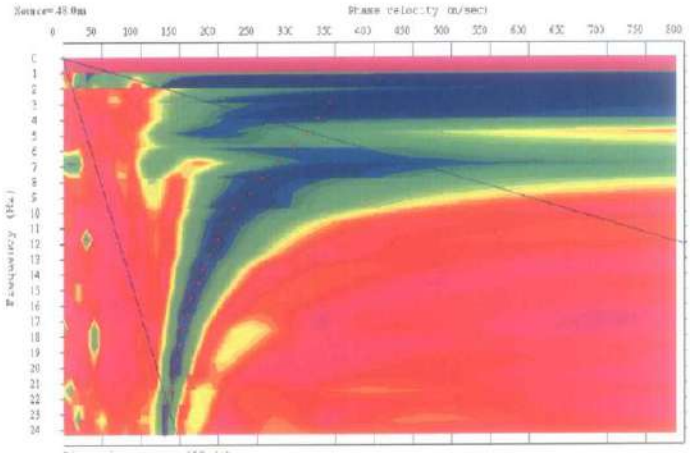
CURVAS DE DISPERSION MASW

Figura N° 09 Curva de dispersión – Ensayo Masw – S - 01

ENSAYO MASW

CURVA DE DISPERSIÓN

Proyecto:	Estudio Geofísico por los métodos MASW y MAM para el área de emplazamiento del puente Quilca
Lugar:	Camaná - Arequipa
Línea:	S – 01
Registro:	103
Shot:	03
Fecha:	Abril, 2010



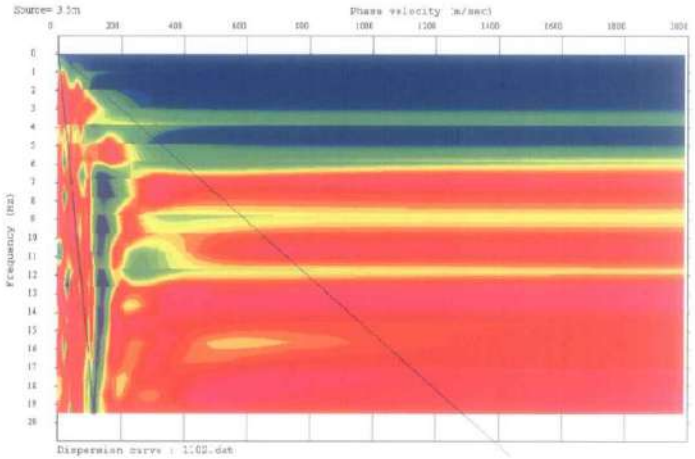
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 10 Curva de dispersión – Ensayo Masw – S - 05

ENSAYO MASW

CURVA DE DISPERSIÓN

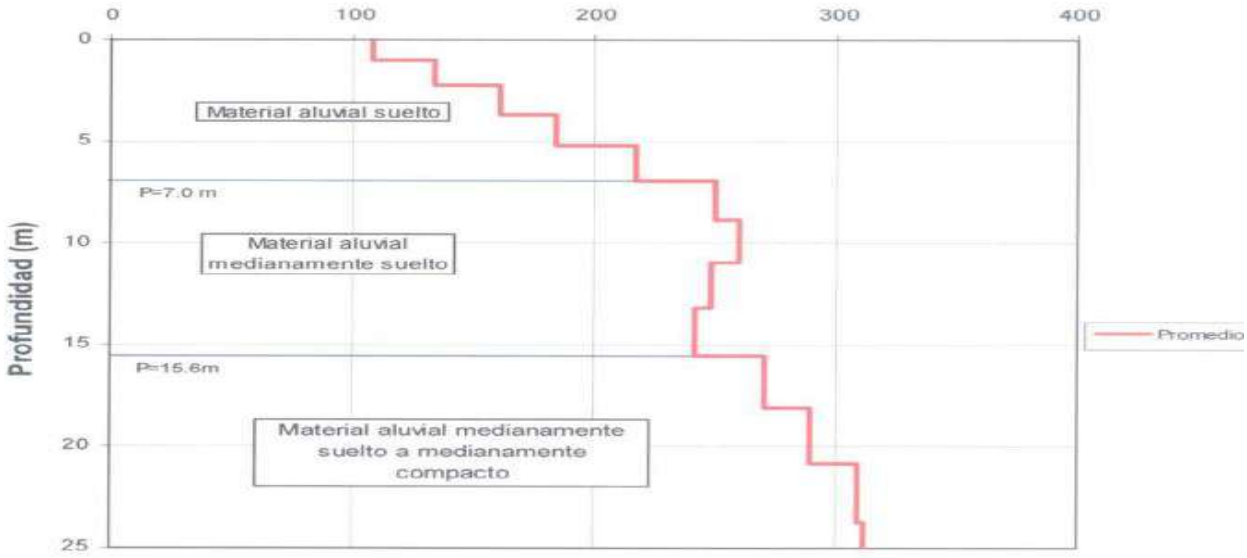
Proyecto:	Estudio Geofísico por los métodos MASW y MAM para el área de emplazamiento del puente Quilca
Lugar:	Camaná - Arequipa
Línea:	S – 05
Registro:	1102
Shot:	02
Fecha:	Abril, 2010



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

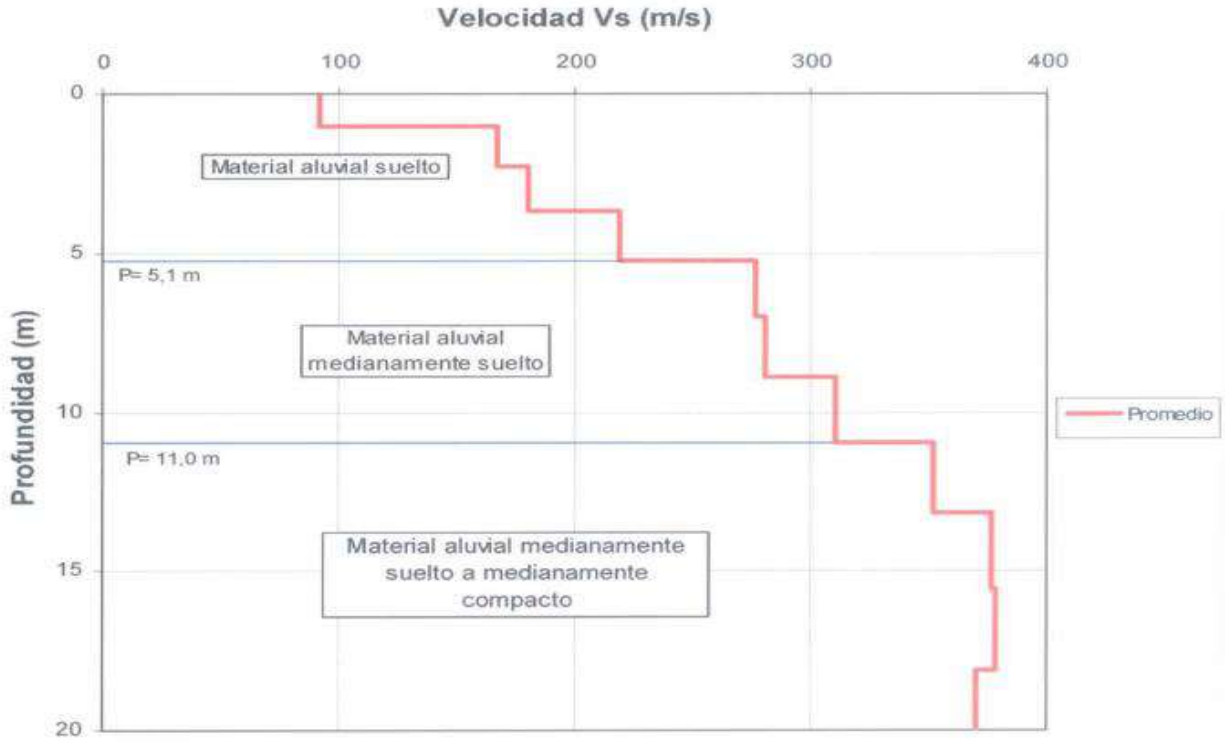
MODELO UNIDIMENSIONAL DE ONDAS DE CORTE – MASW

Figura N° 11 Onda de corte sondaje 01



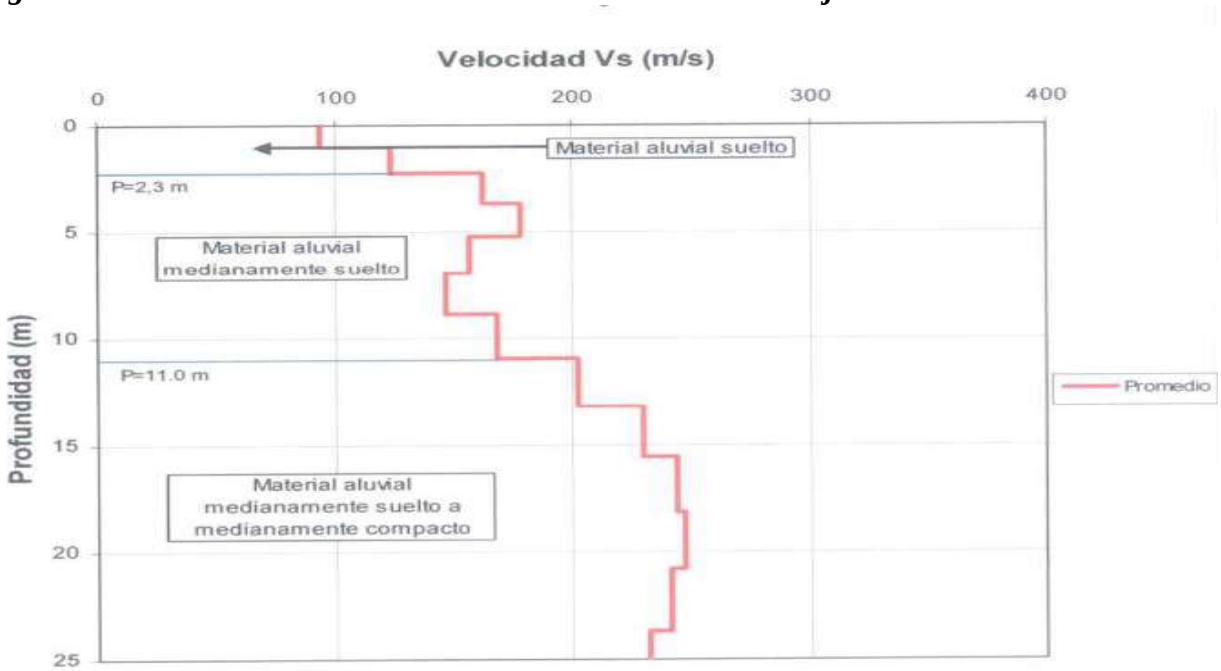
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 12 Ondas de corte sondaje 02



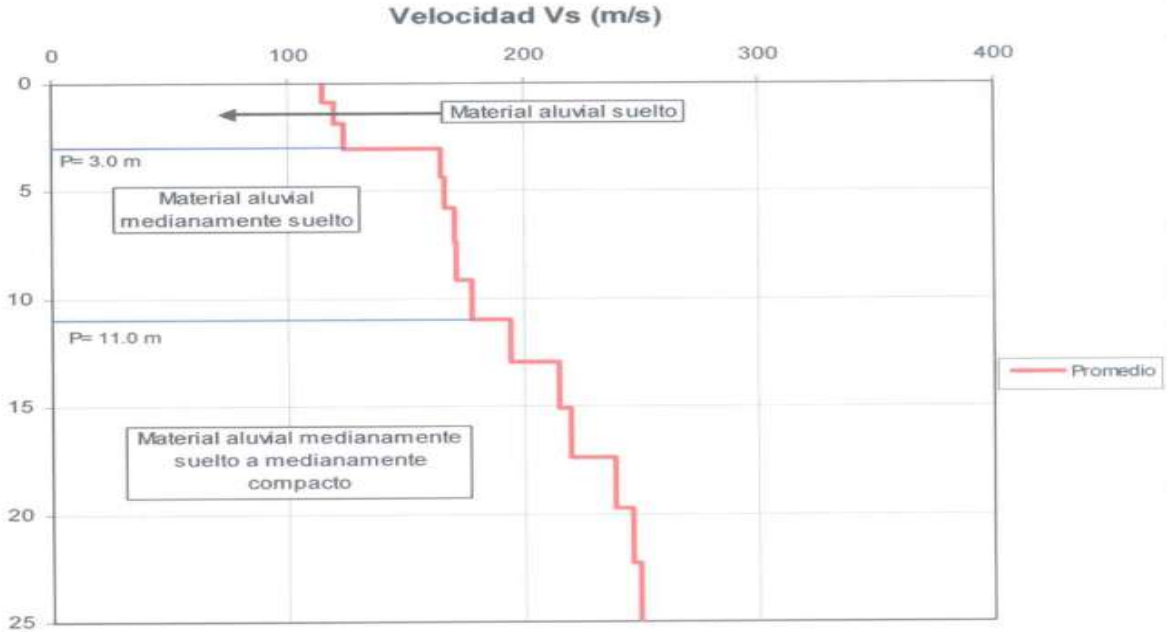
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 13 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 03



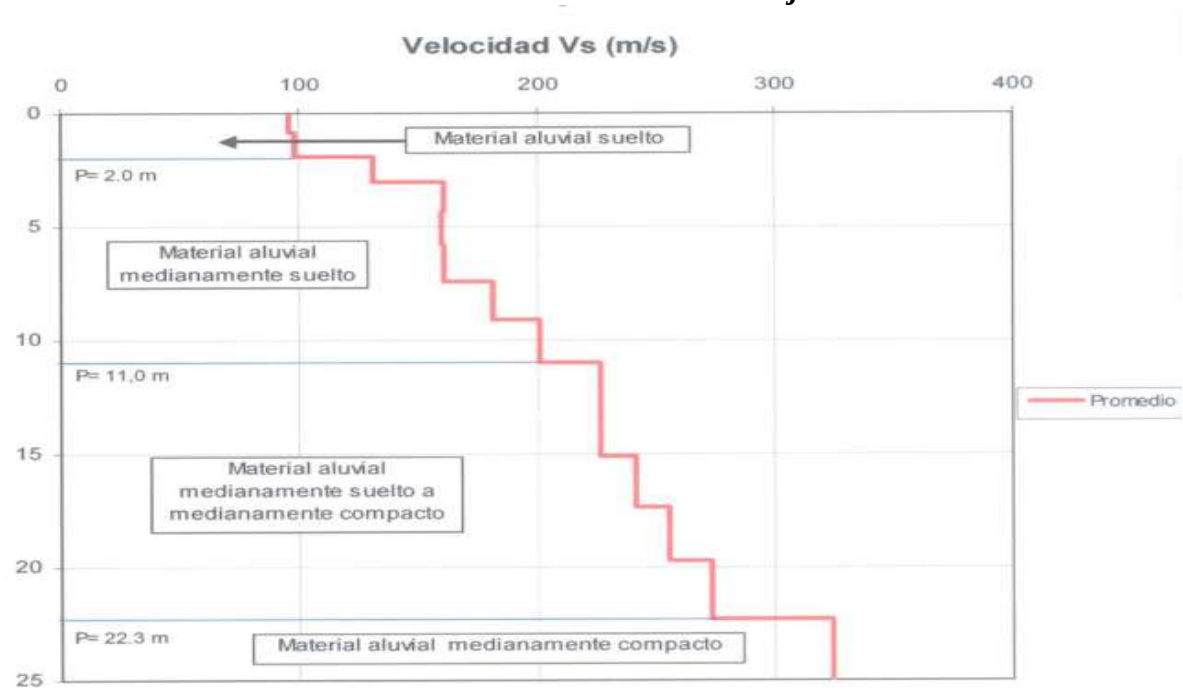
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 14 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 04



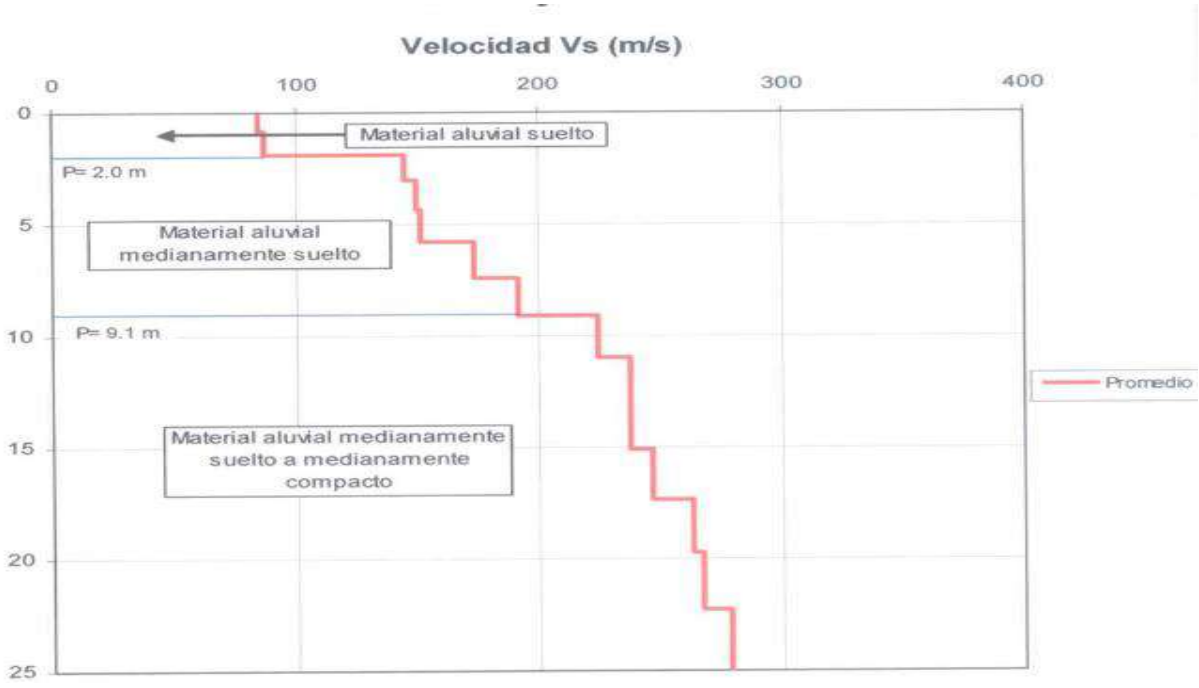
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 15 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 05



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

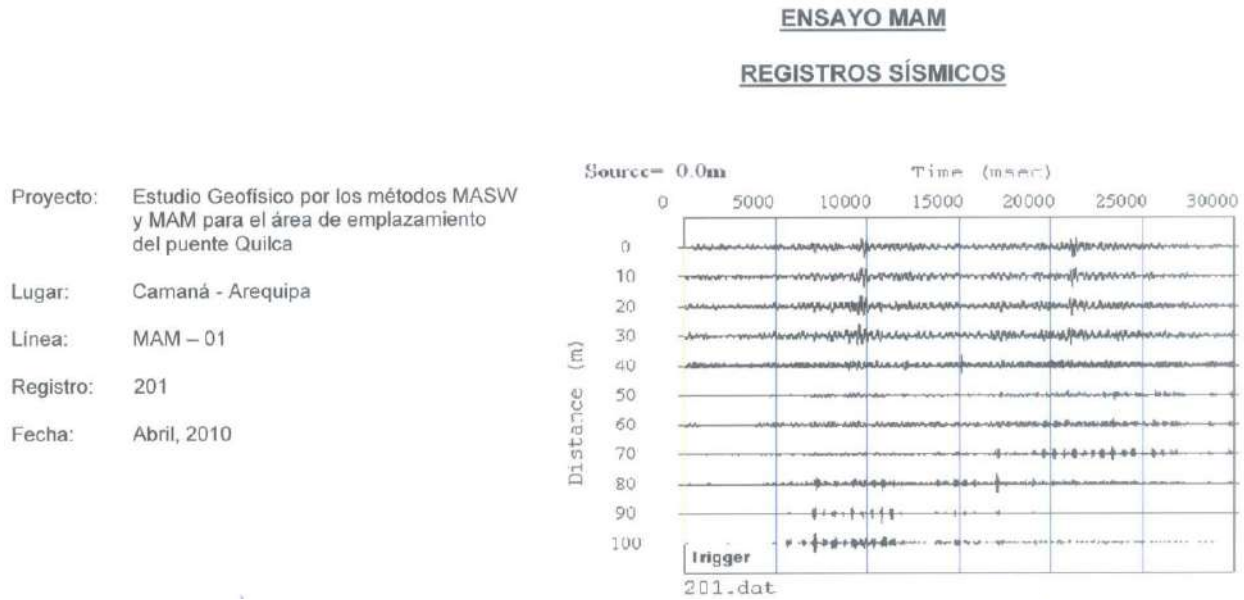
Figura N° 16 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte Sondaje 06



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

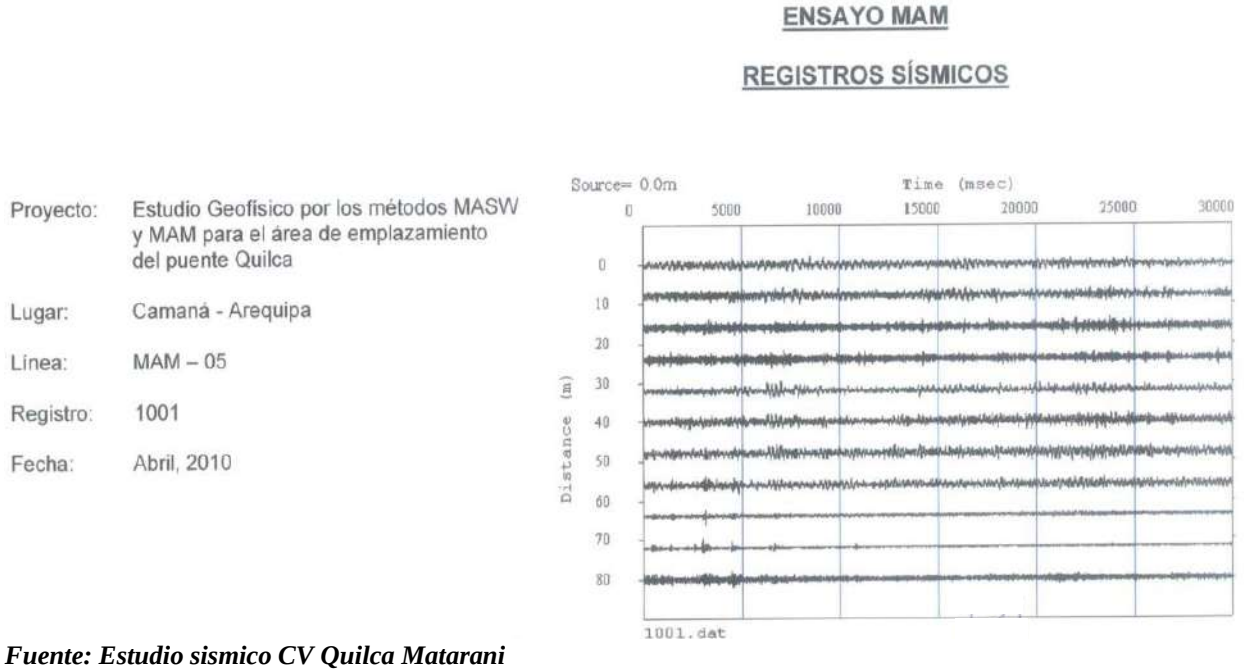
ENSAYO GEOFISICO SONDAJE – MAM
REGISTROS DE ONDAS SISMICAS SONDAJE MAM

Figura N° 17 Ensayo MAM – Registro Sísmico – MAN - 01



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

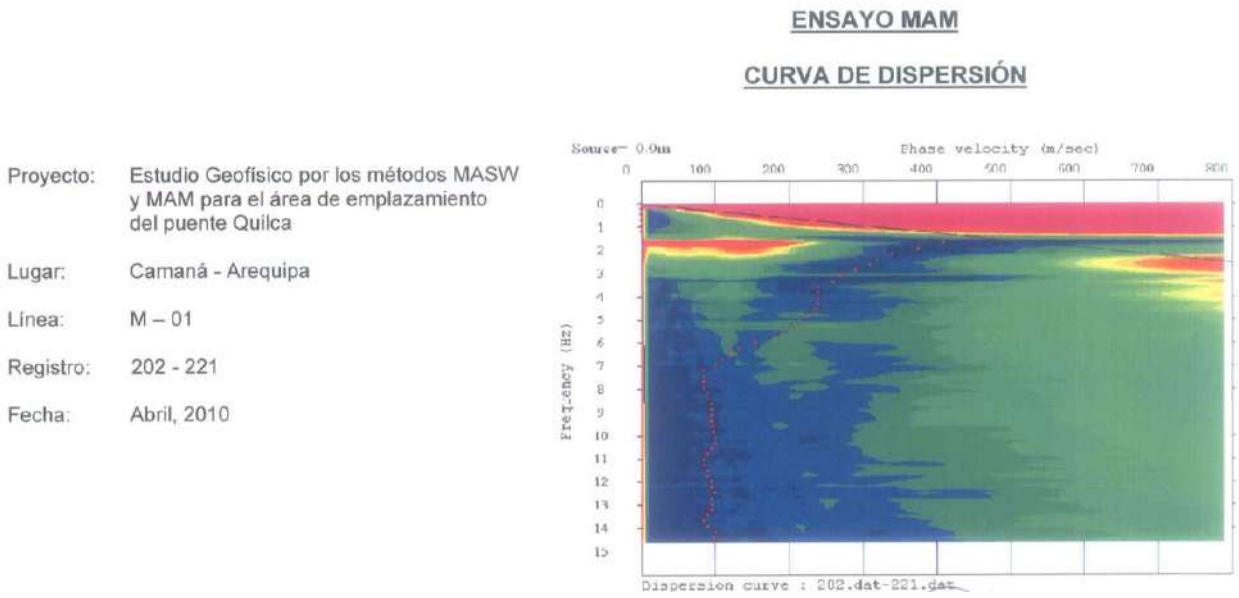
Figura N° 18 Ensayo MAM – Registro Sísmico – MAN - 05



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

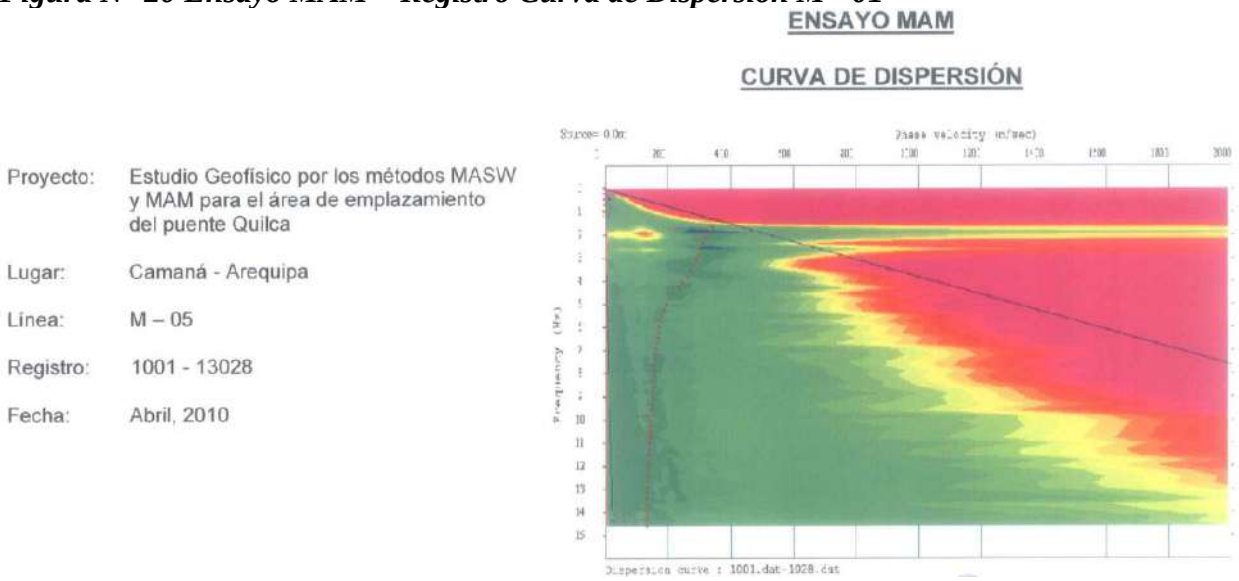
CURVAS DE DISPERSION MAM

Figura N° 19 Ensayo MAM – Registro Curva de Dispersión M - 01



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

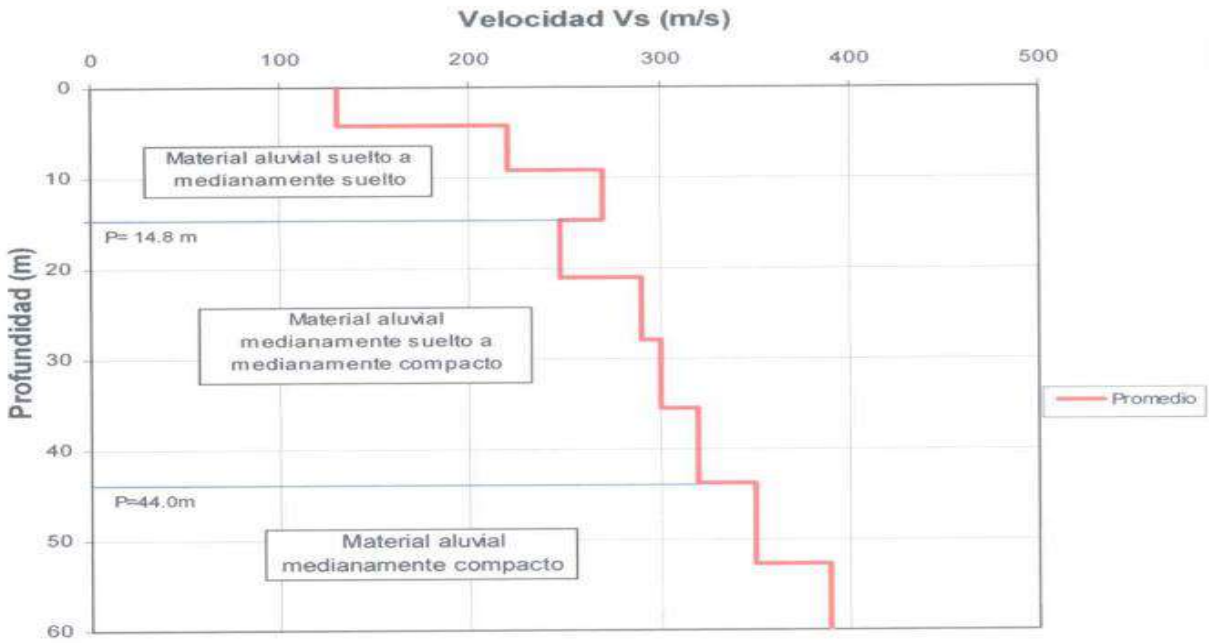
Figura N° 20 Ensayo MAM – Registro Curva de Dispersión M - 01



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

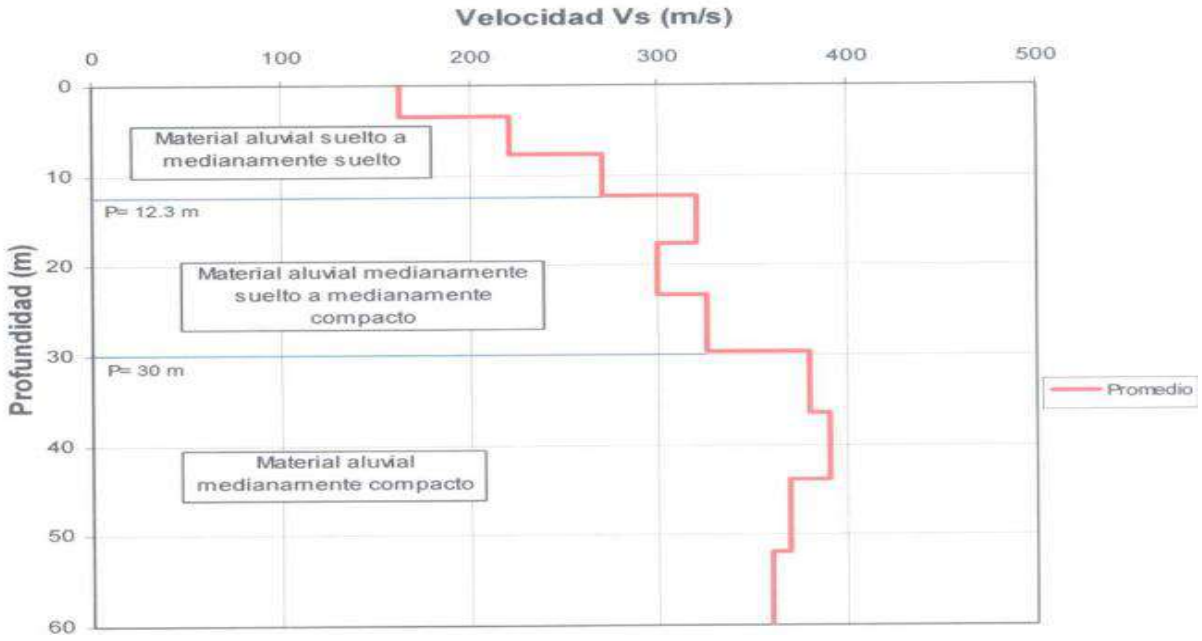
MODELO UNIDIMENSIONAL DE ONDAS DE CORTE – MAM

Figura N° 21 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 01



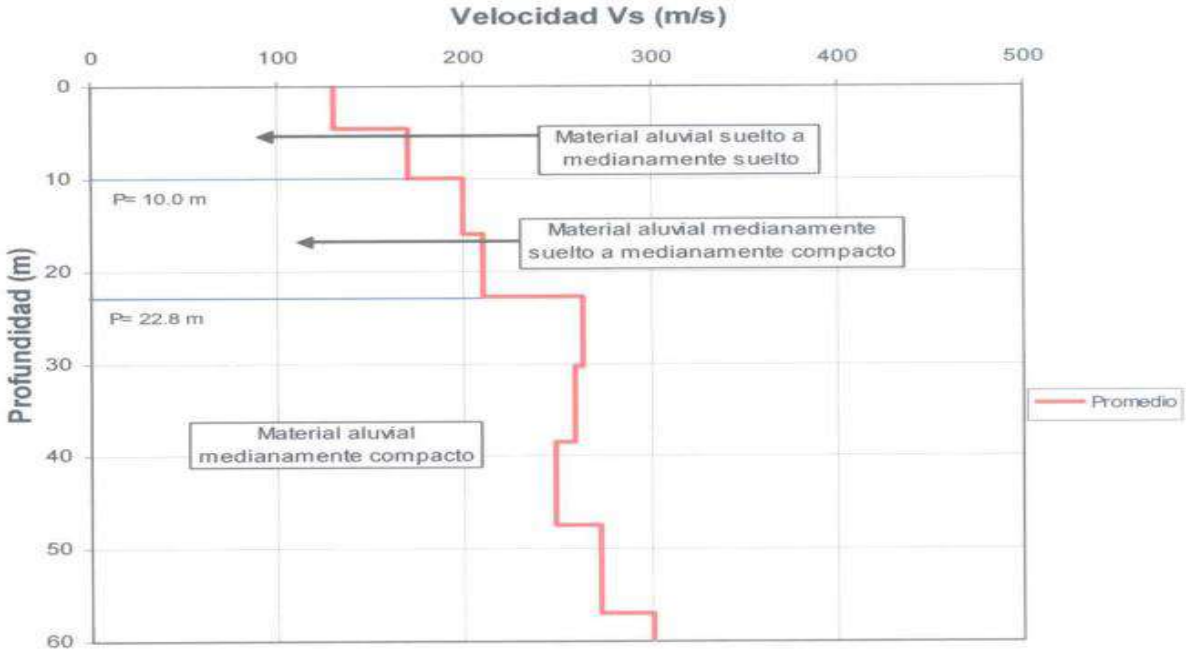
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 22 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 02



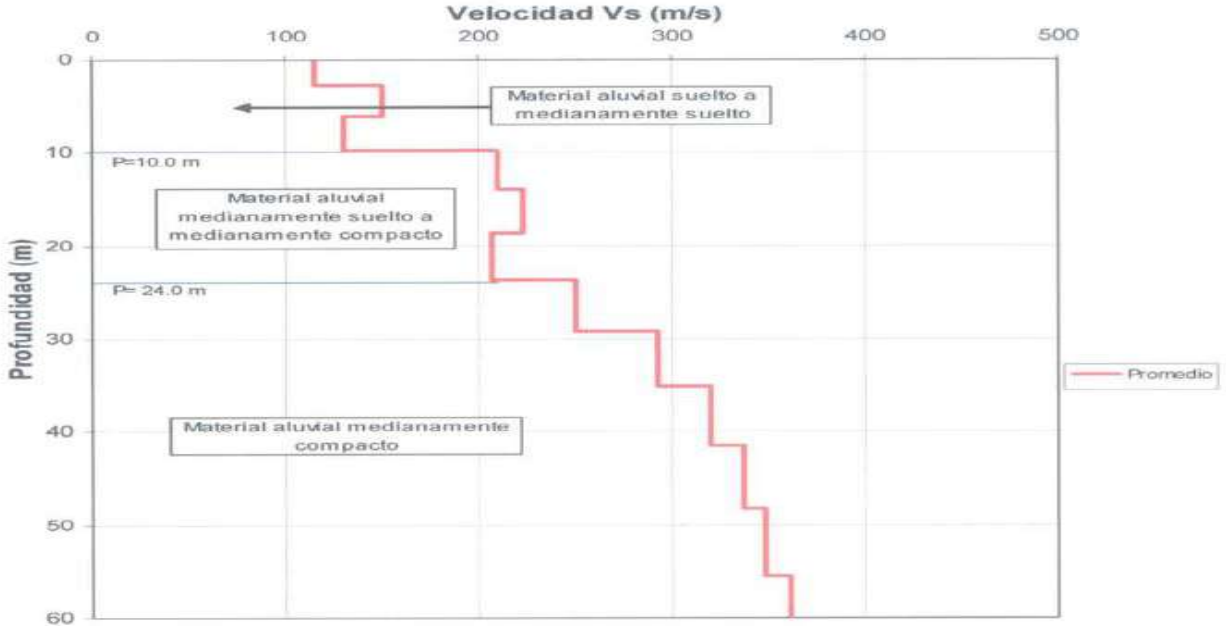
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 23 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 03



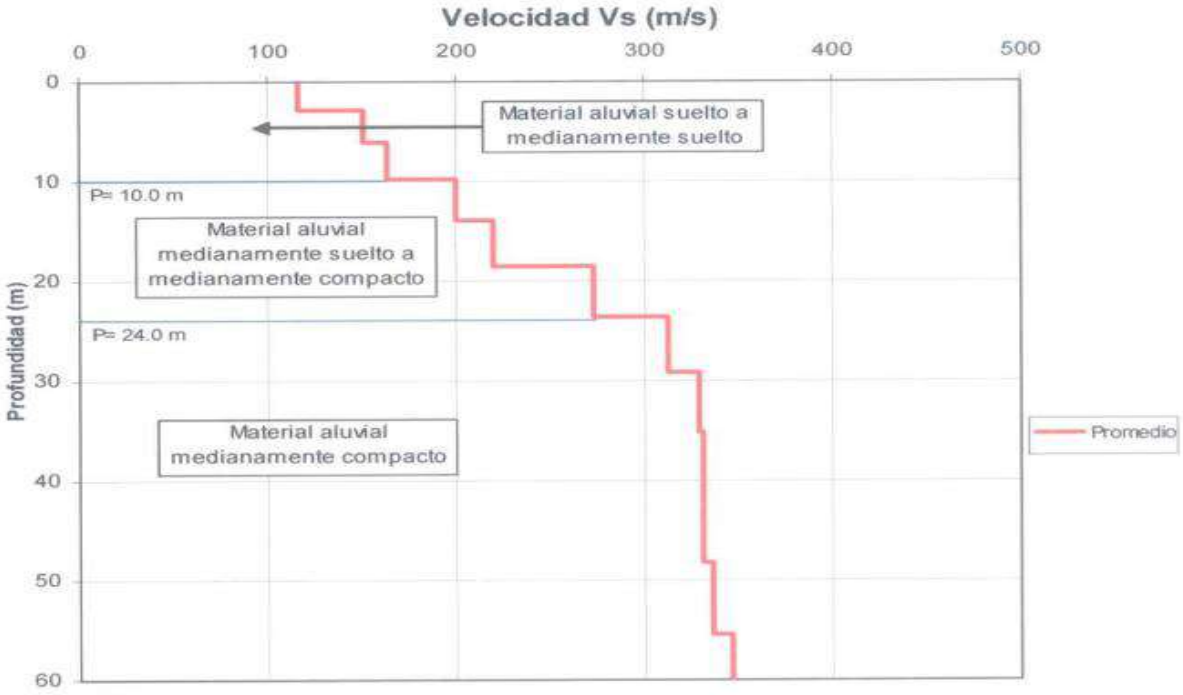
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 24 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 04



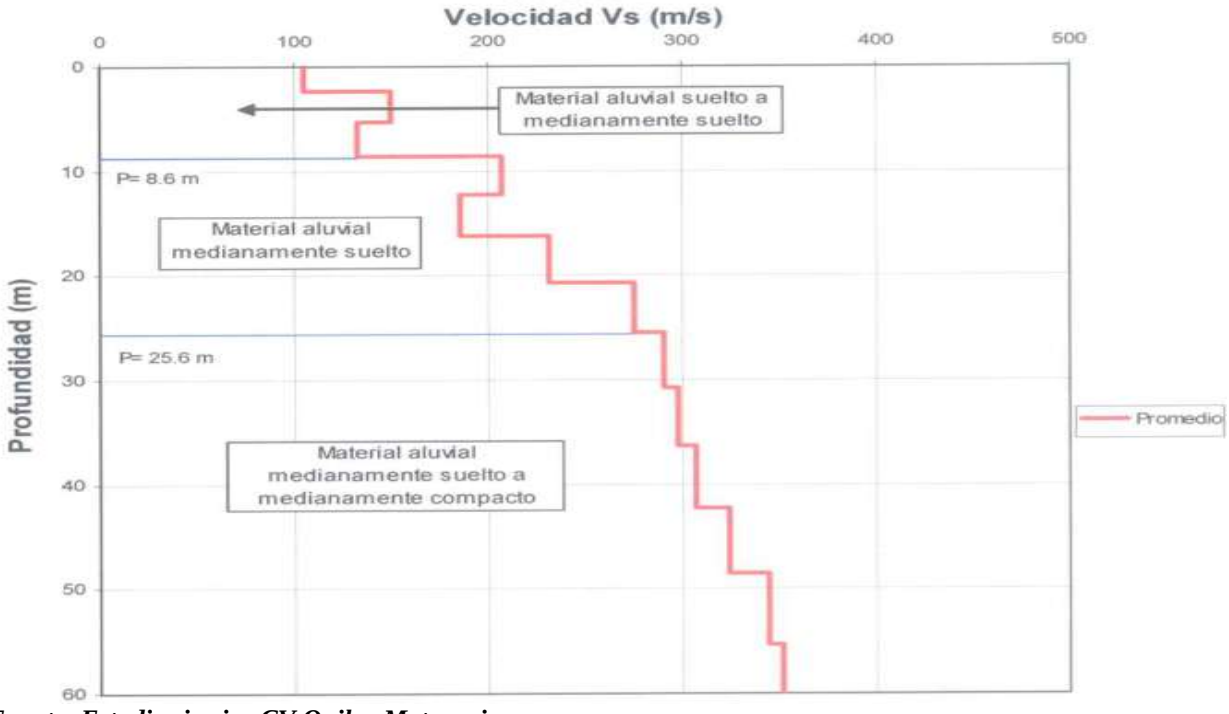
Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 25 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 05



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Figura N° 26 Modelo Unidimensional de Ondas de Corte MAM 06



Fuente: Estudio sismico CV Quilca Matarani

Tendido de sondaje – 01, ubicado en la margen derecha del rio Quilca

Se observa el tendido del sondaje – 02, ubicado en el margen derecho del río Quilca

Foto N°: 56

Se aprecia el shot – 04 del sondaje 06 ubicado en la margen derecha del río Quilca.

Foto N°: 57

Tendido del cable de refraccion sismica y la colocación de los geofonos, sondaje – 01, ubicado en la margen derecha del rio Quilca.

Foto N°: 58

Se observa el tendido del sondaje – 03, ubicado en el margen derecho del río Quilca

Foto N°: 59

Se observa el tendido del sondaje – 06, ubicado en el margen izquierdo del río Quilca.

VI. CAPITULO VI

ESTUDIO DE SUELOS Y CANTERAS

6.1 Generalidades

El presente capitulo integra el estudio de suelos y canteras como complemento al Estudio Geotécnico de Cimentación del puente Quilca.

6.2 Estudio de Suelos

6.2.1 Generalidades de la cantera de agregados pétreos

El estudio de suelos y canteras para la ejecución de la cimentación del puente Quilca, se realizó mediante ensayos, pruebas y certificados de calidad obtenidos de los agregados pétreos a utilizar, los mismos que validan la calidad de los materiales a utilizar en el proceso constructivo para la cimentación del puente Quilca.

6.2.2 Criterios

En base a las especificaciones técnicas complementarias es que se hace primordial contar con un diseño especial de un concreto hidráulico autocompactante que en esencia es un concreto de alta resistencia de mucha fluidez y donde el aditivo superplastificante será el agente principal de control para una buena trabajabilidad adecuada y acorde con el tipo de estructura proyectado tanto en longitud como en volumen y concentración de refuerzo.

Como es de suponer, este concreto especial que se empleara en la construcción de los pilotes en el diseño que se presenta contiene 11.06 bols/m3; de resistencia de 350f'c kg/cm2 más un 25% de factor de seguridad a 437f'c kg/cm2.

Otro aspecto importante mencionar es que nuestras normas y especificaciones técnicas del MTC, no mencionan ni refieren información sobre el diseño y normas de control para el caso de hormigones especiales como la del presente caso. El presente diseño está amparado en

la norma internacional europea EFENARC (federación europea para sistemas de producción de hormigón y productos químicos). Así mismo se a tenido en consideración la guía de diseños del manual ACI. Como entidad rectora en la fabricación de concretos hidráulicos especiales.

La procedencia de los agregados pétreos es de la cantera rio Quilca Km. 30+900 L.I. tanto la piedra como la arena para la mezcla. Esta cantera reúne las características mínimas necesarias de calidad para la preparación de los diseños correspondientes.

El agua procede del río Quilca el cual cumple con las características necesarias para el empleo de la dosificación del diseño de concreto autocompactante especial de alta resistencia. Este diseño de concreto de alta resistencia y mucha fluidez, el aditivo superplastificante será el agente principal de control para una buena trabajabilidad adecuado y acorde con el tipo de estructura proyectado tanto en longitud como en volumen y concentración de refuerzo.

Como es de suponer este concreto especial que se empleó en la construcción de los pilotes con el diseño que se presenta contiene 11.06 bols/m3. El presente diseño está amparado en la norma europea EFENARC (federación europea para sistemas de producción de hormigón y productos químicos).

6.3 Proceso de Diseño de Mezcla Concreto Hidráulico f'c 350 kg/cm2

6.3.1 Proceso de Diseños de Mezcla

La metodología de los componentes de la mezcla del concreto se determinó de acuerdo con la metodología dispuesto en el manual del ACI. y aceptando un factor de seguridad de aproximadamente 84kg/m2 este criterio reemplaza a las fórmulas para encontrar la resistencia a la compresión promedio requerida.

De allí en adelante se toma como marco y referencia la norma EFNARC. Otros aspectos fundamentales y premisas para cumplirse son:

- *Asentamiento en la prueba de cono de Abrams de 10"*
- *El uso de aditivo tipo filler silícico denominado SIKAFUME similar a polvo de roca.*
- *El uso de aditivos Viscocrete 3330 y Sikament TM 140, como agentes modificadores de la viscosidad conocidos en nuestro medio y de consistencia líquida.*
- *Las pruebas de laboratorio a cumplir para que un concreto preparado pueda considerarse autocompactable son:*

  a). El ensayo de flujo de asentamiento que en resumidas cuentas mide la capacidad de relleno.

  b). El ensayo de la caja "L" que mide la capacidad de paso del concreto.

  *Las pruebas y los ensayos fueron elaborados en laboratorio del proyecto y se hicieron los moldeos correspondientes para las pruebas de la resistencia a la compresión de testigos en moldes de 6"*12" Norma ASTM C39.*

6.3.2 Requisitos Técnicos de los Materiales Utilizados Agregado Fino:

Cemento: *Yura tipo HS de acuerdo con E.T.*

Agregados Finos: *Cantera río Quilca Km 30+900 (Mezcla física Agregado zaranda 75% + Agregado triturado 25%).*

La evaluación / verificación del agregado fino arrojo los siguientes resultados:

Tabla N° 36; Requisitos específicos AG Fino según Norma de Ensayo

Características	Norma de Ensayo	Resultado Promedio	Parámetro Especificado
Terrones de Arcilla y partículas deleznables	MTC E 212	0.66	1.00 % máx.
Material que pasa el Tamiz de 75um (N°200)	MTC E 202	3.2	5.00 % máx.
Cantidad de Partículas Livianas	MTC E 211	0.86	0.50 % máx.

|Contenido de sulfatos, expresados como ión SO_4	AASHTO-T290	0.03	0.06 % máx.
Contenido de Cloruros, expresado como ión cl^-	AASHTO-T291	0.007	0.10 % máx.
Reactividad			
Reactividad potencial a los álcalis	ASTM C 289	Inocuo no presenta	SiO2 > R cuando R ≥ 70 SiO2 > 35 + 0,5 R cuando R < 70
Granulometría			
9,5 mm (3 /8")	MTC E 107	100%	100
4,75 mm (N° 4)	MTC E 107	96.8%	95-100
2,36 mm (N° 8)	MTC E 107	88.5%	80-100
1,18 mm (N° 16)	MTC E 107	74.1%	50-85
600 mm (N° 30)	MTC E 107	51.1%	25-60
300 mm (N° 50)	MTC E 107	19.8%	10-30
150 mm (N° 100)	MTC E 107	6.9%	2-10
Módulo de Fineza		3.2%	2.3 - 3.1
Durabilidad			
Durabilidad por los sulfatos de magnesio	ASTM C 209	0.0663	15.0% máx
Limpieza			
Equivalente de arena	ASTM C 114	89.00%	65.0% mín

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para construcción, Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

6.3.3 Requisitos Técnicos de los Materiales Utilizados Agregado Grueso:

De igual manera se presenta en la tabla resumen que a continuación se detalla.

La norma de gradación que se empleó para el concreto autocompactante de alta resistencia será el N° AG-2 para agregados Ø ¾" las características físicas – mecánicas de este agregado son las siguientes:

Tabla N° 37; Requisitos específicos AG Grueso según Norma de Ensayo

Características	Norma de Ensayo	Resultado Promedio	Parámetro Especificado
Contenido de sustancias perjudiciales			
Terrones de Arcilla y partículas deleznables	MTC E 212	0.41	0.25 % máx.
Cantidad de partículas Livianas	MTC E 211	No presenta	1.00 % máx.

Contenido de carbón y lignito	MTC E 215	No presenta	0.50 % máx.
|Contenido de sulfatos, expresados como ión SO_4	AASHTO-T290	0.035	0.06% máx.
Contenido de Cloruros, expresado como ión cl^-	AASHTO-T291	0.005	0.10% máx.
Reactividad			
Reactividad potencial a los álcalis	ASTM C 289	No presenta	SiO2 > R cuando R ≥ 70 SiO2 > 35 + 0,5 R cuando R < 70
Durabilidad			
Durabilidad por sulfato de magnesio	MTC E 209	4.55	18.0 % máx
Abrasión			
Abrasión Los Angeles	MTC E 207	16.3 %	40.0 % máx.
Granulometría			
37,5 mm (3 /4")	MTC E 107	100%	95 - 100
25,0 mm (1/2")	MTC E 107	65.2%	-
12,5 mm (3/8")	MTC E 107	38.0%	25-55
4,75 mm (N° 4)	MTC E 107	6.6%	0-10
2.36 mm (N° 8)	MTC E 107	1.0%	0-5
Forma			
Índice de aplanamiento y alargamiento	MTC E 221	1.12 %	15.0 % máx.

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para construcción, Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Los resultados obtenidos están dentro de los parámetros exigidos de las Especificaciones Técnicas, por lo tanto, cumple con la calidad del agregado grueso y fino, para ser usado para la mezcla de concreto portland.

- *El agua empleada en el diseño procede de una fuente autorizada en el expediente de obra es decir del río Quilca Km 30+900 más 0.1 km de acceso hacia la fuente de agua en la localidad de Quilca.*

Se considera adecuado el agua que sea apta para consumo humano, debiendo ser analizado según norma MTC E 716.

Tabla N° 38; Requisitos específicos según Norma de Ensayo

Características	Norma de Ensayo	Resultado Promedio	Parámetro Especificado
Contenido de sustancias para el agua de mezcla			
Sólidos en Suspensión (ppm)	MTC E 716	4.0	5000 máx.
Materia Orgánica (ppm)	MTC E 716	1.66	3,00 máx.
Alcalinidad $NaHCO_3$ (ppm)	MTC E 716	180.68	1000 máx.
Sulfatos como ión Cl (ppm)	MTC E 716	1558.2	1000 máx.
pH	MTC E 716	7.16	5,5 a 8

Fuente: Especificaciones Técnicas Generales para construcción, Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

A pesar de que el agua del río Quilca contiene sulfatos fuera de especificaciones sin embargo para contrarrestar esta anomalía natural, se está utilizando varios criterios y materiales para contrarrestar el posible ataque de los sulfatos.

- *Uso de cemento especial HS anti-salitre.*
- *Uso de relación a/c = 0.36, concreto de alta resistencia.*
- *Uso de filler sílico que actúa como agente de cohesividad del concreto.*

6.3.4 Cantera Río Quilca - Tabla Resúmenes de Ensayos

Tabla N° 39; Relación de Calicatas de Cantera del río Quilca

PROGRESIVA (KM.)	CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	LADO	LOCALIZACION
CANTERA RIO QUILCA				
30 + 900	CRQ - 01	1,30	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 02	1,35	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 03	0,70	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 04	1,40	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 05	1,40	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 06	1,30	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 07	1,50	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 08	1,60	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 09	1,70	IZQ	Cauce rio Quilca
30 + 900	CRQ - 10	1,70	IZQ	Cauce rio Quilca

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 40; Resumen de Ensayos de Laboratorio

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	ANALISIS GRANULOMETRICO % QUE PASA												LIMITES DE ATTERBERG %			CLASIFICACION DE SUELOS	
			3"	2"	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	N°4	N°10	N°20	N°40	N°200	L.L.	L.P.	I.P.	SUCS	AASTHO
CRQ - 01	M-2	0.40 - 1.30								100,0	97,8	95,0	78,3	1,1	NT	NP	NP	SP	A-3(0)
CRQ - 02	M-2	0.60 - 1.35	100,0	81,1	75,3	71,4	69,0	66,3	64,7	62,1	59,7	52,6	28,8	3,1	NT	NP	NP	SP	A-1-b(0)
CRQ - 03	M-1	0.00 - 0.70			100,0	9,5	98,8	97,7	96,5	94,7	85,6	68,2	49,8	3,9	NT	NP	NP	SP	A-1-b(0)
CRQ - 04	M-2	0.40 - 1.40	100,0	92,2	90,7	87,3	84,7	81,8	79,4	74,3	69,5	60,4	37,4	10,4	NT	NP	NP	SW-SM	A-1-b(0)
CRQ - 05	M-1	0.00 - 0.20		100,0	99,6	99,1	98,3	97,6	97,0	96,1	89,4	74,7	44,5	2,5	NT	NP	NP	SP	A-1-b(0)
CRQ - 05	M-2	0.20 - 1.40		100,0	76,2	65,5	58,8	52,8	49,9	45,2	42,4	35,0	18,8	0,8	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 06	M-1	0.00 - 1.30	100,0	82,6	74,4	65,6	58,4	49,2	44,6	36,2	31,0	21,6	8,7	0,3	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 07	M-1	0.00 - 0.50	100,0	87,6	72,7	61,8	55,1	49,0	46,4	43,1	41,0	36,5	26,4	3,6	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 07	M-2	0.50 - 1.20							100,0	98,4	95,2	82,9	63,1	3,4	NT	NP	NP	SP	A-3(0)
CRQ - 07	M-3	1.20 - 1.50	100,0	90,0	77,7	68,1	62,9	57,3	52,9	49,6	45,6	39,8	30,8	1,7	NT	NP	NP	GP	A-1-b(0)
CRQ - 08	M-1	0.00 - 0.90	100,0	95,0	82,9	68,1	61,3	51,2	46,8	39,3	35,2	26,5	17,5	2,4	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 08	M-3	1.30 - 1.60	100,0	94,8	87,4	77,4	68,4	57,2	51,6	42,0	37,8	30,8	20,4	2,0	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 09	M-1	0.00 - 1.70		100,0	85,9	70,1	65,4	56,3	52,0	45,0	39,7	35,0	20,5	3,8	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
CRQ - 10	M-1	0.00 - 1.50	100,0	96,5	82,1	68,2	59,4	50,0	45,2	37,5	32,0	27,4	22,1	2,0	NT	NP	NP	GP	A-1-a(0)
RESUMEN ESTADISTICO	CANTIDAD	N	8,0	11,0	12,0	12,0	12,0	12,0	13,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0					
	SUMA	S = SN	800,0	1.019,8	1.004,9	812,1	840,5	766,4	827,0	863,5	801,9	686,4	467,1	41,0					
	PROMEDIO	□ = S / N	100,0	92,7	83,7	67,7	70,0	63,9	63,6	61,7	57,3	49,2	33,4	2,9					

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 41; Resumen de Ensayos Especiales

ENSAYO	NORMA	IDENTIFICACION					PROMEDIO	ESPECIFICACION	OBSERVACION
Razón Soporte California CBR (%)	ASTM D 1883	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
100 % MDS, 0.1" de penetración		82.0	73.0	81.0	82.0	90.0	81.6	40.0 (Min)	Cumple
Abrasión Mecánica (%)	ASTM C 131	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 09	CRQ - 10	(%)	(%)	
		20.0	18.0	21.0	22.0	19.0	20	40.0 (Min)	Cumple
Equivalente de Arena (%)	ASTM D 2419	CRQ - 02	CRQ - 04	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
		86.0	84.0	88.0	78.0	77.0	82.6	35.0 (Min)	Cumple
Partículas con 1 y 2 caras fracturadas	ASTM D 5821	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)		
		0.8	1.3	0.9	0.8	1.0	0.96	.....	No requiere
Partículas chatas y Alargadas (%)	ASTM D 4791	CRQ - 02	CRQ - 06	CRQ - 07	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
		1.5	1.9	0.3	0.3	0.9	0.98	15.0 (Min)	Cumple
Carbón Lignito en Arena (%)	ASTM C 123	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Grueso	0.015	0.014	0.008	0.006	0.010	0.011	0.5 % (Máx)	Cumple
Terrones de arcilla y Partículas Deleznables	MTC E 212	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Grueso	0.10	0.10	0.20	0.10	0.50	0.2	0.25	Cumple
	A. Fino	0.20	0.10	0.10	0.10	0.20	0.14	1.00	Cumple
Durabilidad Sulfato Magnesio (%)	ASTM C 88	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Grueso	2.339	1.613	1.211	2.347	1.964	1.89	18.0 % (Máx)	Cumple
	A. Fino	4.085	4.369	3.787	2.796	3.963	3.8	18.0 % (Máx)	Cumple
Cloruros (%)	NTP 339.177-2002	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Grueso	0.064	0.068	0.064	0.048	0.058	0.058	0.10 % (Máx)	Cumple
	A. Fino	0.058	0.066	0.061	0.052	0.050	0.057	0.10 % (Máx)	Cumple
Sulfatos (%)	NTP 339.178-2002	CRQ - 02	CRQ - 05	CRQ - 06	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Grueso	0.015	0.026	0.031	0.029	0.028	0.026	0.06 (Máx)	Cumple
	A. Fino	0.02	0.022	0.024	0.025	0.023	0.023	0.06 (Máx)	Cumple
Sales Solubles Totales (%)	NTP 339.152-2002	CRQ - 03	CRQ - 06	CRQ - 02	CRQ - 08	CRQ - 10	(%)	(%)	
	A. Global	0.10	0.09	0.23	0.242	0.228	0.18	0.5 (Máx)	Cumple

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 42; Resumen de Registro de Excavación

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
TRAMO	Dv. Quilca Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
METODO DE EXCAVACIO	Manual			Tec. Responsable	D.E.G
CANTERA	"RIO QUILCA"			Ing. Responsable	L.O.L.
PROGRESIVA	30+900	LADO	IZQUIERDO	LOCALIZACION	Cause de río
CALICATA	CRQ-01	PROF. (m)	1.3	COTA (m.s.n.m.)	
N.F. (m)	1	OPERADOR	Tec: D.E.G.	FECHA EXCAVACION	Marzo de 2014

Prof. (m)	Muestra	Descripción del estrato	SUCS	AASHTO
0,40	M - 1	Arena de grano fino en estado semisuelto, ligeramente húmeda, color gris plomizo no plástico. Presenta gravas subredondeadas TM 2" en un 10% aproximadamente. Restos de raices en gran parte del estrato.	SP	
1,30	M - 2	Arena de grano fino en estado semisuelto, humeda a muy húmeda, color gris plomiza, no plástico.Presenta gravas subredondeadas TM 1" en forma aislada.	SP	A-3(0)

Observaciones : Se encontro el nivel freatico a 1.0 m., de profundidad.

Muestreo : Tec. D. E.
Revisado : Ing. L.O.L.
Aprobado : Ing. L.O.L.

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 43; Resumen de Registro de Excavación

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
TRAMO	Dv. Quilca Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
METODO DE EXCAVACIO	Manual			Tec. Responsable	D.E.G
CANTERA	"RIO QUILCA"			Ing. Responsable	L.O.L.
PROGRESIVA	30+900	LADO	IZQUIERDO	LOCALIZACION	Cause de río
CALICATA	CRQ-05	PROF. (m)	1.4	COTA (m.s.n.m.)	
N.F. (m)	1.1	OPERADOR	Tec: D.E.G.	FECHA EXCAVACION	Marzo de 2014

Prof. (m)	Muestra	Descripción del estrato	SUCS	AASHTO
0,20	M - 1	Arena de grano fino en estado semicompacto, ligeramente húmeda, color gris amarillo, no plástico. Gravas subredondeadas TM 2" en 5%, y restos de raices apreciables.	SP	A-1-b(0)
1,40	M - 2	Gravas pobremente graduadas con partículas subredondeadas TM 2", con arenas en estado semisuelto, húmeda a muy húmeda, color gris, no plástico. Presenta partículas subredondeadas mayores de 3" hasta 4" en escaso porcentaje.	GP	A-1-a(0)

Observaciones : Se encontro el nivel freatico a 1.10 m., de profundidad.

Muestreo : Tec. D. E.
Revisado : Ing. L.O.L.
Aprobado : Ing. L.O.L.

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 44; Resumen de Registro de Excavación

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
TRAMO	Dv. Quilca Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
METODO DE EXCAVACIO	Manual			Tec. Responsable	D.E.G
CANTERA	"RIO QUILCA"			Ing. Responsable	L.O.L.
PROGRESIVA	30+900	LADO	IZQUIERDO	LOCALIZACION	Cause de río
CALICATA	CRQ-07	PROF. (m)	1.5	COTA (m.s.n.m.)	
N.F. (m)	1.2	OPERADOR	Tec: D.E.G.	FECHA EXCAVACION	Marzo de 2014

Prof. (m)	Muestra	Descripción del estrato	SUCS	AASHTO
0,50	M - 1	Grava pobremente graduada con partículas subredondeadas TM 3", con arenas en estado semicompacto, ligeramente húmeda, color gris plomizo, no plástico. Restos de raices en escaso porcentaje.	GP	A-1-a(0)
1,20	M - 2	Arena de grano fino en estado semisuelto, húmeda, color gris amarillo, no plástico. Presenta gravillas subredondeadas TM 3/8" en un 2%.	SP	A-3(0)
1,50	M - 3	Grava pobremente graduada con partículas subredondeadas TM 3", con arenas de grano fino en estado semicompacto, húmeda a muy húmeda, color gris plomizo, no plástico.	GP	A-1-b(0)

Observaciones : Se encontro el nivel freatico a 1.20 m., de profundidad.

Muestreo : Tec. D. E.
Revisado : Ing. L.O.L.
Aprobado : Ing. L.O.L.

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 45; Ensayos de Clasificación

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
CANTERA	"Río Quilca"	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-2	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014

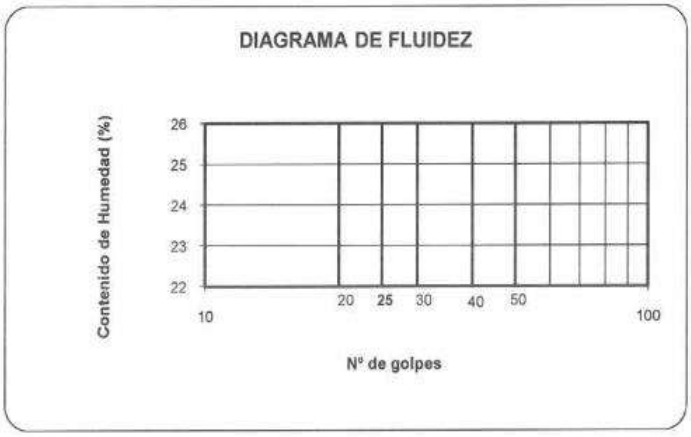
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76,000	100,0
2"	50,800	81,1
1-1/2"	38,100	75,3
1"	25,400	71,4
3/4"	19,100	69,0
1/2"	12,700	66,3
3/8"	9,520	64,7
1/4"	6,350	63,2
N° 4	4,760	62,1
N° 10	2,000	59,7
N° 20	0,840	52,6
N° 40	0,420	28,8
N° 60	0,250	10,9
N° 100	0,149	6,1
N° 200	0,074	3,1

CU = 9,986
CC = 0,366

Humedad Natural (%)	5,6

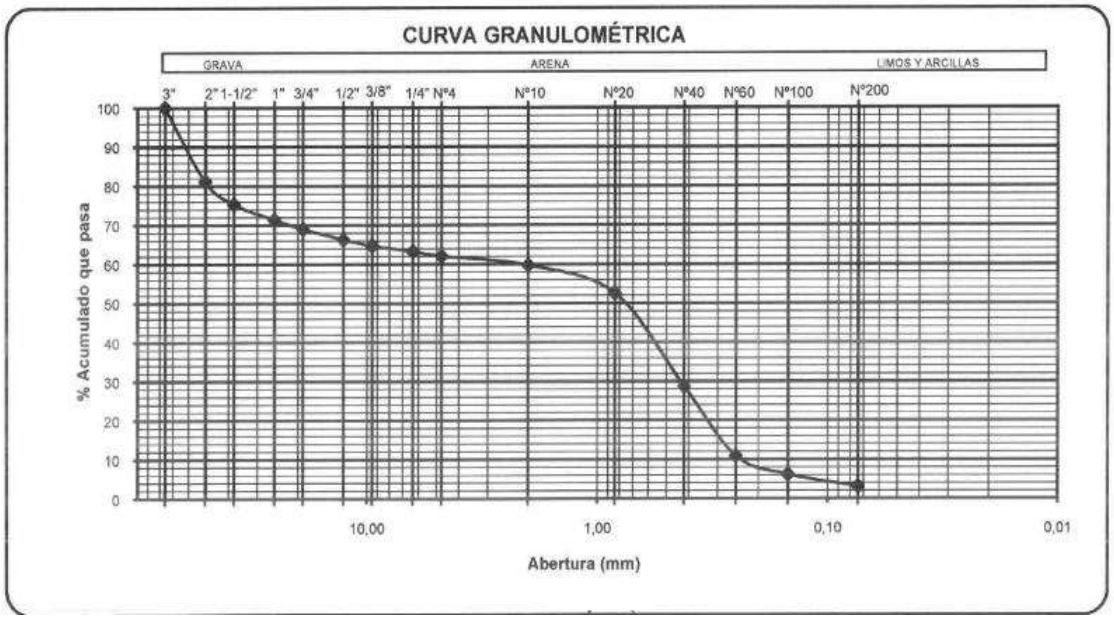
CLASIFICACIÓN SUCS	SP
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	13621	FRACCION (gr.)	500

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 46; Ensayos de Clasificación

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
CANTERA	"RIO QUILCA"	MUESTRA	M-1
PROGRESIVA	30+900	PROFUNDIDAD	0.00 - 0.70
CALICATA	CRQ-3	T.L.	J.R.

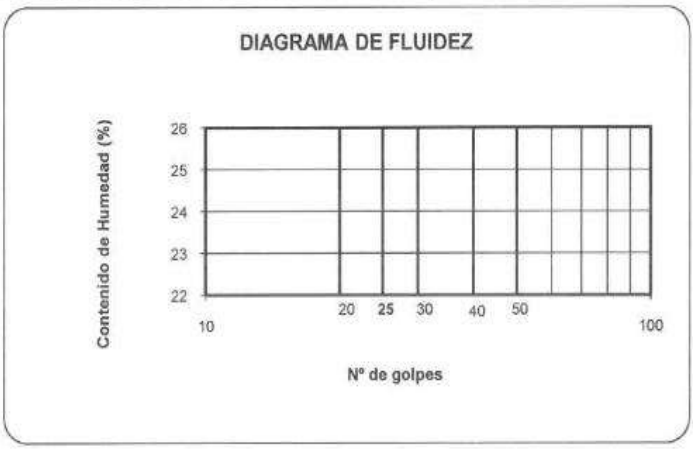
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76,000	
2"	50,800	
1-1/2"	38,100	100,0
1"	25,400	99,5
3/4"	19,100	98,8
1/2"	12,700	97,7
3/8"	9,520	96,5
1/4"	6,350	95,6
N° 4	4,760	94,7
N° 10	2,000	85,6
N° 20	0,840	68,2
N° 40	0,420	49,8
N° 60	0,250	30,5
N° 100	0,149	13,1
N° 200	0,074	3,9

CU	=	5,272
CC	=	0,753

Humedad Natural (%)	7,7

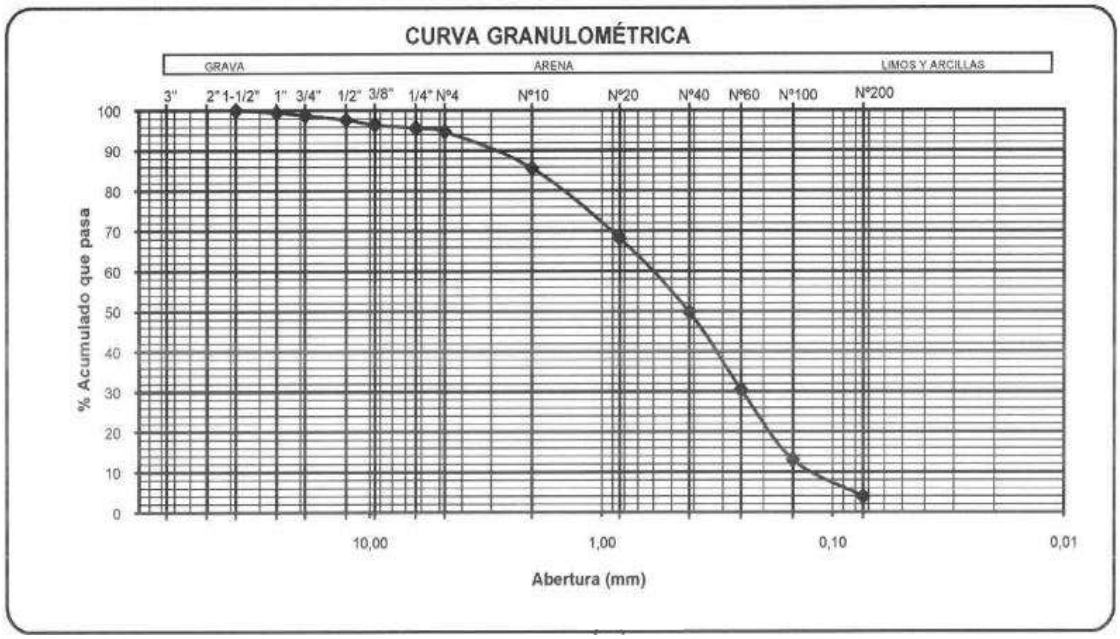
CLASIFICACIÓN SUCS	:	SP
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	10955	FRACCION (gr.)	500	

PUNTOS	1	2	3	
N° Ggolpes				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

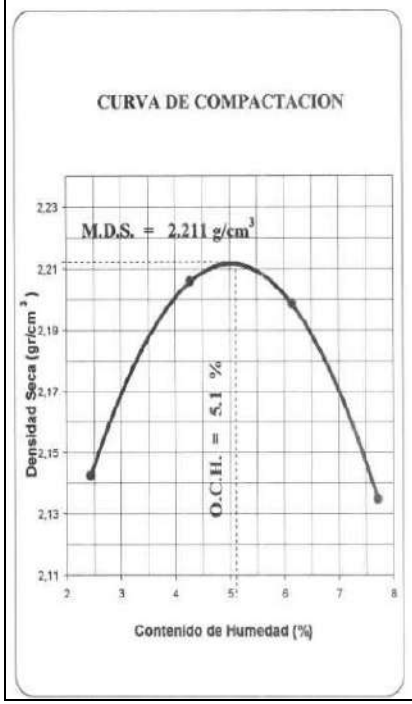
LÍMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP

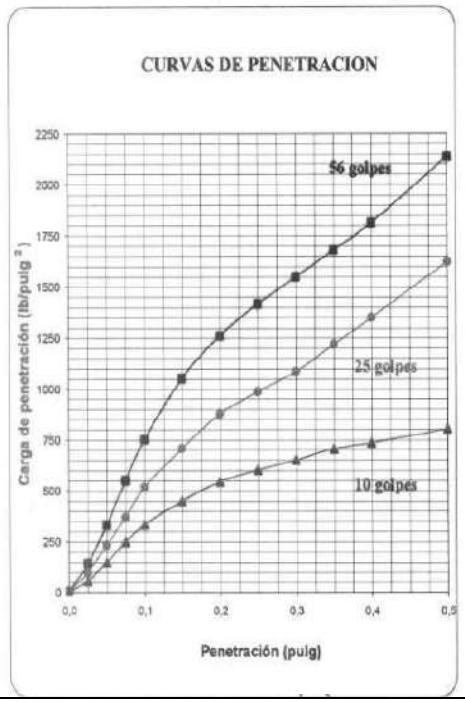


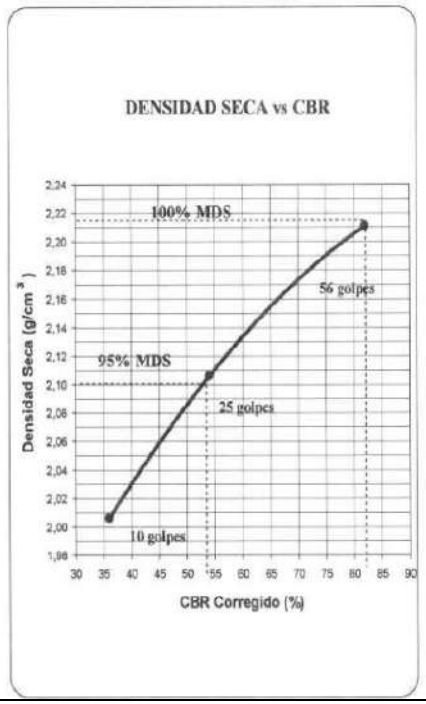
Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 47: Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
CANTERA	"Río Quilca"	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-3	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014







Próctor Modificado ASTM 1557 © - 91

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2,14	2,21	2,20	2,13
Humedad	2,44	4,28	6,15	7,72

MDS = 2.211 g/cm3 OCH = 5.1 %

Razón de Soporte California CBR ASTM 1883

Compactación de los Moldes

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
N° de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm³)	2,21	2,11	2,01
Contenido de Humedad (%)	5,18	5,53	5,08

Cuadro C.B.R. para 0.1" de penetración

Molde N°	I	II	III
Carga Aplicada	820	540	360
Carga Patrón	1000	1000	1000
C.B.R. (%)	82,0	54,0	36,0

Resultados CBR

Condición de la Muestra	4 días de saturación
Sobrecarga	10 libras
Hinchamiento promedio (%)	0,00
CBR (95% de la MDS y 0.1" de penetración) =	53.5 %
CBR (100% de la MDS y 0.1" de penetración) =	82.0 %

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 48; Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
PROGRESIVA	KM. 30+900	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-2	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014

PROCTOR MODIFICADO

DENSIDAD				
W sh + Wm (gr.)	11025	11245	11315	11244
W m (gr.)	6445	6445	6445	6445
Vm (cm3)	2087	2087	2087	2087
W sh (gr.)	4580	4800	4870	4799
D H (g/cm3)	2,19	2,30	2,33	2,30
D S (g/cm3)	2,14	2,21	2,20	2,13

HUMEDAD				
W sh + t (gr.)	365,00	308,00	312,90	383,50
W ss + t (gr.)	358,00	298,20	298,80	361,10
W t (gr.)	71,00	69,00	69,60	71,00
W a (gr.)	7,00	9,80	14,10	22,40
W ss (gr.)	287,00	229,20	229,20	290,10
Humedad (%)	2,44	4,28	6,15	7,72
	1,07	2,90	4,78	6,35
% de agua	0	2	4	6

HUMEDAD NATURAL	
W sh + t (gr.)	312,20
W ss + t (gr.)	308,70
W t (gr.)	53,5
W a (gr.)	3,500
W ss (gr.)	255,2
Humedad (%)	1,37

CALCULOS PARA COMPACTACION CBR

DENSIDAD			
W sh + Wm (gr.)	11921	11944	12226
W m (gr.)	7068	7266	7886
Vm (cm3)	2087	2105	2059
W sh (gr.)	4853	4678	4340
D H (g/cm3)	2,33	2,22	2,11
D S (g/cm3)	2,21	2,11	2,01

DS (g/cm3)	CBR (%)	N° golpes
2,21	82,00	56
2,11	54,00	25
2,01	36,00	10

HUMEDAD CBR ANTES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	333,00	294,00	330,00
W ss + W t (gr.)	320,00	282,00	317,00
W t (gr.)	69,00	65,00	61,00
W a (gr.)	13,00	12,00	13,00
W ss (gr.)	251	217	256
Humedad (%)	5,18	5,53	5,08

HUMEDAD CBR DESPUES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	355,50	324,70	336,00
W ss + W t (gr.)	318,60	286,70	290,50
W t (gr.)	69,00	65,00	61,00
W a (gr.)	36,90	38,00	45,50
W ss (gr.)	249,6	221,7	229,5
Humedad (%)	14,78	17,14	19,83

FECHA	Resultados CBR		
18/02/2009	0,000	0,000	0,000
20/02/2009	0,000	0,000	0,000
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	

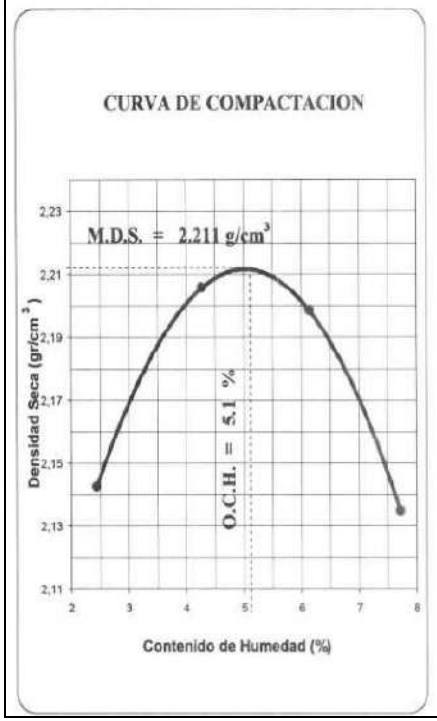
Penetración	56 golpes		25 golpes		10 golpes	
pulg	Lectura	Carga	Lectura	Carga	Lectura	Carga
0,000	0	0	0	0	0	0
0,025	44	140	31	97	18	53
0,050	100	329	70	228	45	144
0,075	165	547	111	366	75	245
0,100	225	748	155	514	101	332
0,150	315	1048	212	705	135	446
0,200	378	1258	262	872	164	544
0,250	425	1414	295	982	181	601
0,300	465	1546	325	1082	195	648
0,350	505	1678	365	1215	212	705
0,400	545	1810	405	1347	220	731
0,500	644	2136	488	1622	241	801

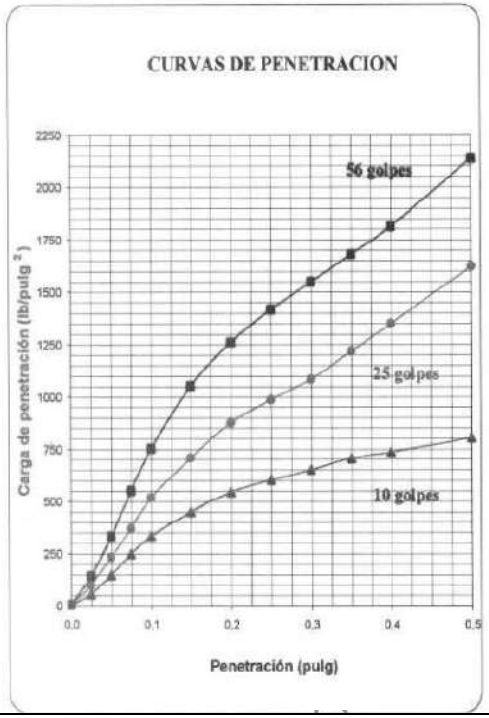
Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

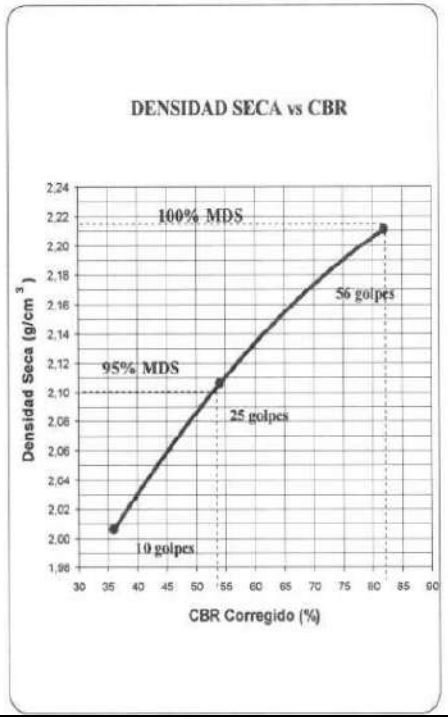
Tabla N° 49; Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
CANTERA	"Río Quilca"	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-2	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014

Próctor Modificado ASTM 1557 © - 91				
Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2,14	2,21	2,20	2,13
Humedad	2,44	4,28	6,15	7,72
MDS = 2.211 g/cm3			OCH = 5.1 %	







Razón de Soporte California CBR ASTM 1883			
Compactación de los Moldes			
Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
N° de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm³)	2,21	2,11	2,01
Contenido de Humedad (%)	5,18	5,53	5,08

Cuadro C.B.R. para 0.1" de penetración			
Molde N°	I	II	III
Carga Aplicada	820	540	360
Carga Patrón	1000	1000	1000
C.B.R. (%)	82,0	54,0	36,0

Resultados CBR		
Condición de la Muestra	4 días de saturación	
Sobrecarga	10 libras	
Hinchamiento promedio (%)	0,00	
CBR (95% de la MDS y 0.1" de penetración)	=	53.5 %
CBR (100% de la MDS y 0.1" de penetración)	=	82.0 %

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 50: Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
PROGRESIVA	KM. 30+900	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-2	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014

PROCTOR MODIFICADO

DENSIDAD				
W sh + Wm (gr.)	11025	11245	11315	11244
W m (gr.)	6445	6445	6445	6445
Vm (cm3)	2087	2087	2087	2087
W sh (gr.)	4580	4800	4870	4799
D H (g/cm3)	2,19	2,30	2,33	2,30
D S (g/cm3)	2,14	2,21	2,20	2,13

HUMEDAD				
W sh + t (gr.)	365,00	308,00	312,90	383,50
W ss + t (gr.)	358,00	298,20	298,80	361,10
W t (gr.)	71,00	69,00	69,60	71,00
W a (gr.)	7,00	9,80	14,10	22,40
W ss (gr.)	287,00	229,20	229,20	290,10
Humedad (%)	2,44	4,28	6,15	7,72
	1,07	2,90	4,78	6,35
% de agua	0	2	4	6

HUMEDAD NATURAL	
W sh + t (gr.)	312,20
W ss + t (gr.)	308,70
W t (gr.)	53,5
W a (gr.)	3,500
W ss (gr.)	255,2
Humedad (%)	1,37

CALCULOS PARA COMPACTACION CBR

DENSIDAD			
W sh + Wm (gr.)	11921	11944	12226
W m (gr.)	7068	7266	7886
Vm (cm3)	2087	2105	2059
W sh (gr.)	4853	4678	4340
D H (g/cm3)	2,33	2,22	2,11
D S (g/cm3)	2,21	2,11	2,01

HUMEDAD CBR ANTES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	333,00	294,00	330,00
W ss + W t (gr.)	320,00	282,00	317,00
W t (gr.)	69,00	65,00	61,00
W a (gr.)	13,00	12,00	13,00
W ss (gr.)	251	217	256
Humedad (%)	5,18	5,53	5,08

HUMEDAD CBR DESPUES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	355,50	324,70	336,00
W ss + W t (gr.)	318,60	286,70	290,50
W t (gr.)	69,00	65,00	61,00
W a (gr.)	36,90	38,00	45,50
W ss (gr.)	249,6	221,7	229,5
Humedad (%)	14,78	17,14	19,83

FECHA	Resultados CBR		
18/02/2009	0,000	0,000	0,000
20/02/2009	0,000	0,000	0,000
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	

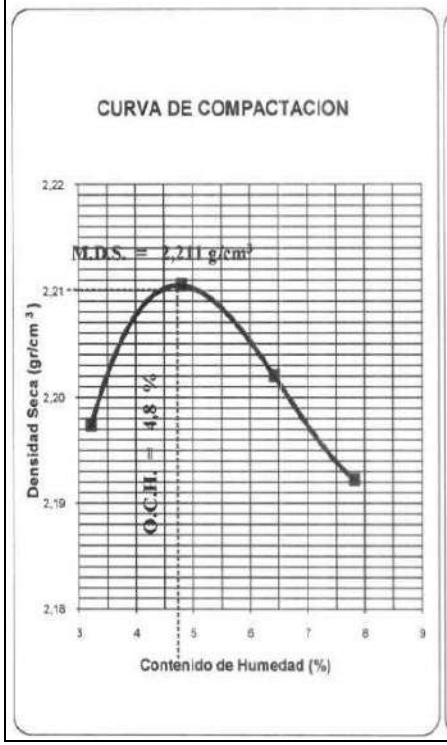
DS (g/cm3)	CBR (%)	N° golpes
2,21	82,00	56
2,11	54,00	25
2,01	36,00	10

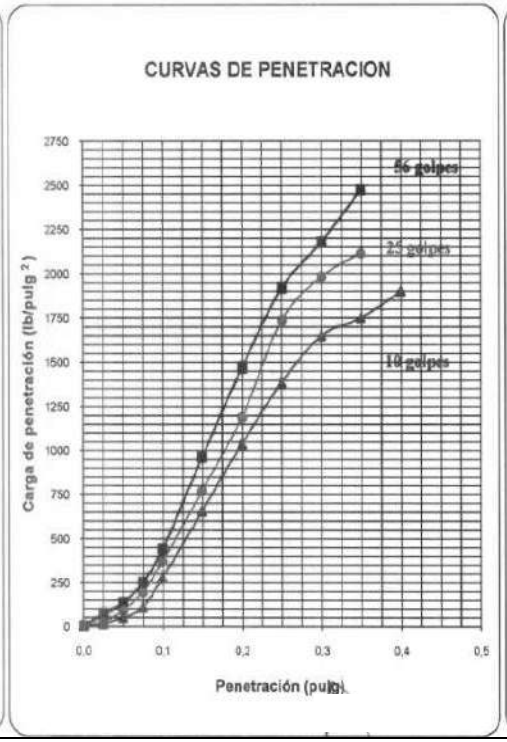
Penetración	56 golpes		25 golpes		10 golpes	
pulg	Lectura	Carga	Lectura	Carga	Lectura	Carga
0,000	0	0	0	0	0	0
0,025	44	140	31	97	18	53
0,050	100	329	70	228	45	144
0,075	165	547	111	366	75	245
0,100	225	748	155	514	101	332
0,150	315	1048	212	705	135	446
0,200	378	1258	262	872	164	544
0,250	425	1414	295	982	181	601
0,300	465	1546	325	1082	195	648
0,350	505	1678	365	1215	212	705
0,400	545	1810	405	1347	220	731
0,500	644	2136	488	1622	241	801

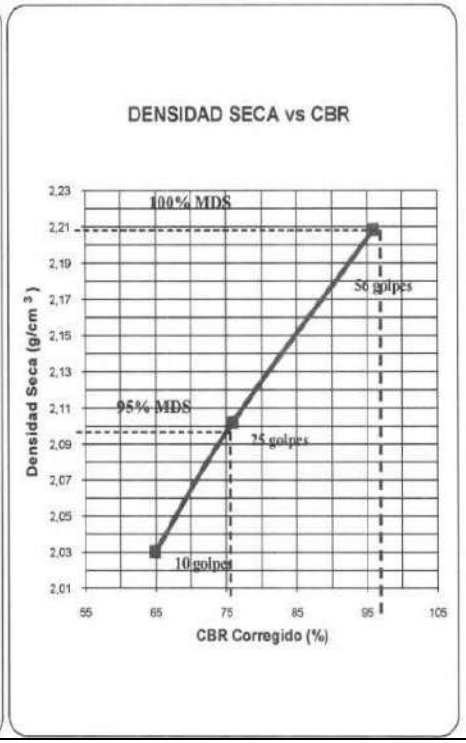
Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 51; Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
CANTERA	"Río Quilca"	MUESTRA	M-2	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	CRQ-2	PROF. (m.)	0.60 . 1.35	FECHA	Abril de 2014







Próctor Modificado ASTM 1557 © - 91

Molde	I	II	III	IV
D. Seca	2,20	2,21	2,20	2,19
Humedad	3,21	4,81	6,43	7,82

MDS = 2,211 g/cm3 OCH = 4,8 %

Razón de Soporte California CBR ASTM 1883

Compactación de los Moldes

Molde N°	I	II	III
N° de capas	5	5	5
N° de golpes/capa	56	25	10
Densidad Seca (gr/cm³)	2,21	2,10	2,03
Contenido de Humedad (%)	4,81	5,15	5,24

Cuadro C.B.R. para 0.1" de penetración

Molde N°	I	II	III
Carga Aplicada	960	760	650
Carga Patrón	1000	1000	1000
C.B.R. (%)	96,0	76,0	65,0

Resultados CBR

Condición de la Muestra	4 días de saturación
Sobrecarga	10 libras
Hinchamiento promedio (%)	0,00
CBR (95% de la MDS y 0.1" de penetración) =	76,0 %
CBR (100% de la MDS y 0.1" de penetración) =	96,0 %

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 52; Ensayos de California Bearing Ratio (CBR)

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani				
CONSULTOR	Consorcio Vial Matarani				
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa				
PROGRESIVA	RIO QUILCA	MUESTRA	Global materi	TECNICO	E.H.Q.
CALICATA	km. 30+900	PROF. (m.)		FECHA	Abril de 2014

PROCTOR MODIFICADO

DENSIDAD				
W sh + Wm (gr.)	11163	11265	11321	11363
W m (gr.)	6430	6430	6430	6430
Vm (cm3)	2087	2087	2087	2087
W sh (gr.)	4733	4835	4891	4933
D H (g/cm3)	2,27	2,32	2,34	2,36
D S (g/cm3)	2,20	2,21	2,20	2,19

HUMEDAD				
W sh + t (gr.)	489,00	530,00	554,00	588,00
W ss + t (gr.)	476,00	509,00	525,00	551,00
W t (gr.)	71,00	72,00	74,00	78,00
W a (gr.)	13,00	21,00	29,00	37,00
W ss (gr.)	405,00	437,00	451,00	473,00
Humedad (%)	3,21	4,81	6,43	7,82
	0,31	1,91	3,53	4,92
% de agua	0	2	4	6

HUMEDAD NATURAL	
W sh + t (gr.)	288,00
W ss + t (gr.)	282,00
W t (gr.)	75
W a (gr.)	6,000
W ss (gr.)	207
Humedad (%)	2,90

CALCULOS PARA COMPACTACION CBR

DENSIDAD			
W sh + Wm (gr.)	12502	12033	12219
W m (gr.)	7545	7175	7585
Vm (cm3)	2142	2198	2169
W sh (gr.)	4957	4858	4634
D H (g/cm3)	2,31	2,21	2,14
D S (g/cm3)	2,21	2,10	2,03

HUMEDAD CBR ANTES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	506,00	622,00	531,00
W ss + W t (gr.)	486,00	597,00	508,00
W t (gr.)	70,00	112,00	69,00
W a (gr.)	20,00	25,00	23,00
W ss (gr.)	416	485	439
Humedad (%)	4,81	5,15	5,24

HUMEDAD CBR DESPUES DE SATURACION			
W sh + W t (gr.)	661,00	688,00	694,00
W ss + W t (gr.)	595,00	615,00	624,00
W t (gr.)	69,00	71,00	110,00
W a (gr.)	66,00	73,00	70,00
W ss (gr.)	526	544	514
Humedad (%)	12,55	13,42	13,62

FECHA	Resultados CBR		
20/08/2009	0,000	0,000	0,000
24/08/2009	0,000	0,000	0,000
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00
	0,00	0,00	0,00

DS (g/cm3)	CBR (%)	N° golpes
2,21	96,00	56
2,10	76,00	25
2,03	65,00	10

Penetración	56 golpes		25 golpes		10 golpes	
pulg	Lectura	Carga	Lectura	Carga	Lectura	Carga
0,000	0	0	0	0	0	0
0,025	20	66	6	19	3	9
0,050	40	133	27	90	14	46
0,075	74	247	58	194	32	107
0,100	131	438	110	368	82	274
0,150	288	961	230	768	195	651
0,200	440	1466	355	1184	310	1035
0,250	576	1917	520	1732	415	1384
0,300	655	2178	595	1980	494	1645
0,350	744	2471	635	2112	525	1748
0,400					570	1897
0,500						

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 53; Abrasión Mecánica

ASTM C 131 - 2003	AGGREGATES. STANDARD TEST METHOD FOR RESISTANCE TO DEGRADATION OF SMALL-SIZE COARSE AGGREGATE BY ABRASION AND IMPACT IN THE LOS ANGELES MACHINE.		
IDENTIFICACIÓN	ENSAYO		RESULTADO (%)
CRQ-2, M-2, (0.60 - 1.35)m	Tamaño Máximo Nominal:	1 1/2"	20
	Gradación:	"A"	
	Número de Esferas:	12	
CRQ-6, M-1, (0.00 - 1.30)m	Tamaño Máximo Nominal:	1 1/2"	21
	Gradación:	"A"	
	Número de Esferas:	12	
CRQ-9, M-2, (0.60 - 1.30)m	Tamaño Máximo Nominal:	1 1/2"	22
	Gradación:	"A"	
	Número de Esferas:	12	

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 54: Equivalente de Arena

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa		
CANTERA	RIO QUILCA	MUESTRA	M-2
PROGRESIVA	km. 30+900	PROF. (m.)	0.60 - 1.35
TRINCHERA	CRQ-02	TECNICO	F.M

EQUIVALENTE DE ARENA
ASTM D 2419

MUESTRA N°	A	B	C	D
Hora de entrada en inmersión	10:20	10:25	11:10	11:15
Hora de salida en inmersión	10:30	10:35	11:20	11:25
Hora de entrada de sedimentación	10:34	10:39	11:24	11:28
Hora de salida de sedimentación	10:54	10:59	11:44	11:48
Altura de material fino (cm.)	4,40	4,30	4,30	4,40
Altura de arena (cm.)	3,80	3,60	3,70	3,80
Equivalente de arena (%)	86,36	83,72	86,05	86,36
Promedio	85,62%			
EQUIVALENTE DE ARENA %	86%			

OBSERVACIONES : Material grava arenosa limpia

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 55; Equivalente de Arena

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa		
CANTERA	RIO QUILCA	MUESTRA	M-1
PROGRESIVA	km. 30+900	PROF. (m.)	0.00 - 0.90
TRINCHERA	CRQ-08	TECNICO	F.M

EQUIVALENTE DE ARENA
ASTM D 2419

MUESTRA N°	A	B	C	D
Hora de entrada en inmersión	8:35	8:40	9:10	9:15
Hora de salida en inmersión	8:45	8:50	9:20	9:25
Hora de entrada de sedimentación	8:49	8:54	9:24	9:29
Hora de salida de sedimentación	9:09	9:14	9:44	9:49
Altura de material fino (cm.)	4,72	4,69	4,70	4,74
Altura de arena (cm.)	3,70	3,66	3,69	3,64
Equivalente de arena (%)	78,39	78,04	78,51	76,79
Promedio	77,93%			
EQUIVALENTE DE ARENA %	78%			

OBSERVACIONES : Material grava arenosa limpia

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 56; Ensayo de Durabilidad

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa		
CANTERA	"RIO QUILCA"	CALICATA	CQR - 02
PROGRESIVA	30+900	PROF (m)	0.60 - 1.35
LADO	Izquierdo	TECNICO	F.M.A.

AGREGADO GRUESO (Analisis Cuantitativo)

MALLA	% RET. GRAN Original	PESO REQUERIDO (GR)	PESO INC (GR)	PESO FINAL (GR)	PERDIDAS		PERDIDAS CORREGIDAS
					PESO (GR)	(%)	
21/2" - 2"	9,9	3000 +/- 300	3118,0	3094,6	23,4	0,75	0,07
2" - 1 1/2"	17,6	2000 +/- 200	2089,0	2035,5	53,5	2,56	0,45
11/2" - 3/4"		1500 +/- 50					
1 1/2" - 1"	19,2	1000 +/- 50	1023,5	1002,5	21	2,05	0,39
1" - 3/4"	21,5	500 +/- 30	522,2	505,5	16,7	3,20	0,69
3/4" - 3/8"		1000 +/- 10					
3/4" - 1/2"	14,8	670 +/- 10	670,6	661,2	9,4	1,40	0,21
1/2" - 3/8"	8,4	330 +/- 5	302,4	296,9	5,5	1,82	0,15
3/8" a N° 4	8,6	300 +/- 5	304,2	288,4	15,8	5,19	0,45
					PERDIDA TOTAL		2,339

AGREGADO GRUESO (Analisis Cualitativo)

TAMICES		% INICIAL	FRACTURADAS	RAJADAS	STILLADA	DESMORONADAS
PASA	RETENIDO	PARTICULAS	N°	N°	N°	N°
2"	11/2"	12	0	0	0	0
11/2"	1"	15	0	0	0	0
1"	3/4"	21	0	0	0	0

AGREGADO FINO (Analisis Cuantitativo)

MALLA	% RET. GRAN. ORIGINAL	PESO REQUERIDO (KG)	PESO INIC. (GR)	PESO FINAL. (GR)	PERDIDAS		PERDIDAS CORREGIDAS
					N°	N°	
3/8" - N° 4	18,8	100	100,0	94,8	5,2	5,20	0,978
N° 4 - N° 8	10,6	100,0	100,0	89,8	10,2	10,20	1,081
N° 8 - N° 16	13,2	100,0	100,0	94,5	5,50	5,50	0,726
N° 16 - N° 30	19,40	100,0	100,0	93,3	6,7	6,70	1,300
N° 30 - N° 50	15,50	100,0	100,0	86,5	13,5	13,50	2,093
N° 50 - N° 100	19,60						
< N° 100	2,90						
					PERDIDA TOTAL		4,085

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 57; Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Friables

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani	**CANTERA**	RIO QUILCA
TRAMO	Dv. Quilca Matarani	**CALICATA**	CRQ - 02
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	**MUESTRA**	M - 2
FECHA	Abr-14	**PROF. (m)**	0.60 - 1.35

AGREGADO GRUESO

TAMAÑO		PESO MINIMO	TAMIZ PARA REMOVER LOS RESIDUOS	GRADACION ORIGINAL	DE LA FRACCION DEL ENSAYO LAV		PERDIDAS		Porcentaje de Terrones y Partículas Friables Corregidas
% PASA	% RETENIDO	REQUERIDO			PESA INIC. (GR)	PESO FINAL (GR)	(GR)	(GR)	(%)
2"	1 1/2"	5000	N° 4	5.8	5010.0	4998.0	12.0	0.2	0.0
1 1/2"	3/4"	3000	N° 4	6.3	3000.0	2996.0	4.0	0.1	0.0
3/4"	3/8"	2000	N° 4	4.3	2006.0	1995.0	11.0	0.5	0.0
3/8"	N° 4	1000	N° 8	2.6	1005	978	27.0	2.7	0.1
								TOTAL	0.1

AGREGADO FINO

TAMAÑO		PESO MINIMO	TAMIZ PARA REMOVER LOS RESIDUOS	GRADACION ORIGINAL	DE LA FRACCION DEL ENSAYO LAV		PERDIDAS		Porcentaje de Terrones y Partículas Friables Corregidas
% PASA	% RETENIDO	REQUERIDO			PESA INIC. (GR)	PESO FINAL (GR)	(GR)	(GR)	(%)
N° 4	N° 16	25	N° 20	11.2	52.0	51.2	0.8	1.5	0.2
								TOTAL	0.2

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 58; Ensayo de Arcilla en Terrones y Partículas Friables

PROYECTO	Estudio Cantera - Puente Quilca Matarani	**CANTERA**	RIO QUILCA
TRAMO	Dv. Quilca Matarani	**CALICATA**	CRQ - 04
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	**MUESTRA**	M - 2
FECHA	Abr-14	**PROF. (m)**	0.40 - 1.40

AGREGADO GRUESO

TAMAÑO		PESO MINIMO	TAMIZ PARA REMOVER LOS RESIDUOS	GRADACION ORIGINAL	DE LA FRACCION DEL ENSAYO LAV		PERDIDAS		Porcentaje de Terrones y Partículas Friables Corregidas
% PASA	% RETENIDO	REQUERIDO			PESA INIC. (GR)	PESO FINAL (GR)	(GR)	(GR)	(%)
2"	1 1/2"	5000	N° 4	1.5	5000.0	4996.0	4.0	0.1	0.0
1 1/2"	3/4"	3000	N° 4	6.0	3000.0	2994.0	6.0	0.2	0.0
3/4"	3/8"	2000	N° 4	5.3	2000.0	1991.0	9.0	0.5	0.0
3/8"	N° 4	1000	N° 8	5.1	1000	984	16.0	1.6	0.1
								TOTAL	0.1

AGREGADO FINO

TAMAÑO		PESO MINIMO	TAMIZ PARA REMOVER LOS RESIDUOS	GRADACION ORIGINAL	DE LA FRACCION DEL ENSAYO LAV		PERDIDAS		Porcentaje de Terrones y Partículas Friables Corregidas
% PASA	% RETENIDO	REQUERIDO			PESA INIC. (GR)	PESO FINAL (GR)	(GR)	(GR)	(%)
N° 4	N° 16	25	N° 20	13.2	50.0	49.6	0.4	0.8	0.1
								TOTAL	0.1

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 59; Ensayo de Carbón Lignito

PROYECTO	Estudio cantera Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de requipa		
CANTERA	RIO QUILCA	PROF. (M)	0.60 - 1.35
CALICATA	CRQ - 02	TECNICO	F.M.A.
MUESTRA	M -2	FECHA	Abr-14

DETERMINACION DE CARBON Y LIGNITO EN ARENA ASTM C 123 - 44/MTC E 215

ENSAYO	RESULTADOS				
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
PESO MUESTRA (200.00 gr)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
PESO PARTICULAS DECANTADAS	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02
CARBON Y LIGNITO EN ARENA (%)	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01
PROMEDIO (%)	0.015				

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 60; Ensayo de Carbon Lignito

PROYECTO	Estudio cantera Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de requipa		
CANTERA	RIO QUILCA	PROF. (M)	0.40 - 1.40
CALICATA	CRQ - 04	TECNICO	F.M.A.
MUESTRA	M -2	FECHA	Abr-14

DETERMINACION DE CARBON Y LIGNITO EN ARENA ASTM C 123 - 44/MTC E 215

ENSAYO	RESULTADOS				
MUESTRA N°	1	2	3	4	5
PESO MUESTRA (200.00gr)	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
PESO PARTICULAS DECANTADAS	0.03	0.04	0.02	0.03	0.02
CARBON Y LIGNITO EN ARENAS (%)	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01
PROMEDIO (%)	0.014				

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 61; Ensayo de Determinación de Cloruros

PROYECTO	Estudio Cantera rio Quilca Matarani
TRAMO	Dv. Quilca - Matarani
UBICACIÓN	Deparatamento de Arequipa
FECHA	Abr-24

DATOS DE LA MUESTRA:

CANTERA	"RIO QUILCA"	MUESTRA	M - 2
PROGRESIVA	KM. 30+900	PROF (m)	0.60 - 1.35
LADO	CRQ - 02	TECNICO	F.M.A.

DETERMINACION DE CLORUROS EXPRESADOS COMO ION CL*
NTP 339.177 - 2002

Temperatura	24.0°	Temperatura muestra	24.3 °C	Humedad relati	60.00%

MUESTRA	CONTENIDO DE ION CL*(%)
PIEDRA	0.064
ARENA	0.058

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

Tabla N° 62; Ensayo de Determinación de Cloruros

PROYECTO		Estudio cantera Puente Quilca Matarani
TRAMO		Dv. Quilca Matarani
UBICACIÓN		Departamento de Arequipa
FECHA		Abr-14

DATOS DE LA MUESTRA:

CANTERA	RIO QUILCA	MUESTRA	M - 1
PROGRESIVA	KM. 30+900	ALT. (m)	0.00 - 1.70
CALICATA	CRQ - 10	TEC.	A. A. L.

DETERMINACION DE CLORUROS EXPRESADOS COMO ION CL*
NTP 339.177 - 2002

Temperatura	24.0°	Temperatura muestra	24.3 °C	Humedad relati	70.00%

MUESTRA	CONTENIDO DE ION CL*(%)
PIEDRA	0.058
ARENA	0.050

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Matarani – Alfha Consult S.A. – Conesupsa S.A.

6.3.5 Dosificación de Diseño

Las características físicas del diseño lo podemos apreciar en las siguientes tablas:

Tabla N° 63; Diseño de Concreto Portland

DISEÑO DE MEZCLA PARA CONCRETO HIDRAULICO AUTOCOMPACTANTE - PIEDRA Ø 3/4" - CEMENTO HS											
DISEÑO F'C	CEMENTO HS Antisalitre - bolsa 11.06	RELACION A/C	ARENA KG	GRAVA KG	FLUJO DE ASENTAMIENTO mm	CEMENTO BOLSA	% DE AIRE	AGUA Lts.	ARENA PIE 3	GRAVA PIE 3	f'c R Kg/cm2
350 Kg/cm2	11.06	0.36	1126	618	700	1	3%	16.5	2	1.3	434

Materiales - Aditivos Sika	Und	Cantidad por M3	P.U.	Parcial
Cemento tipo hs - antisalitre bolsa x 42.5 kg	und	11	19.03	209.3
Sikafume (bolsa de 25kg)	kg	1.09	3.28	3.6
sikaViscocrete (cilindro de 200 l.)	l	11.29	14.68	165.7
Sikament TM 140 (cilindro de 200 l.)	l	3.29	5.23	17.2

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

6.3.6 Resistencias del concreto moldeado

Los resultados a 7, 14 y 28 días de fraguado lo podemos apreciar en la tabla adjunto denominado "resistencia a la compresión de testigos de concreto según Norma ASTM C39 ". Como podrá apreciarse las resistencias alcanzadas son excelentes estando dentro de lo previsto y alcance del objetivo.

Tabla N° 64; Resultados de Diseño – F'C 350 kg/cm2

Items	RESULTADOS DE DISEÑO DE PROBETAS - PILOTES F'C 350 KG / CM2															
	Codigo muestra	N° de probetas	Estructura	Fecha		Tipo de Concreto	Edad	Rotura Dias Exactos	Flujo de asentamiento mm	% De Aire	Lectura Dial	Diametro	Area	Resistencia	%	Promedio
				Moldeo	Rotura		(Días)				(Kg.)	(cm.)	(cm2)	Kg/cm2	Resistencia	%
1	1	3	PILOTES	24/07/2014	31/07/2014	350	7	7	700 mm	3%	28124	15	185.06	152.0	43.4	67.43
	2				31/07/2023	350	7	7			30125	15	185.23	162.6	46.5	
	3				31/07/2023	350	7	7			29125	15	185.03	157.4	45.0	
2	4	3	PILOTES	24/07/2014	7/08/2014	350	14	14	700 mm	3.1%	76479	15	185.78	411.7	117.6	175.84
	5				7/08/2023	350	14	14			75765	15	185.78	407.8	116.5	
	6				7/08/2023	350	14	14			76122	15	185.03	411.4	117.5	
3	7	3	PILOTES	24/07/2014	21/08/2014	350	28	28	700 mm	3%	82547	15	185.78	444.3	126.9	189.73
	8				21/08/2023	350	28	28			81456	15	185.78	438.5	125.3	
	9				21/08/2023	350	28	28			82408	15	185.03	445.4	127.2	

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

VII. CAPITULO VII

PROCESO CONSTRUCTIVO

PILOTAJES

7.1 Tipo de Pilotes

Los pilotes son miembros estructurales hechos de acero, concreto y/o madera y son usados para construir cimentaciones, cuando son profundas y cuestan más que las cimentaciones superficiales. A pesar del costo el uso de pilotes es a menudo necesario para garantizar la seguridad estructural. La siguiente lista identifica algunas de las condiciones que requieren cimentaciones de pilotes.

7.2 Funciones y Usos de Pilotes

a) *Transferir cargas de la superestructura y del resto de la infraestructura a través de estratos débiles o compresibles, a través del agua o aire, hasta estratos inferiores con la suficiente capacidad de carga como para soportar la estructura, comportándose el pilote como una extensión de columna o pilar. Estos estratos inferiores pueden ser rocas, arcillas duras o suelos de baja compresibilidad. Al pilote que reposa sobre estos estratos se le denomina "pilote de punta" Fig N° 27 (Fig. 7.2.1a).*

b) *Transferir o repartir la carga sobre un suelo relativamente suelto a través de la fricción de superficies entre el pilote y el suelo. Este tipo de pilote se le denomina "pilote de fricción" y su vez se puede subdividir, según Terzaghi, en pilotes de fricción en suelos de grano grueso muy permeable y pilote de fricción en suelos de grano fino o de baja permeabilidad. En la naturaleza es difícil*

encontrar estratos de suelos homogéneos, por lo que no existe un límite real entre estas categorías (Fig. 7.2.1b).

c) *En situaciones donde el suelo alrededor de un pilote lo mueve hacia abajo, a esto se le denomina "fricción negativa", esta fricción tiende a hundir el pilote y si este no puede penetrar más, en la punta del pilote se generará una presión concentrada. Este caso se puede presentar cuando se hinca un pilote en un estrato blando en cuya superficie se coloca un relleno que consolide el terreno, entonces este al consolidarse generará en las caras del pilote unas fuerzas de fricción hacia abajo que se denominan fricción negativa (Fig. 7.2.1c).*

d) *Proporcionar anclaje a estructuras sujetas a sub-presiones, momentos de volteo o cualquier efecto que trate de levantar la estructura. Las fuerzas horizontales se resisten por pilotes en flexión (Fig. 7.2.1d) o por grupos de pilotes verticales e inclinados que actúan como un sistema estructural, combinando las resistencias axiales y laterales de todo el grupo (Fig. 7.2.1e).*

e) *Alcanzar con la cimentación profundidades que no estén sujetas a erosión, socavaciones u otros efectos (Fig. 7.2.1f).*

f) *Para evitar los daños que puede producir una futura excavación a la cimentación de una edificación adyacente; en este caso el pilote lleva la carga de la cimentación debajo del nivel de excavación esperado (Fig. 7.2.1g).*

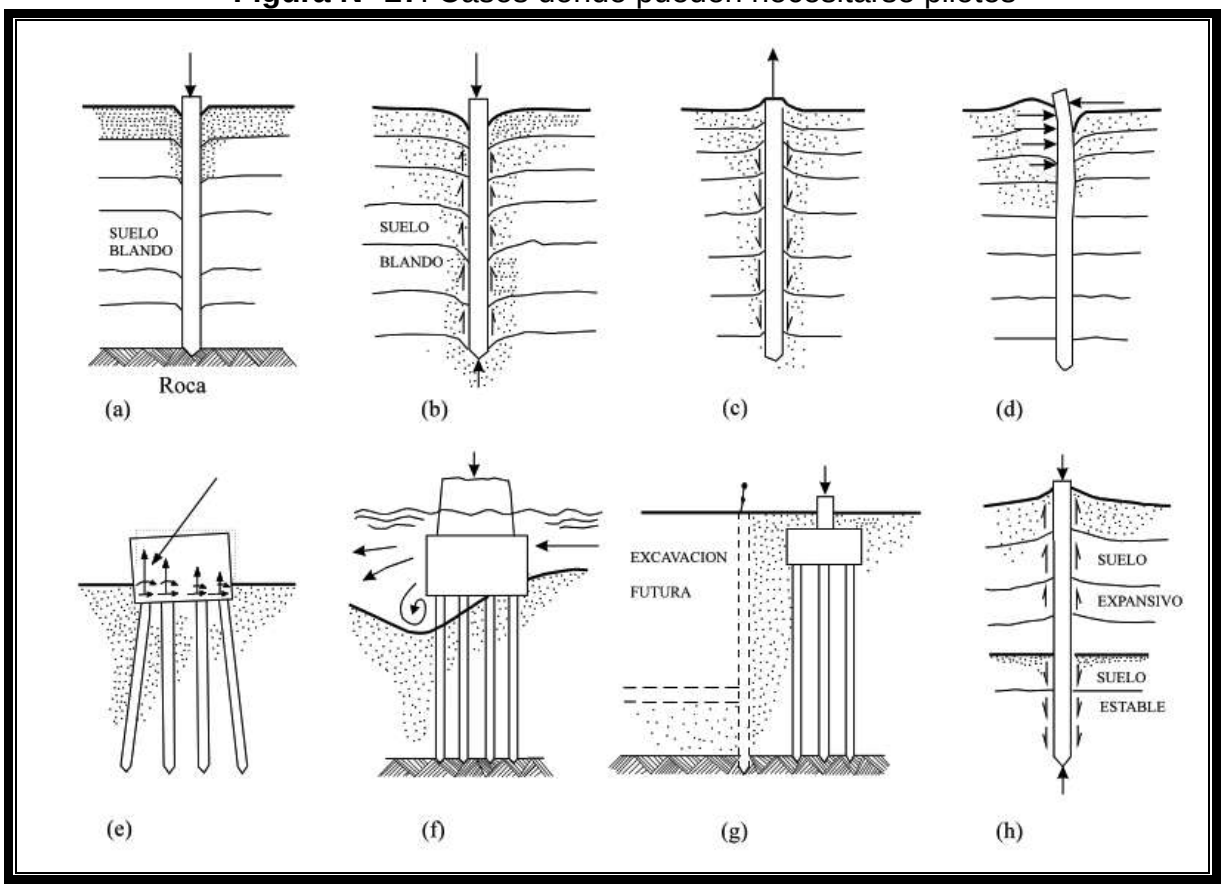
g) *En áreas de suelos expansivos o colapsables, para asegurar que los movimientos estacionales no sucederán (Fig. 7.2.1h).*

h) *Proteger estructuras marinas como muelles, atracaderos, contra impactos de barcos u objetos flotantes.*

i) *Soportar muros de contención, contrafuertes o cimentaciones de máquinas.*

j) *Compactar el suelo.*

Figura N° 27: Casos donde pueden necesitarse pilotes



Fuente: Jorge E. Alva Hurtado CIMENTACIONES PROFUNDAS CISMID-FIC-UNI

7.3 Generalidades

Para los trabajos de construcción de 48 Pilotes perforados con diámetro de 1500mm, con profundidades máximas de 38.00m; se requirió de procedimientos específicos para desarrollar dichos trabajos.

7.4 Antecedentes y definición de Procedimiento Constructivo de Pilotes Excavados

Según información básica se considera que una cimentación es profunda si su extremo inferior, en el terreno, está a una profundidad superior a 8 veces su diámetro o ancho.

Cuando la ejecución de una cimentación superficial no sea técnicamente viable, se debe contemplar la posibilidad de realizar una cimentación profunda.

Las cimentaciones profundas se pueden clasificar en los siguientes tipos:

a) *Pilote aislado: aquel que está a una distancia lo suficientemente alejada de otros pilotes como para que no tenga interacción geotécnica entre ellos.*
b) *Grupo de Pilotes: son aquellos que por su profundidad interaccionan entre sí o están unidos mediante elementos estructurales lo suficientemente rígidos, como para que trabajen conjuntamente.*
c) *Zonas Pilotadas: son aquellas en las que los pilotes están dispuestos con el fin de reducir asientos o mejorar la seguridad frente a hundimientos de las cimentaciones. Suelen ser pilotes de escasa capacidad portante individual y estar regularmente espaciados o situados en puntos estratégicos.*
d) *Micropilotes: son aquellos compuestos por una armadura metálica formada por tubos, barras o perfiles introducidos dentro de un taladro de pequeño diámetro, pudiendo estar o no inyectados con lechada de mortero a presión más o menos elevada.*

7.5 Perforación e Instalación del Tubo Metálico de Revestimiento

La perforación para los pilotes será vertical y ejecutada mediante sistema rotativo, con hélice, tricono o trépano, y con el uso de revestimiento metálico, hasta llegar a la profundidad que se estima presentará taludes estables; llegando a la condición de estabilidad de paredes, la perforación podrá continuar sin revestimiento, con uso de lodo, hasta la profundidad de diseño. La profundidad máxima de los pilotes será de 38.00m. más 2,70m. la longitud de descabezado que corresponde a la perforación para el pilote.

Una vez terminado el agujero, se retirará la línea de perforación dejando el tubo metálico o el lodo, que permanecerá hasta el vaciado del concreto. El lodo será expulsado por el concreto, durante el vaciado. En caso de presencia de agua dentro del revestimiento, la misma será expulsada durante el vaciado del concreto, no estando previsto el bombeo de agua para vaciado de concreto a seco, ya que esta operación desequilibrará las presiones sobre el tubo de revestimiento.

Si las paredes del taladro se muestran estables, la perforación se ejecutará con lodo, o se revestirá hasta la profundidad que se necesaria y el resto se seguirá sin revestimiento, solo con lodo.

7.6 Procedimiento de Ejecución

Los pilotes pueden ser de naturaleza y forma muy variada como se indica en los antecedentes. En general siempre será un elemento aproximadamente prismático cuya longitud es mucho mayor que las dimensiones transversales media. En este proyecto se aplicó grupo de pilotes que por su profundidad interactúan entre sí y trabajan conjuntamente.

FOTO N° 60 Inicio de perforación de Ø1500 mm, colocación de casing con gata hidráulica con equipo mecánico Bauer

7.7 Perforación Rotativa

Después de liberado el punto de perforación por parte de la Supervisión se procederá a iniciar la perforación de Ø1500 mm, mediante el sistema de perforación rotatoria intermitente con uso del Kelly y para la protección de la perforación se usará un revestimiento metálico (casing), los cuales serán alineados y unidos mediante pernos e instalados usando el casing driver y según sea el caso el oscilador.

En primer lugar, se embonará al Kelly la herramienta de perforación (auger), luego se girará el equipo Bauer a la posición donde se encuentra ubicado el primer tubo casing que incluye la zapata, se ajustarán los pernos de sujeción del tubo casing al casing driver y luego se posicionara el tubo casing en el punto de perforación controlado topográficamente e iniciara la perforación. La instalación del revestimiento o casing y el avance de la perforación se ejecutará

simultáneamente mediante la unidad de rotación y posteriormente el oscilador. Al finalizar la perforación del primer tubo casing, se desacoplará el casing del casing driver y se instalará el oscilador concéntricamente exterior al tubo casing con apoyo de equipo grúa y vientos. El segundo tubo casing se acoplará al casing driver y se unirá al que quedó introducido. Los tubos casing serán alineados, y se instalarán con el casing driver o de ser el caso mediante el oscilador. Las paredes de la excavación serán revestidas hasta llegar a un suelo compacto. La secuencia será la misma hasta alcanzar la profundidad requerida. De ser el caso se empleará lodos para estabilizar las paredes del taladro de referencia, se considera en principio el empleo del Poly Xan para lo cual se entregará su Ficha Técnica y Hoja MSDS. Se considera que durante todo este proceso se acompañará para la eliminación de los excedentes de excavación a un área provisional, una retroexcavadora permanentemente para su posterior eliminación a un botadero autorizado por parte del MTC.

De encontrarse alto nivel freático durante el trayecto de la perforación, el agua que se llegue a extraer la perforación o en el vertido será direccionada a unos depósitos que se dejará sedimentar y posteriormente el agua se recirculará de ser el caso para la limpieza de las herramientas de vertido en una poza de sedimentación para su posterior evacuación en camión cisterna. La capacidad de la cisterna se tendrá que evaluar dependiendo del caudal de evacuación del agua que se requiera, normalmente se emplea camión de 3000 a 5000 Gl.

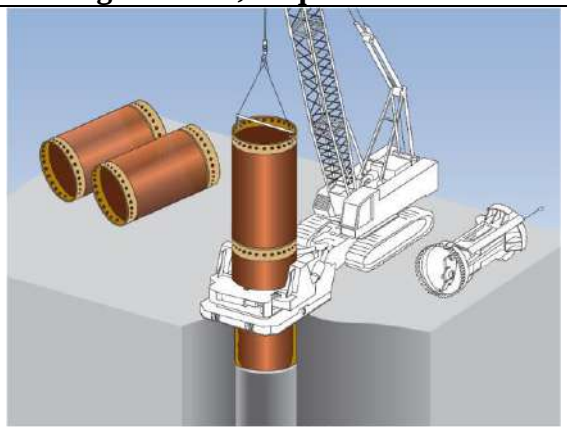
FOTO N° 61 Ubicación Inicio perforación de Ø1500 mm, mediante el sistema de perforación rotatoria, con acoplamiento de 2da tubería casing.

FOTO N° 62 Inicio de perforación helicoidal mediante el sistema de perforación rotatoria

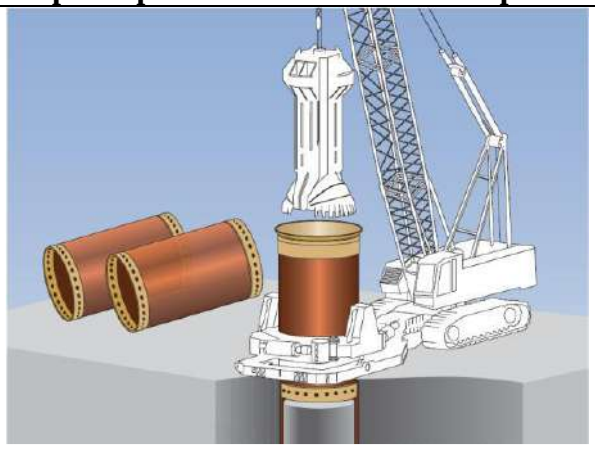
FOTO N° 63 Acomodo de tubería de revestimiento "Casing" para ejecución de perforación helicoidal mediante el sistema de perforación rotatoria.

FOTO N° 64 Embone de 2Da tubería de revestimiento "Casing" perforación helicoidal mediante el sistema de perforación rotatoria

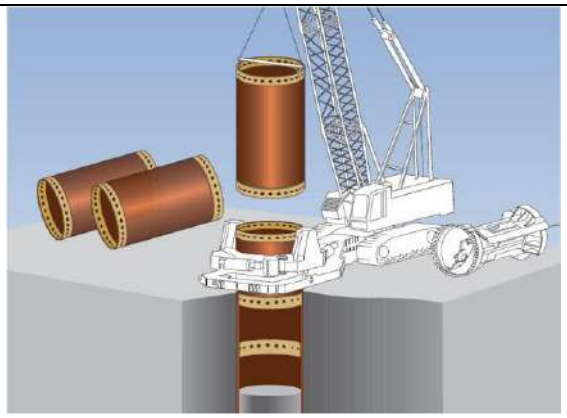
Figura N°28; Esquema constructivo de un pilote perforado con camisa recuperable



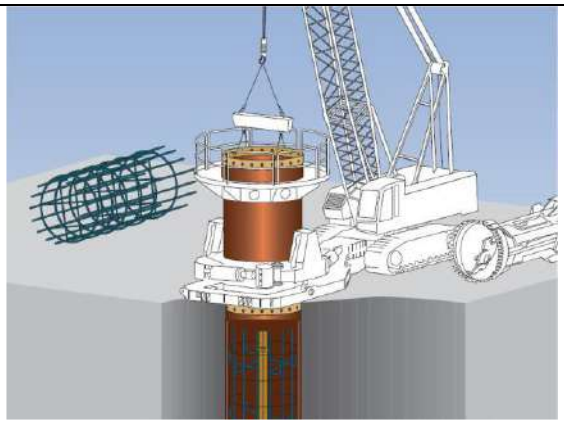
(a) Instalación de la primera camisa, acoplar con una nueva sección mediante conectores atornillados.



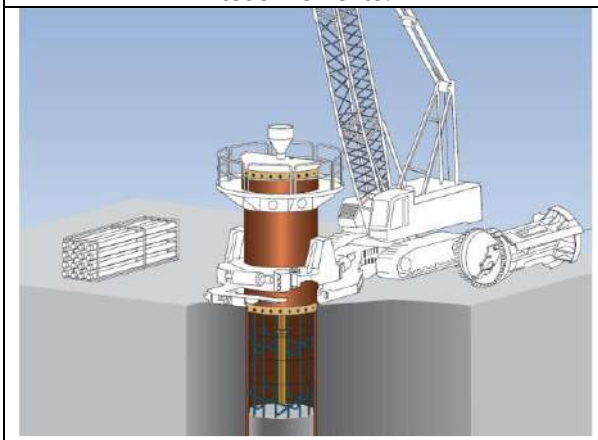
(b) Excavar el suelo durante la instalación de camisas.



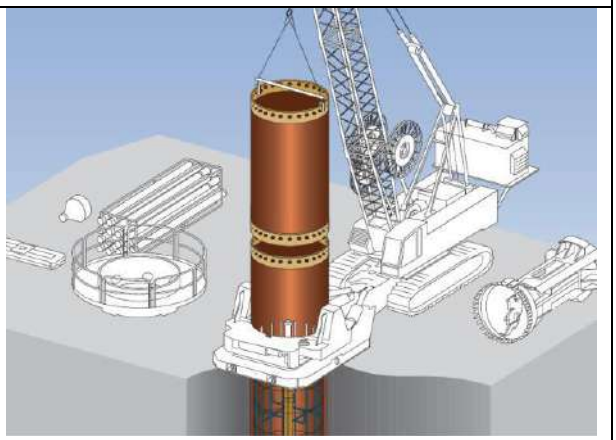
(c) Añadir una nueva sección de camisa hasta llegar a la profundidad requerida, mantener la punta de la camisa por delante de la excavación en todo momento.



(d) Instalar la jaula de acero fc'4200 kg/cm2 y suspenderla a la elevación adecuada.



(e) Verter concreto usando tubería tremie, mantener el nivel de concreto por encima de la punta de la camisa en todo momento.



(f) Remover las camisas y la tubería de tremie en secciones durante el vaciado de concreto hidráulico simultáneamente.

Fuente: Deep Fondation, F. técnico Malcolm Drilling Company

7.8 Verificación de la Profundidad y Verticalidad del Taladro

Durante la perforación, el operador de la perforación verificará la profundidad del taladro, considerando el largo de las tuberías casing que usará, y culminando la perforación, lo medirá con una cinta métrica.

Culminada la perforación, el Supervisor de Calidad, en conjunto con el topógrafo verificará la profundidad del pozo de perforación y levantará el protocolo de verificación de profundidad del taladro.

Tabla N° 65: Verificación topográfica y perforación e instalación de estructura

Fecha	Registro de protocolo	Código de Pilote	Cota de NTN	Cota fondo de pilote	Long. perforación m.	Cota de contacto de roca	Long. perforación en roca m.	Control de verticalidad X/Y	Verificación de Verticalidad
29/08/14	001	P1-3	1.817	-27.973	29.79	0.00	3.00	0.0003	Ok
06/09/14	002	P2-8	1.562	-39.380	40.94	0.00	0.00	0.0000	Ok
08/09/14	003	P2-3	1.550	-39.400	40.95	0.00	0.00	0.0018	Ok
13/09/14	004	P2-6	1.650	-39.338	40.99	0.00	0.00	0.0050	Ok
14/09/14	005	P2-5	1.810	-38.990	40.80	0.00	0.00	0.0063	Ok
16/09/14	006	P2-2	1.800	-39.354	41.15	0.00	0.00	0.0025	Ok
18/09/14	007	P2-4	1.800	-39.800	41.60	0.00	0.00	0.0003	Ok
20/09/14	008	P2-1	1.800	-39.800	41.60	0.00	0.00	0.0003	Ok
22/09/14	009	P2-7	1.800	-39.350	41.15	0.00	0.00	0.0003	Ok
25/09/14	010	ED-8	2.700	-36.100	38.80	0.00	0.00	0.0038	Ok
27/09/14	011	ED-3	2.400	-35.900	38.30	0.00	0.00	0.0038	Ok
28/09/14	012	ED-6	2.450	-36.600	39.05	0.00	0.00	0.0038	Ok
30/09/14	013	ED-5	2.500	-36.250	38.75	0.00	0.00	0.0025	Ok
30/09/14	014	ED-1	2.350	-36.430	38.78	0.00	0.00	0.0025	Ok
03/10/14	015	ED-7	2.800	-36.480	0.00	0.00	0.00	0.0027	Ok
04/10/14	016	ED-2	2.420	-36.167	38.59	0.00	0.00	0.0040	Ok
06/10/14	017	ED-4	2.400	-36.240	38.64	0.00	0.00	0.0038	Ok
07/10/14	018	P5-8	2.200	-37.000	39.20	0.00	0.00	0.0015	Ok
08/10/14	019	P5-3	2.070	-36.840	38.91	0.00	0.00	0.0021	Ok
09/10/14	020	P5-6	2.230	-37.000	39.23	0.00	0.00	0.0042	Ok
10/10/14	021	P5-5	2.220	-37.000	39.22	0.00	0.00	0.0016	Ok
11/10/14	022	P5-1	2.130	-37.080	39.21	0.00	0.00	0.0029	Ok
13/10/14	023	P5-7	2.187	-37.340	39.53	0.00	0.00	0.0038	Ok
14/10/14	024	P5-2	2.450	-37.160	39.61	0.00	0.00	0.0025	Ok
15/01/14	025	P5-4	2.500	-37.150	39.65	0.00	0.00	0.0025	Ok
16/10/14	026	P4-2	2.100	-37.050	39.15	0.00	0.00	0.0015	Ok
18/10/14	027	P3-7	1.900	-37.200	39.10	0.00	0.00	0.0027	Ok
19/10/14	028	P4-3	2.150	-37.100	39.25	0.00	0.00	0.0006	Ok
20/10/14	029	P4-1	2.150	-37.050	39.20	0.00	0.00	0.0002	Ok
23/10/14	030	P4-8	2.300	-37.100	39.40	0.00	0.00	0.0019	Ok
24/10/14	031	P4-6	2.300	-37.100	39.40	0.00	0.00	0.0030	Ok
27/10/14	032	P4-5	2.200	-37.000	39.20	0.00	0.00	0.0030	Ok
28/10/14	033	P4-4	2.300	-37.200	39.50	0.00	0.00	0.0022	Ok
29/10/14	034	P4-7	2.300	-37.150	39.45	0.00	0.00	0.0031	Ok
30/10/14	035	ED-7A	2.750	-36.000	38.75	0.00	0.00	0.0022	Ok
31/10/14	036	P1-3A	1.700	-27.900	29.60	0.00	0.00	0.0019	Ok

01/11/14	037	P1-1	1.700	-23.900	25.60	-20.60	3.30	0.0027	Ok
02/11/14	038	P1-8	1.700	-26.150	27.85	-23.10	3.05	0.0022	Ok
03/11/14	039	P1-2	1.700	-23.300	25.00	-20.30	3.00	0.0017	Ok
05/11/14	040	P1-6	1.700	-30.300	32.00	-27.30	3.00	0.0028	Ok
06/11/14	041	P1-5	1.800	-24.200	26.00	-21.20	3.00	0.0032	Ok
06/11/14	042	P1-4	1.780	-26.280	28.06	-23.21	3.07	0.0042	Ok
08/11/14	043	P1-7	1.850	-29.200	31.05	-26.20	3.00	0.0046	Ok
09/11/14	044	P3-8	2.020	-37.210	39.23	0.00	0.00	0.0039	Ok
10/11/14	045	P3-6	1.990	-37.140	39.13	0.00	0.00	0.0044	Ok
11/11/14	046	P3-3	2.010	-37.250	39.26	0.00	0.00	0.0036	Ok
12/11/14	047	P3-4	2.000	-37.100	39.10	0.00	0.00	0.0043	Ok
13/11/14	048	P3-5	2.100	-37.200	39.30	0.00	0.00	0.0044	Ok
17/11/14	049	P3-1	2.000	-37.050	39.05	0.00	0.00	0.0022	Ok
18/11/14	050	P3-2	2.100	-37.150	39.25	0.00	0.00	0.0018	Ok
Metrado total					1836.32		24.42		

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani

7.9 Habilitación, Armado e Instalación de la Estructura de Acero

Características Generales:

La estructura de acero será habilitada con acero corrugado grado 60, en los diámetros y longitudes especificadas en los planos de construcción.

7.10 Procedimiento de Habilitación y armado de estructura

La estructura de acero será habilitada en un taller cercano a los puntos de perforación para lo cual se contará con un área acondicionada para realizar las siguientes actividades:

- *El almacenamiento de los aceros que van llegando a obra,*
- *Habilitación de los aceros (corte, doblado, amarre y armado de la estructura).*
- *Tránsito y maniobras del camión plataforma el cual trasladará la estructura del lugar de armado hacia los puntos de pilotaje y tránsito de grúa para el carguío de la estructura de acero hacia el camión plataforma.*
- *Instalación de equipos de soldadura, equipo de doblado de acero y grupo electrógeno.*
- *El proceso de corte de acero se realizará mediante el uso de máquinas amoladoras y de la tronzadora.*

- *Las maquinas amoladoras se utilizarán para cortar las varillas de acero $1^{3}/_{8}$" de diámetro las cuales se cortarán en el lugar de almacenaje debido a su mayor peso por unidad de metro lineal, además se harán cortes con la amoladora de ser necesario, en el armado de la estructura en los pilotes ya armados o por dificultades que sea necesario su uso, y para cortar alambre número 16 cuando sea necesario;*
- *La máquina trozadora se utilizará para cortar las varillas de acero de diámetros entre 1/2" a 1", incluido el alambre número 16 de requerirse;*
- *El proceso de doblado de acero se hará mediante el uso de la maquina dobladora D52L marca alba de fabricación europea o una similar, que puede hacer el doblado de las mismas hasta un diámetro de $1^{3}/_{8}$", el doblado se realizará aprovechando la propiedad de ductilidad que tiene el acero corrugado y se hará de acuerdo a las especificaciones técnicas y planos de cimentación entregados por el cliente, además se utilizarán las llamadas trampas de acero para realizar el doblado de las varillas hasta un diámetro de 1" a fin de ayudar en la producción a los operadores de la maquina dobladora;*
- *Luego del corte y doblado de las varillas de acero, se llevará a cabo el proceso de habilitación de la estructura de los pilotes que será realizada por los operarios, oficiales y ayudantes, a su vez estos trabajos estarán bajo la dirección del supervisor de campo con el apoyo de los planos de cimentación entregados por el MTC.*
- *El armado de las estructuras se realizará sobre tacos de madera, para lo cual se anclará primero los aros de rigidez de los extremos de la estructura del pilote,*

que serán ancladas por ambos lados de los aros con fierro de ½", para evitar su deslizamiento;

- *Las estructuras habilitadas serán revisadas por la Supervisión y con su liberación se trasladarán desde el taller al punto de perforación mediante camión plataforma con el apoyo de la grúa. Estas estructuras se colocarán a un costado de la boca del pilote.*

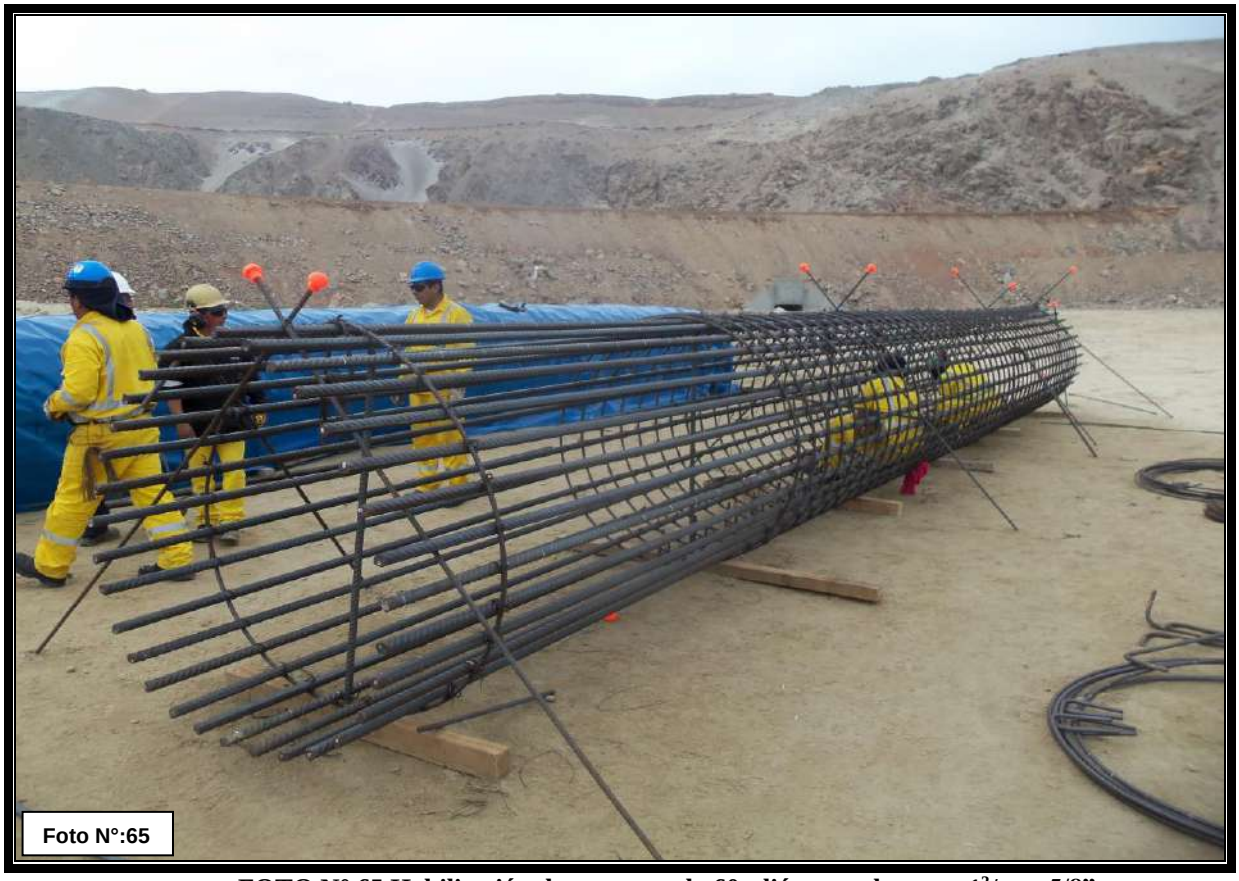


FOTO N° 65 Habilitación de acero grado 60; diámetro de acero $1^{3}/_{8}$". y 5/8"

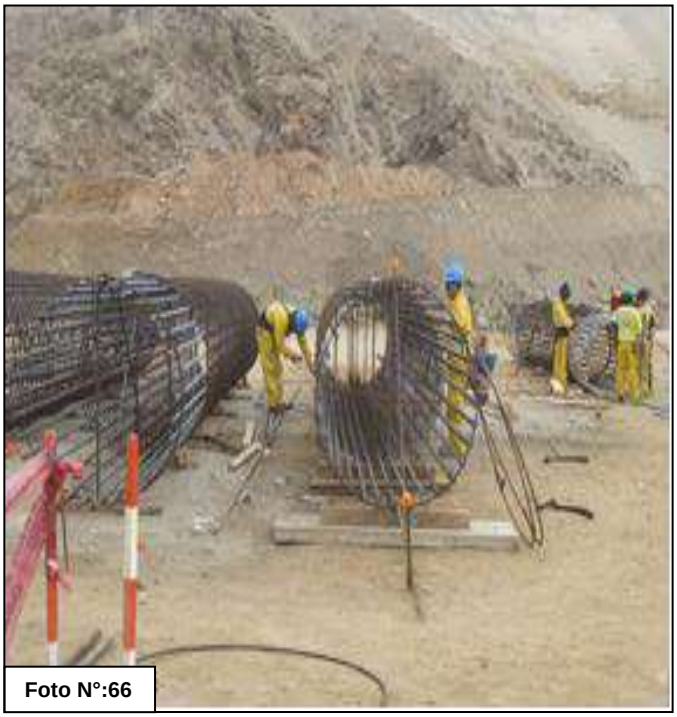


Foto N°:66

FOTO N° 66 Habilitación vertical de acero para pilotes $1^{3}/_{8}$". y acero horizontal 5/8"

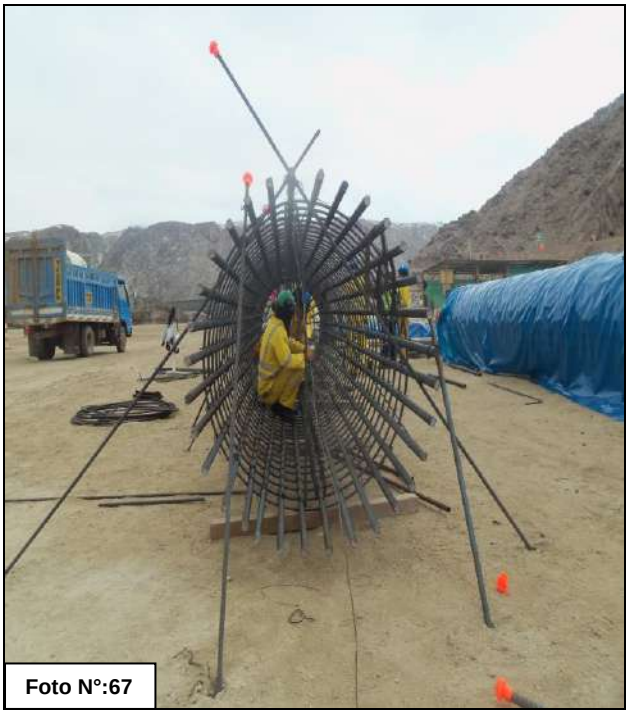


Foto N°:67

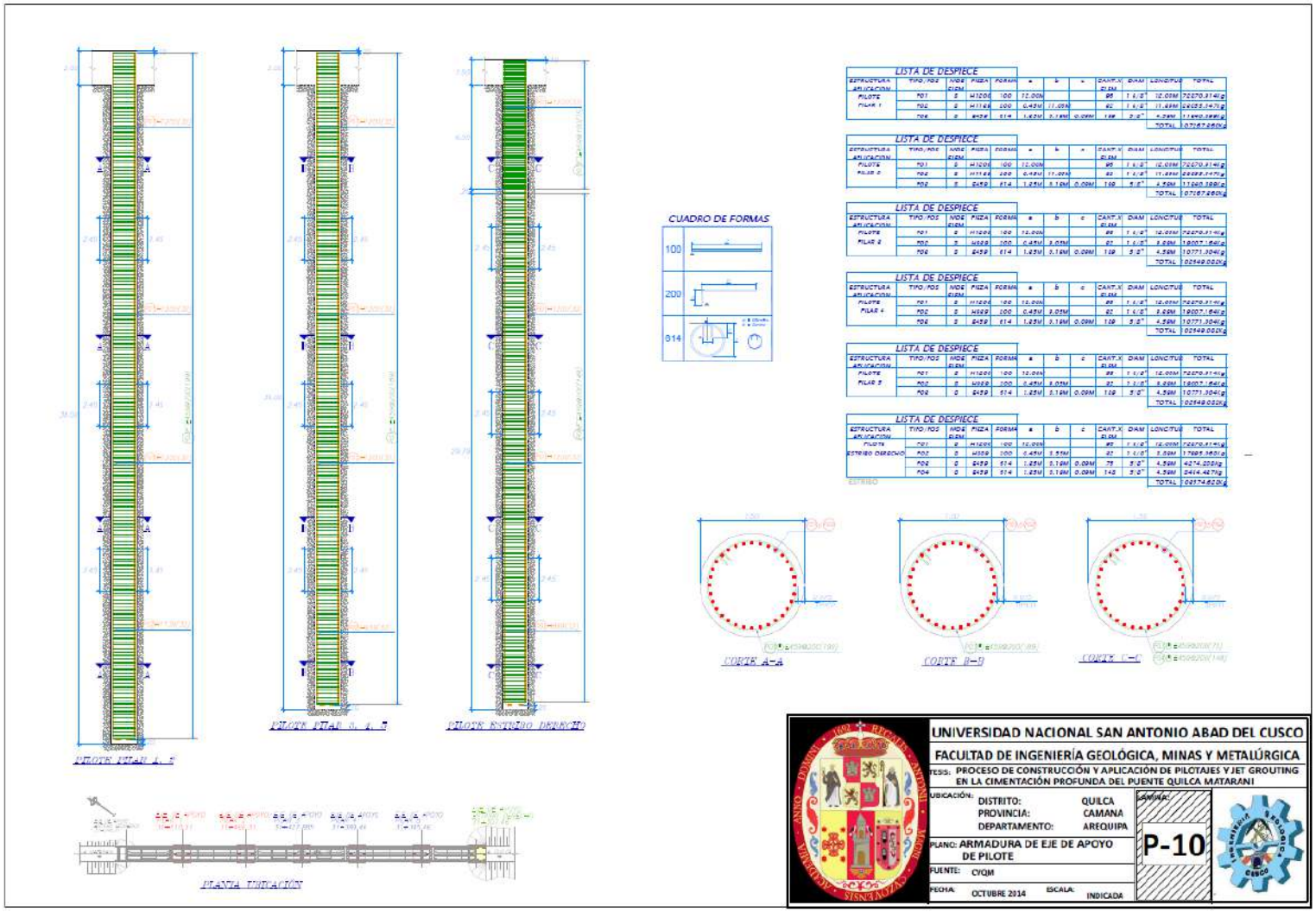
FOTO N° 67 Habilitación de acero circular horizontal 5/8"

Foto N°:68

FOTO N° 68 Habilitación de Acero.

Foto N°:69

FOTO N° 69 Traslado de habilitado de acero de pitoles; en cama baja.


CUADRO DE FORMAS
100
200
914
LISTA DE DESPIECE
CORTE A-A
CORTE B-B
CORTE C-C
PLANTA UBICACION
UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA GEOLÓGICA, MINAS Y METALÚRGICA
TESIS: PROCESO DE CONSTRUCCIÓN Y APLICACIÓN DE PILOTAJES Y JET GROUTING EN LA CIMENTACIÓN PROFUNDA DEL PUENTE QUILCA MATARANI
UBICACIÓN:
DISTRITO: QUILCA
PROVINCIA: CAMANA
DEPARTAMENTO: AREQUIPA
PLANO: ARMADURA DE EJE DE APOYO DE PILOTE
FUENTE: CVQM
FECHA: OCTUBRE 2014
ESCALA: INDICADA
P-10

7.11 Procedimiento de Instalación de estructura

- *Con la liberación de la verificación de topografía de la perforación y la liberación del montaje de la estructura, se procederá a la instalación de la estructura de acero mediante izaje, con el apoyo de la Grúa y verificando la centralización y verticalidad de la misma en la boca del pilote. El izaje se realizará con apoyo de una grúa el izado de la estructura se realizará del extremo de la estructura, el cual contara con dos asas de Izaje que se encuentran conectados al aro de rigidez superior y a dos aceros longitudinales, ubicadas diametralmente opuestas según planos y con el apoyo del winche auxiliar de la grúa para su verticalización.*
- *La distancia de posicionamiento de la grúa con referencia a la boca del pozo no debe ser mayor a 5 m (como se muestra foto N°63).*
- *La estructura que será instalada con el apoyo de una grúa, se introducirá al interior del pilote hasta una profundidad necesaria, dejando expuesto la parte superior de la estructura una longitud aproximada de 2.45 m, la estructura será suspendido apoyado en vigas de acero que atravesará la estructura de acero a nivel de boca del pilote apoyados en el casing de perforación u oscilador, se realizara esta maniobra con la finalidad de dejar suspendida en el pozo el primer tramo de la estructura y liberar a la grúa para realizar siguiente maniobra para instalar el segundo tramo en suspensión y se proceda a realizar el empalme por los operarios fierreros del Cliente, para lo cual el Cliente tiene que prever una plataforma para que sus operadores puedan trabajar en forma segura sea esta un andamiaje o un man lift.*

- *Una vez asegurado el empalme de los tramos se levantará un poco la estructura con apoyo de una grúa, para poder sacar las vigas que se utilizó para la suspensión de la estructura y se baja el gancho del winche principal de la grúa para continuar con la instalación de la estructura. Se repite el proceso hasta la instalación de todos los tramos de la estructura. Finalmente, una vez ya sacada las vigas se continuará con el izaje de la estructura hasta la profundidad que se indica en los planos y se retiran los aparejos.*
- *Los accesorios de izaje serán (eslingas, estrobos, "vientos", grilletes, etc.);*
- *Al finalizar la instalación se verificará que la longitud de la estructura sea la indicada en las especificaciones y planos mediante control topográfico y se incorporará al Protocolo de Instalación de armadura.*

FOTO N° 70 Proceso de instalación del cuerpo de la estructura de acero habilitado del pilote

FOTO N° 71 Proceso de instalación del cuerpo de la estructura de acero habilitado del pilote, mediante grúa Giat de 20 Tn, y equipo de perforación Bauer

7.12 Vertido de Concreto

- *El concreto que se empleará tendrá una resistencia a la compresión simple de f'c= 350 Kg/cm y será de un slump mayor a 8" en boca de pozo, cuya dosificación y requerimientos estará de acuerdo al diseño de mezcla y las condiciones de obra de responsabilidad del Cliente;*
- *La mezcla del concreto se realizará en planta y será transportado en camión mezclador (mixer).*
- *El control de la trabajabilidad del concreto puesto en obra y la toma de muestras para ser ensayadas a compresión en laboratorio del proyecto.*

- *Se destaca que las plataformas deberán ser acondicionadas para el tránsito y maniobras del camión mixer, camión bomba de concreto con pluma, grúa, plataforma, equipo Bauer BG24H y otros equipos. Así mismo, que tenga los accesos adecuados para los vehículos y equipos, en especial del equipo perforadora a nivel de anchos y pendientes;*
- *El vertido del concreto se realizará del camión mixer y con apoyo de camión bomba de concreto con pluma, a través del tubo tremie instalado hasta el fondo de la excavación, considerando que el camión mixer no podrá acceder a la boca del pilote, se verterá el concreto con la ayuda de una bomba de concreto de capacidad de 40 m^3/h.*
- *El vertido de concreto se hará de manera continua de tal manera que no se genere juntas frías en las estructuras de pilotes;*
- *El pedido de suministro de concreto se hace por escrito por Representantes de Geotécnica y el Consorcio. Previa a la hora programada, se confirma y coordina el despacho de los camiones mixer considerando el tiempo de fragua de concreto.*
- *El retiro del revestimiento o casing se efectuará con la ayuda del oscilador y del casing driver del equipo de pilotaje, posterior al vertido del concreto;*
- *Cuando se observe que el concreto vertido, rebosa por la boca del pilote y se encuentre limpio, se dará por culminado el vertido del concreto y recién se terminará el proceso de retiro del casing;*
- *Luego del vertido, se procederá al curado de la cara superior de la cabeza del pilote, para lo cual se pondrá arroceras de arena y se mantendrá húmeda el área*

expuesta a la intemperie durante los 7 días posteriores a la fecha del vertido y/o aditivos curadores de concreto de responsabilidad del Consorcio.

Foto N°:72

FOTOS N° 72 y N° 73 Proceso de Vertido de concreto auto compactante f'c= 350 Kg/cm; mediante equipos mecánicos; mixer y bomba de concreto

Foto N°:73

Tabla N° 66: Liberación de vertido de concreto

Fecha vertida	Registro	Código de Pilote	Hora inicio	Hora fin	Horas efectivas	Vertido m3	Longitud m.
06/09/14	002	P2-8	14.37	22.00	7.38	80.50	40.94
08/09/14	003	P2-3	14.04	20.58	6.90	79.00	40.95
13/09/14	004	P2-6	11.58	17.30	5.53	77.00	40.99
15/09/14	005	P2-5	11.30	23.30	12.00	82.50	40.80
17/09/14	006	P2-2	8.05	16.12	8.12	87.00	41.15
19/09/14	007	P2-4	1.50	8.30	6.67	84.00	41.60
20/09/14	008	P2-1	16.30	23.30	7.00	80.00	41.60
22/09/14	009	P2-7	14.50	23.00	8.17	88.00	41.15
26/09/14	010	ED-8	22.00	5.48	7.80	77.00	38.80
27/09/14	011	ED-3	10.20	15.50	5.50	66.00	38.30
28/09/14	012	ED-6	20.45	5.00	8.25	74.00	39.05
30/09/14	013	ED-5	11.30	15.15	3.75	69.00	38.75
01/10/14	014	ED-1	17.40	0.07	6.45	69.00	38.78
05/10/14	016	ED-2	2.07	8.30	6.38	71.00	38.59
06/10/14	017	ED-4	9.25	15.30	6.08	70.50	38.64
07/10/14	018	P5-8	17.15	23.12	5.95	75.00	39.20
08/10/14	019	P5-3	19.54	2.00	6.10	76.00	38.91
09/10/14	020	P5-6	23.23	4.00	4.62	74.00	39.23
10/10/14	021	P5-5	23.40	4.45	5.08	73.00	39.22
12/10/14	022	P5-1	0.52	6.30	5.63	77.00	39.21
14/10/14	023	P5-7	20.40	2.00	5.33	79.00	39.53
15/10/14	024	P5-2	3.20	8.20	5.00	74.00	39.61
16/10/14	025	P5-4	7.45	13.37	5.87	76.00	39.65
17/10/14	026	P4-2	8.44	14.15	5.52	72.00	39.15
18/10/14	027	P3-7	9.10	15.40	6.50	72.00	39.10
19/10/14	028	P4-3	9.17	15.18	6.02	70.00	39.25
20/10/14	029	P4-1	9.08	14.34	5.43	68.50	39.20
23/10/14	030	P4-8	8.10	15.10	7.00	83.00	39.40
24/10/14	031	P4-6	9.35	15.15	5.67	69.00	39.40
27/10/14	032	P4-5	12.20	18.00	5.67	70.00	39.20
28/10/14	033	P4-4	14.20	21.00	6.67	81.00	39.50
29/10/14	034	P4-7	17.27	22.40	5.22	74.00	39.45
30/10/14	035	ED-7A	15.42	21.43	6.02	76.00	38.75
31/10/14	036	P1-3A	19.05	23.03	3.97	52.00	29.60
01/11/14	037	P1-1	13.50	16.53	3.05	45.00	25.60
03/11/14	038	P1-8	0.10	3.51	3.68	51.50	27.85
04/11/14	039	P1-2	4.48	7.46	2.97	44.50	25.00
05/11/14	040	P1-6	4.03	7.36	3.55	60.00	32.00
06/11/14	041	P1-5	4.04	6.45	2.68	45.00	26.00
07/11/14	042	P1-4	2.01	5.12	3.18	48.50	28.06
08/11/14	043	P1-7	18.47	23.00	4.22	56.50	31.05
10/11/14	044	P3-8	19.17	0.40	5.38	81.00	39.23
10/11/14	045	P3-6	17.46	23.00	5.23	73.50	39.13
11/11/14	046	P3-3	18.20	23.50	5.50	80.00	39.26
12/11/14	047	P3-4	20.01	1.20	5.32	78.50	39.10
14/11/14	048	P3-5	0.20	7.00	6.67	79.00	39.30
17/11/14	049	P3-1	14.47	20.59	6.20	78.50	39.05
18/11/14	050	P3-2	17.36	22.10	4.57	70.00	39.25
Totales					275.43	3437.50	1806.53

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

7.13 Levantamiento Topográfico Post Construcción

- *El levantamiento topográfico Post - Construcción después de haber vertido el concreto en el taladro, haber curado la cabeza del pilote por lo menos 3 días después.*

- *Se realiza con la finalidad de verificar las coordenadas de la cabeza del pilote a nivel de fondo de zapata y verificar la cabeza del pilote las desviaciones del plano perpendicular al eje del pilote post - construcción, el cual deberá cumplir con la tolerancia descrita según la Norma, ACSE 20-96: Standard Guidelines for the Design and Installation of Pile Fundations.*

7.14 Procedimiento de Descabezado

- *Para iniciar los trabajos de descabezado de pilote se preparará la zona de trabajo, limitación y señalización de la obra y posicionamiento de los equipos. Para el descabezado se requiere la autorización por parte de la supervisión.*
- *Una vez obtenida la autorización por parte de la supervisión, en el frente de trabajo y previo al inicio de los trabajos se deberá llenar el formato de AST (Análisis de Seguridad en el Trabajo), el cual se debe realizar con la participación de todos los involucrados en la tarea.*
- *Antes de comenzar los trabajos, se deberá ejecutar la señalización preventiva, reguladora e informativa en la zona de trabajo.*
- *Determinar el grosor y la ubicación de las barras de acero para ubicar los lugares a perforar con la finalidad de lograr una fractura en forma horizontal.*

Se deberá llenar verazmente el pre-uso de cada equipo por su respectivo operador.

- *Liberación del acero*
- *Realizar el agujero con perforación diamantina o con barreno en el diámetro y a la profundidad requerida para la instalación del equipo hidráulico. La cantidad de perforaciones se determinará en campo.*
- *Introducir el equipo hidráulico de fractura dentro del agujero.*
- *Colocar el equipo en posición para direccionar la fractura.*
- *Iniciar el equipo hidráulico para producir una fractura rápida, sin producir ondas de choques, vibraciones, polvo o ruido.*
- *Producida la fractura, proceder a retroceder las cuñas y poner el equipo en neutro.*
- *Proceder a colocar cuñas en los espacios fracturados para evitar que se cierre.*
- *Proceder a retirar el quebrantador del cabezal.*
- *Repetir el procedimiento en el siguiente cabezal.*
- *Una vez quebrado todos los cabezales de la zapata se procederá al retiro de los equipos y del personal de la zona de trabajo e ingresará el personal capacitado para el izaje de los cabezales fracturados.*
- *Al finalizar la jornada laboral todos los equipos quedarán señalizados con sus respectivos conos de seguridad.*

FOTOS N° 74 Proceso de descabezado de pilote armado.

FOTOS N° 75 Proceso de descabezado de pilote armado; recubrimiento embebido con PVC al acero diámetro de acero $1^{3}/_{8}$".

Foto N°:76

FOTO N° 76 Perforación Horizontal de Pilote

Foto N°:77

FOTO N° 77 Rotura Horizontal de Pilote

Foto N°:78

FOTO N° 78 Izaje Vertical de Pilote

Foto N°:79

FOTO N° 79 Descabezado de Pilote

FOTOS N° 80 Plataforma de área 144m2; con pilotes liberados en sus descabezados.

Foto N°80

7.15 Prueba de Integridad de Pilotes de 1500 mm (PIT)

Ensayo de Prueba

- *Los ensayos de prueba de integridad de pilote (PIT), pueden ser aplicados a pilotes de concreto perforado, vaciado en sitio, con o sin revestimiento, entre otros. Entre las ventanas del PIT se encuentran la facilidad en la habilitación del pilote para la prueba y la rapidez en la ejecución de la prueba.*

- *La prueba de integridad es no concluyente, y dependiendo del caso, puede requerir ensayos complementarios; por las características del puente Quilca los parámetros se asumirán con una amplitud hasta de 0.90cm/s a 1.00 cm/s conforme al número de vibraciones captada por el acelerómetro.*

Actividades Preliminares

- *Proporcionar el listado o relación de pilotes a ensayar, mínimo ocho (08) unidades con un tiempo de anticipación de una semana.*
- *Preparar la superficie de golpeo, retirando el concreto superficial (Descabezado) y puliendo mecánicamente la superficie, hasta dejar el área lisa y limpia (libre de escombros, agua, suciedad, entre otros). La superficie debe proporcionar espacio suficiente para fijar el dispositivo de detección y tener una zona libre para el impacto del martillo.*
- *El ensayo se debe realizar en pilotes que han alcanzado su resistencia de diseño, quedando esto bajo el criterio del consorcio y con el nivel freático abatido durante la ejecución de las pruebas.*

Ubicación de los Puntos Específicos en el Pilote

- *Luego de realizada la limpieza se determina y se marca los puntos de impacto (A B C D) en el pilote y se procede a efectuar los impactos.*

Ejecución del Ensayo

- *Una vez que se ubican los puntos y se instala el acelerómetro, se impacta el martillo sobre el punto marcado. La onda de compresión producida por el impacto del martillo viaja desde la cabeza del pilote y es reflejada nuevamente a la parte superior, la onda de llegada es captada por un censor que permite que sea almacenada para su posterior procesamiento. Es necesario repetir la operación (golpe de martillo y detección) las veces que sea necesario, hasta conseguir una buena lectura, libre de interferencia de ruido y vibraciones producidas en el entorno.*

Foto N°:81

FOTO N° 81 Limpieza de descabezado de Pilotes

Foto N°:82

FOTO N° 82 Limpieza de los 04 puntos

Foto N°:83

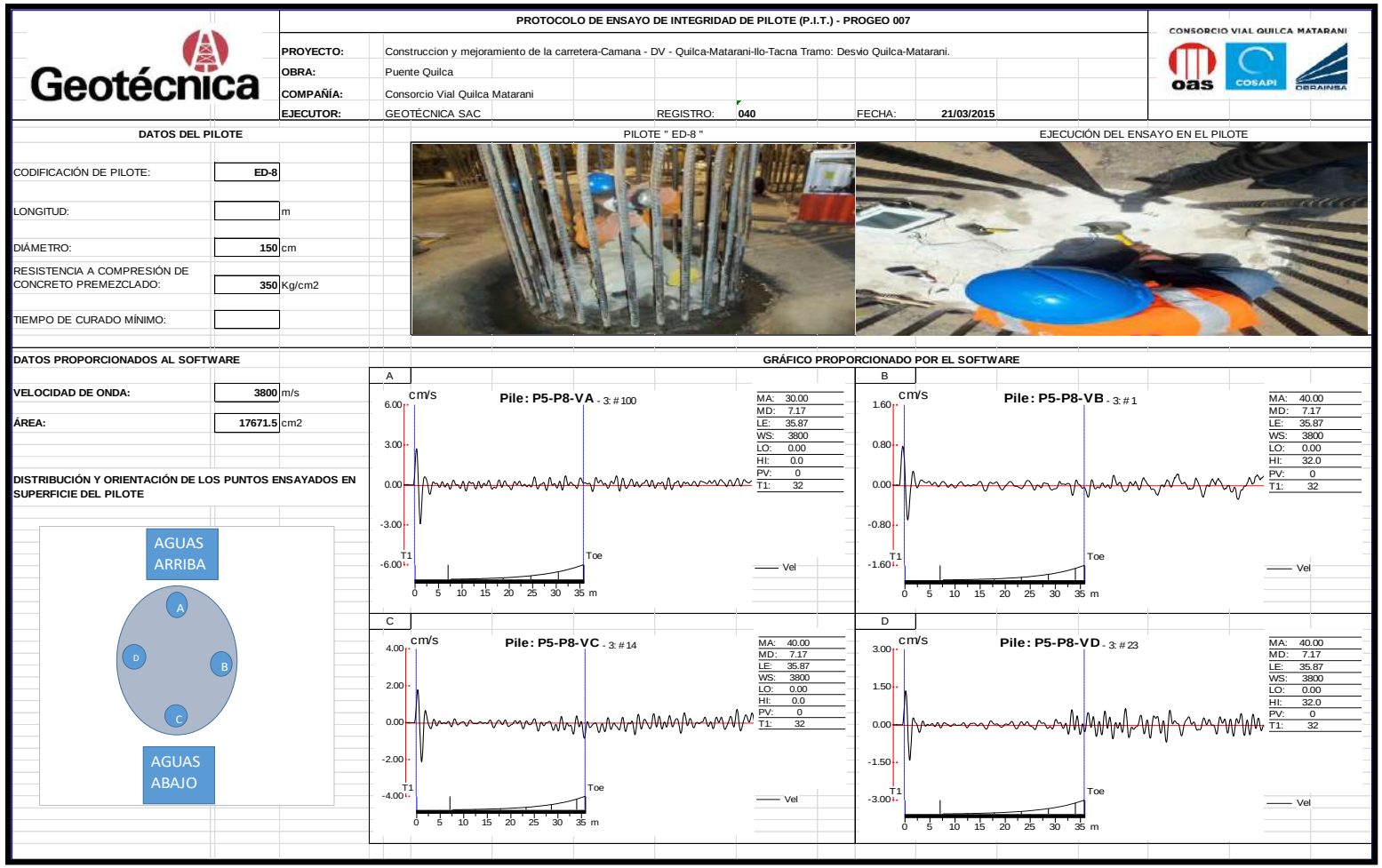
FOTO N° 83 Puntos enumerados para la prueba de Integridad

Foto N°:84

FOTO N° 84 Realización de la Prueba de Integridad

Figura N° 29 y N° 30 Protocolos de ensayo de integridad de pilote.

Figura N° 29 y N° 30 Protocolos de ensayo de integridad de pilote.



Geotécnica

PROTOCOLO DE ENSAYO DE INTEGRIDAD DE PILOTE (P.I.T.) - PROGEO 007

CONSORCIO VIAL QUILCA MATARANI — oas · COSAPI · OBRAINSA

PROYECTO:	Construccion y mejoramiento de la carretera-Camana - DV - Quilca-Matarani-Ilo-Tacna Tramo: Desvio Quilca-Matarani.
OBRA:	Puente Quilca
COMPAÑÍA:	Consorcio Vial Quilca Matarani
EJECUTOR:	GEOTÉCNICA SAC — REGISTRO: 040 — FECHA: 21/03/2015

DATOS DEL PILOTE

CODIFICACIÓN DE PILOTE:	ED-8	
LONGITUD:		m
DIÁMETRO:	150	cm
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO:	350	Kg/cm2
TIEMPO DE CURADO MÍNIMO:		

PILOTE " ED-8 "

EJECUCIÓN DEL ENSAYO EN EL PILOTE

DATOS PROPORCIONADOS AL SOFTWARE

VELOCIDAD DE ONDA:	3800	m/s
ÁREA:	17671.5	cm2

DISTRIBUCIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PUNTOS ENSAYADOS EN SUPERFICIE DEL PILOTE

GRÁFICO PROPORCIONADO POR EL SOFTWARE

Fuente: Consorcio Vial Quilca Matarani.

PROTOCOLO DE ENSAYO DE INTEGRIDAD DE PILOTE (P.I.T.) - PROGEO 007

Geotécnica

CONSORCIO VIAL QUILCA MATARANI

PROYECTO:	Construccion y mejoramiento de la carretera-Camana - DV - Quilca-Matarani-Ilo-Tacna Tramo: Desvio Quilca-Matarani.				
OBRA:	Puente Quilca				
COMPAÑÍA:	Consorcio Vial Quilca Matarani				
EJECUTOR:	GEOTÉCNICA SAC	REGISTRO:	**033**	FECHA:	**21/03/2015**

DATOS DEL PILOTE

CODIFICACIÓN DE PILOTE:	**ED-1**	
LONGITUD:		m
DIÁMETRO:	**150**	cm
RESISTENCIA A COMPRESIÓN DE CONCRETO PREMEZCLADO:	**350**	Kg/cm2
TIEMPO DE CURADO MÍNIMO:		

PILOTE " ED-1 "

EJECUCIÓN DEL ENSAYO EN EL PILOTE

DATOS PROPORCIONADOS AL SOFTWARE

VELOCIDAD DE ONDA:	**3800**	m/s
ÁREA:	**17671.5**	cm2

DISTRIBUCIÓN Y ORIENTACIÓN DE LOS PUNTOS ENSAYADOS EN SUPERFICIE DEL PILOTE

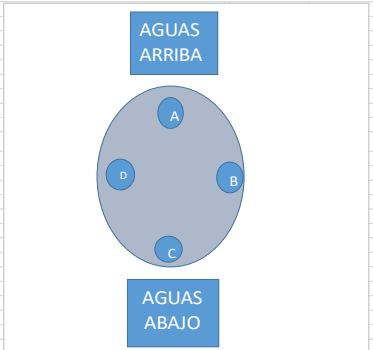
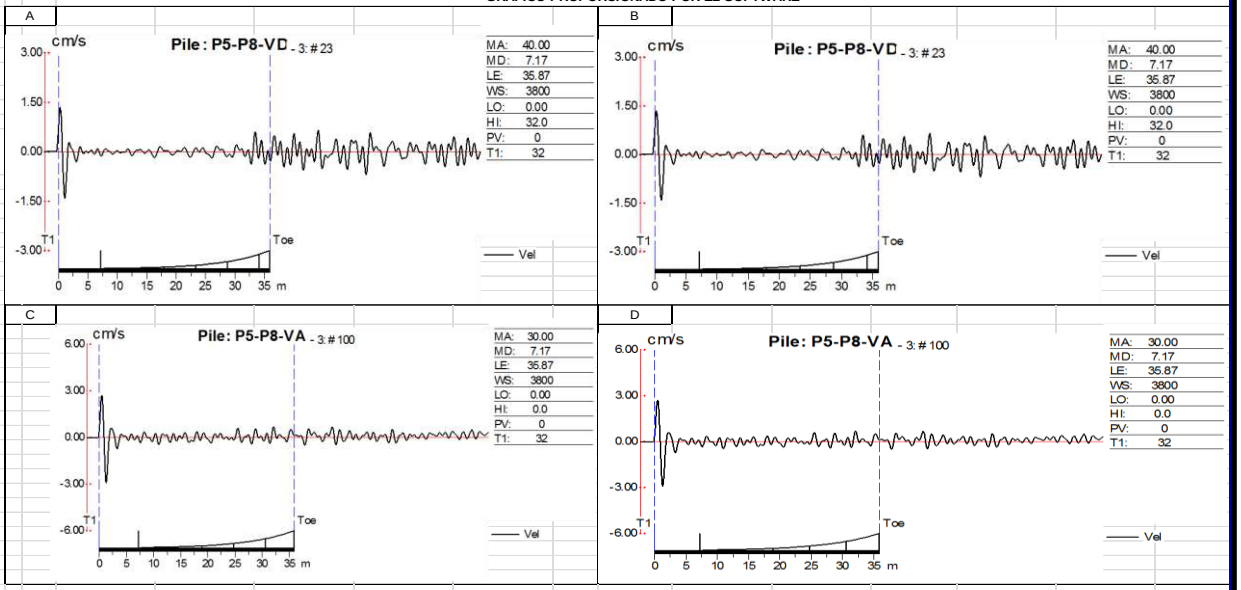


GRÁFICO PROPORCIONADO POR EL SOFTWARE



Responsable de ensayo:

Fuente: Consorcio Vial Quilca Matarani.

Tabla N°67, Resumen de ensayos de integridad de pilote.

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

PILOTE	INTERPRETACION
ED-1	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-2	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-3	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-4	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-5	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-6	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-7A	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.
ED-8	Pilote bueno, sin daño aparente (sin anomalías significativas, elemento mantiene uniformidad). Se muestra respuesta en la punta.

VIII. CAPITULO VIII:

INYECCIÓN JET GROUTING

8.1 Generalidades

- *El presente trabajo refiere a la realización del tratamiento de mejora del terreno mediante Jet Grouting entre los pilotes previstos para la cimentación del puente sobre el Río Quilca. El objetivo tiene como finalidad detallar los métodos y procedimientos para la ejecución del tratamiento de la cimentación del Puente Quilca.*
- *La metodología para las inyecciones será "Inyección Ascendente", para lo cual se a tenido en cuenta la documentación correspondiente al Proyecto de Subestructura: Diseño geotécnico de cimentaciones del puente sobre el río Quilca.*

8.2 Perfil Geotécnico

- *En el emplazamiento de la obra se ha efectuado un extenso reconocimiento geotécnico entre los años 2009 y 2014, contando con la realización de las siguientes campañas:*
- *Campaña de sondeos del proyecto original, de la fecha 2009*
- *Campaña de sondeos complementaria fase 1, de fecha agosto – setiembre 2013*
- *Campaña de sondeo complementaria fase 2, de fecha diciembre 2013 – enero 2014*
- *Según la información geotécnica recopilada, el perfil del suelo en la zona de ejecución de la mejora del terreno mediante el jet Grouting consiste en una unidad general, denominada "Sedimentos aluviales y derrubio de ladera", en la cual se pueden encontrar los siguientes materiales:*

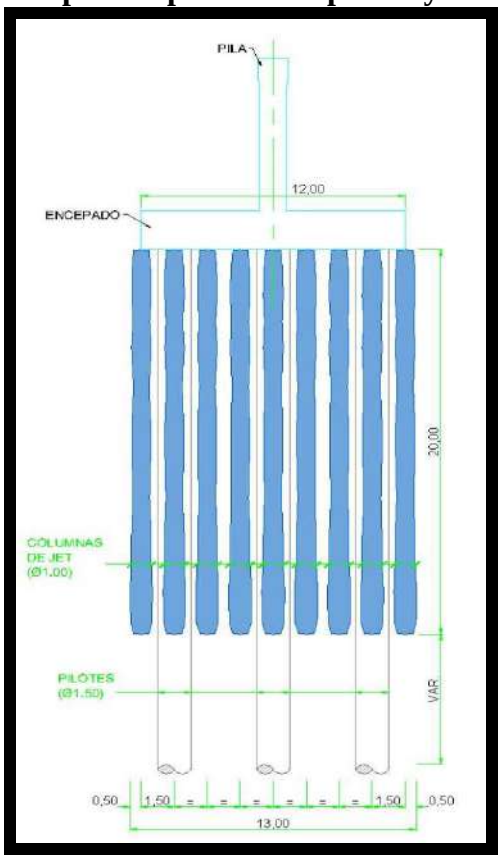
- *Arenas: Las arenas representan el material predominante localizado en las columnas de los sondajes perforados. Este material puede presentar cerca de 65% del material analizado. Se trata de arenas de todas las granulometrías, de colores oscuros. En los primeros 20,00 m, correspondientes a la zona prevista para el tratamiento del terreno, este nivel presenta un nivel de golpeo de entre 5 y 25 golpes en los ensayos de SPT. Se ha observado que en la margen izquierda del valle (lado Matarani) los golpeos de los ensayos SPT aumentan significativamente con la profundidad.*
- *Gravas: Las gravas representan aproximadamente el 25% del material perforado en los sondajes. Este material se ha encontrado en los sondajes SC-13 y SC-12 a partir de 50,00 m. de profundidad y en pequeños niveles de entre 0,5 y 2,00 m. distribuido a lo largo de todo el valle, desde la superficie hasta una profundidad de entre 8,00 y 10,00 m. Estas gravas son de naturalezas gnéisicas.*
- *Limos: Los materiales más finos no aparecen en una zona específica del valle. Se localiza en la zona superficial, en el entorno de 1,00 y 2,00 m. de profundidad. Los golpeos de los ensayos SPT obtenidos en estas capas han sido siempre bajos, de entre 5 y 10 golpes en los ensayos de SPT.*

8.3 Geometría General

- *La geometría de la sección tipo de la cimentación de las 5 pilas y del estribo derecho del puente sobre el río Quilca, se puede ver en la Figura 3, donde también se muestra la disposición de los pilotes y las columnas de Jet Grouting contemplados en el Proyecto.*
- *Las dimensiones de los encepados donde apoyarán las 5 pilas y el estribo derecho tienen unas dimensiones en planta de 12,00 m. de ancho y 12,00 m. de*

largo. Bajo dicho encepado el Proyecto contempla la ejecución de 8 pilotes de 1,50 m. de diámetro y 64 columnas de jet Grouting de diámetro variable entre 0,8 y 1,20 m.

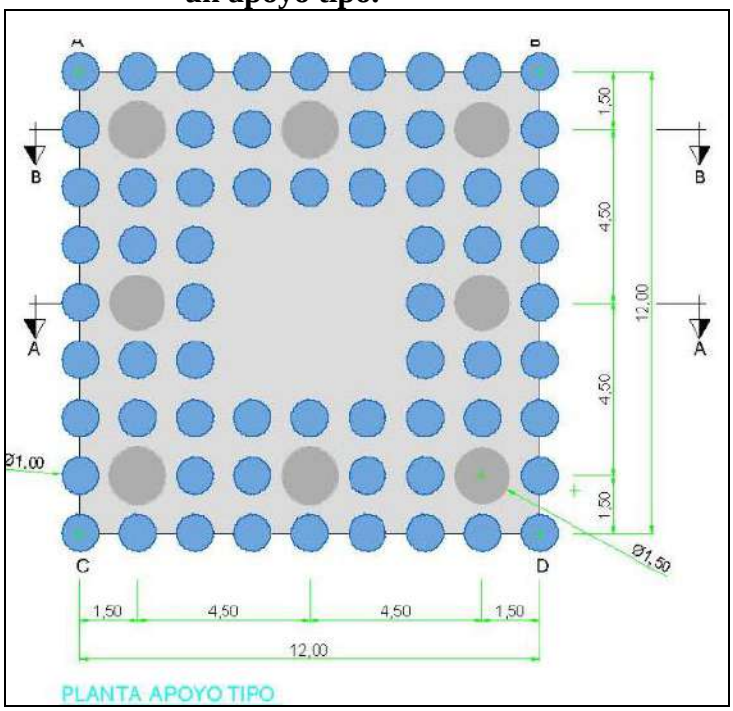
Figura N° 31; Sección tipo – disposición de pilotes y Jet Grouting.



Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

En la figura N° 32 se muestra la distribución en planta de las columnas de Jet Grouting en el color azul y en el color gris los pilotes a ejecutar bajo las 5 pilas y el estribo derecho del puente sobre el río Quilca.

Figura N°32; Distribución en planta de pilotes (gris) y columnas de Jet Grouting (azul) en un apoyo tipo.



Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

8.4 Antecedentes y definición de las inyecciones Jet Grouting como procedimiento constructivo

- *El Jet-Grouting es una técnica de alta presión para desagregación del suelo o de roca poco compacta, mezclándolo y sustituyéndolo por cemento, así se van llenado huecos y discontinuidades.*
- *Básicamente se expulsan chorros de lechada de cemento (grout) a través de unas toberas a velocidades muy altas, logrando así la rotura del terreno y su íntima mezcla con el mismo.*

  Primera Fase: *Perforación*

  Se ejecuta a destrozar hasta conseguir la profundidad máxima. Este sistema está sometido a la calidad del material a atravesar, por lo general será a rotación con tri cono o trialeta para suelos y rocas blandas y roto percusión con martillo en cabeza para gravas y rocas duras.

Por encima de la herramienta inferior de corte, se ubica una válvula especial de eyección que está compuesta por una o más toberas ortogonales al eje del varillaje.

Segunda Fase: *Extracción con Inyección Simultanea*

A medida que va subiendo a velocidades preestablecidas, se va extrayendo el varillaje inyectado.

Como resultado se obtiene una columna de terreno cementado en cada punto sometido a tratamiento, cuyas dimensiones y resistencia se encuentran en función del tiempo insumido en variar los chorros de inyección, variando velocidades de extracción y rotación del varillaje, como también la dosificación y presión de la mezcla inyectada en el terreno.

8.5 Campo de Prueba

8.5.1 Consideraciones Generales

- *Campo de pruebas representa una serie de actividades previas al inicio de la realización de los trabajos de la ejecución de las obras generales, con el fin de ajustar los parámetros de ejecución de jet Grouting a la geometría y a las calidades que marca el Proyecto.*

  El campo se ejecutará en zonas suficientemente representativas teniendo en cuenta los terrenos que serán tratados en las obras generales.

  La ubicación exacta del campo de pruebas a ejecutar se definirá junto con los técnicos e ingenieros supervisores y/o Dirección de Obra.

  Durante la realización de las pruebas se verificarán los siguientes parámetros:

- *Parámetros de ejecución de las columnas de jet Grouting.*

- *Geometría de la columna. Verificación del diámetro.*
- *Calidad de la columna:*
- *Análisis de muestras intactas de columnas y de resurgencia.*
- *Ejecución de sondeos.*

Las 6 columnas de prueba alcanzarán las mismas longitudes previstas para las columnas a ejecutar en proyecto, la cual es de 20,00 m.

De cara a la verificación los resultados obtenidos en el campo de pruebas a continuación definen los métodos que permitirán determinar tanto la geometría (diámetro) como continuidad y resistencia del terreno mejorado.

Foto N° 85 y N° 86; Columnas de prueba excavadas

Durante los trabajos de perforación en el campo de pruebas, se comprobará la estratigrafía del terreno natural y se informarán a los técnicos del cuerpo de Ingenieros supervisores y/o Dirección del Obra de cualquier discrepancia detectada respecto a los datos considerados en el Proyecto y determinar si fuera necesario una nueva ubicación del campo de pruebas.

8.6 Ubicación del Campo de Prueba

La propuesta de la ubicación del campo de prueba se ha realizado teniendo en cuenta las características y el perfil del terreno natural, formando fundamentalmente por arenas homogéneamente distribuidas en toda la zona objeto de mejora de suelo.

Además, se ha tenido en cuenta la amplia experiencia de Keller Cimentaciones, S.L.U especialista en dos zonas representativas del emplazamiento del puente, en las cuales ejecutaríamos tres columnas en cada una de ellas (en total 6 columnas de prueba).

Proponemos la ejecución de 3 columnas de prueba próximos a la Pila 1, ensayos cercanos (PL-5, SC-11 y SC-7), y las 3 columnas restantes próxima al estribo derecho, ensayos cercanos (E-1, SC-13), donde el perfil geotécnico del terreno muestra los tres tipos de terreno que aparecerán a lo largo del perfil longitudinal que abarca los 5 pilas y el estribo derecho.

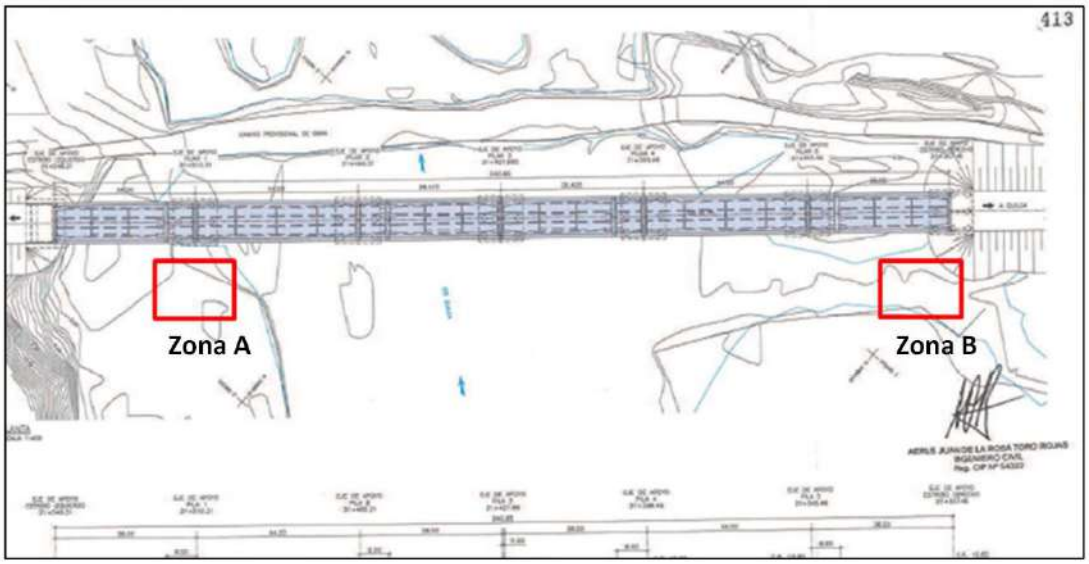
Ejecutar el campo de pruebas en dos zonas nos permitirá contrastar los parámetros de ejecución y los resultados obtenidos entre las columnas ejecutadas en una misma zona. De esta manera, se podrá afinar el tratamiento y consecuentemente obtener un resultado óptimo y de mayor fiabilidad y calidad.

Tal y como se ha indicado anteriormente el campo de prueba supone la realización de 6 columnas, formando dos zonas. El campo de prueba A qué consistirá en la ejecución de 3 columnas de Jet Grouting – de diámetro de entre 0,80 y 1,20 (diámetro medio de 1,00 m), en las proximidades de la Pila 1. El campo de prueba B, consistirá en la ejecución de 3 columnas de diámetro de

entre 0,80 y 1,20 m (diámetro medio de 1,00 m) en la zona correspondiente al Estribo derecho y la Pila 5.

La distribución de columnas de prueba tanto en el campo de Prueba A como en el campo de prueba B se determinarán junto al cuerpo de ingenieros supervisores. En la figura 13 se puede ver las dos zonas en la cual proponemos la ejecución del campo de prueba.

Figura N°33; Campo de Prueba zonas A y B.



Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

Es importante resaltar que no sería recomendable realizar las columnas de prueba exactamente en el emplazamiento previsto para la construcción de los encepados donde apoyaran las pilas y estribo del puente sobre el río Quilca, para no limitar el posible control y la excavación la parte superior de la columna y con ello la oportunidad de realizar una comprobación visual de la columna de Jet.

Las 6 columnas de prueba alcanzarán la misma longitud prevista para las columnas a ejecutar en proyecto, la cual es de 20,00 m.

De cara a la verificación los resultados obtenidos en el campo de prueba a continuación se definen los métodos que permitirán determinar tanto la geometría (diámetro) como la continuidad del terreno mejorado.

8.6.1 Geometría de la Columna Verificación del Diámetro

Uno de los objetivos principales de cualquier campo de prueba de jet Grouting supone la verificación del diámetro de una columna. En este caso particular, proponemos la comprobación del diámetro mediante excavación, que permitirá una observación y control visual y mediante sondajes inclinados tal y como está previsto en el Proyecto.

Aunque la comprobación visual y la excavación de las columnas de prueba será limitada por la presencia del nivel freático superficial, consideramos oportuno realizar una excavación de aproximadamente 2-3m, que nos permitirá medir directamente el diámetro de una columna de prueba.

Respecto a la realización de sondajes inclinados cabe mencionar la complejidad que supone este tipo de control debido a las posibles variaciones de la inclinación de la perforación y el propio sondaje con extracción continua de testigo. Para reducir este efecto, no recomendamos realización de sondeos a 45° a una profundad de la columna superior a los 5,00 – 6,00 m.

Además del complejo control de inclinación, es muy difícil precisar el punto exacto donde el sondaje atraviesa la columna pudiendo afectar los resultados del análisis. En cualquier caso, consideramos que el control directo mediante la excavación de la parte superior de la columna realización de sondeos inclinados

y el control permanente de parámetros de ejecución permitirán la comprobación de la geometría y la eficiencia del tratamiento previsto.

Foto N°:87

Foto N°:88

Foto N°87 y N°88. Control directo del diámetro de columnas de jet grouting

8.6.2 Características Mecánicas de las Columnas

Para el conocimiento de las bondades del tratamiento realizado, se realizarán una serie de actuaciones encaminadas a determinar las propiedades mecánicas del suelo mejorado, básicamente la resistencia a compresión.

Se prevé por un lado análisis de las muestras intactas de columnas y de resurgencia y por otro lado la realización de sondeos con extracción continua de testigo.

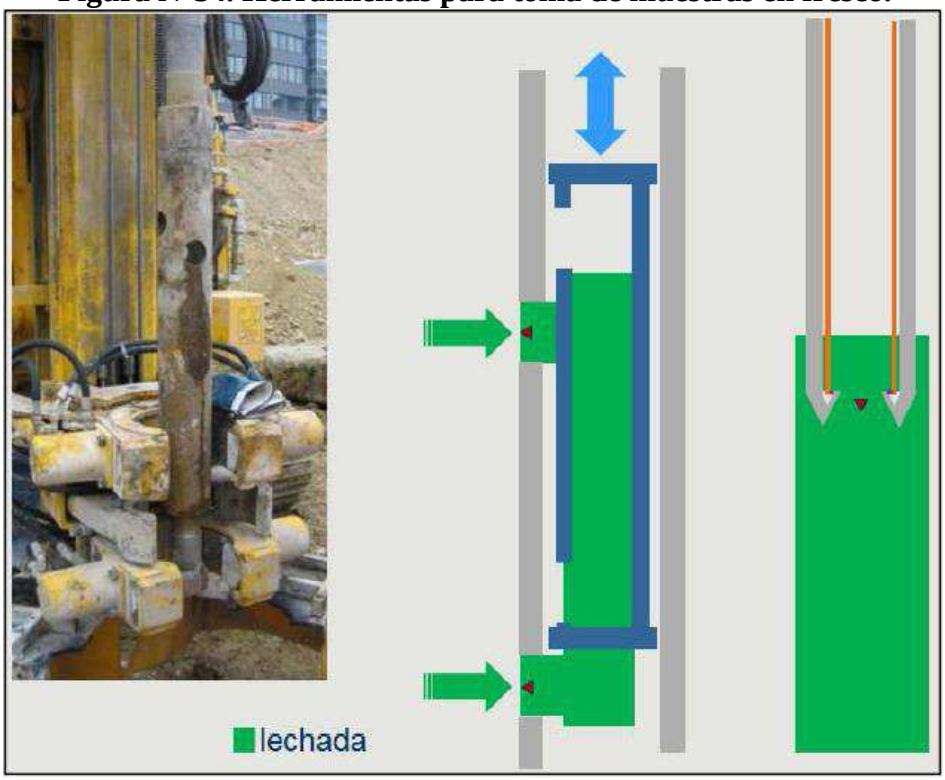
- **Análisis de Muestras Intactas de Columnas y de Resurgencia:**

De cada columna de prueba se realizarán varias tomas de muestras intactas, para verificar la calidad del producto obtenido en la columna. Se tomarán por lo menos dos muestras "frescas" de cada columna y otras 2 de la resurgencia, correspondiente a distintos niveles del terreno tratado, para realizar posteriormente ensayos de resistencia a compresión simple.

De cada muestra fresca se realizarán por lo menos dos ensayos en laboratorios para comprobar la resistencia a compresión simple a 7 y a 28 días.

Para ello se deberán emplear sistemas de "toma – muestras" (figura N° 35) adecuados para los distintos tipos de terrenos a tratar. La boca del sistema de toma muestras en fresco debe disponer del diámetro suficiente, para permitir la entrada del producto resultado de la inyección, acorde con la granulometría del suelo tratado y con el objetivo de representatividad de la muestra

Figura N°34. Herramientas para toma de muestras en fresco.



Fuente: Keller Cimentaciones.

- **Control de continuidad y diámetro mediante sondeos con extracción continua de testigo:**

  Respecto a la realización de los sondeos cabe subrayar que su objetivo principal es comprobar la continuidad del terreno y las propiedades mecánicas del terreno tratado.

  Los sondeos se realizarán según el siguiente procedimiento:

1) *La perforación será realizada con el diámetro mínimo del 122 mm en la zona del terreno tratado mediante jet Grouting. El diámetro inferior a los 122 mm puede generar grandes discontinuidades en el mismo con gran probabilidad de rotura de testigo, especialmente en gravas y arcillas plásticas que favorecen la aparición de nódulos embebidos en el propio tratamiento.*

2) *Maquinaria: se necesita una maquina adecuada sin tipo de holguras.*
3) *El fluido de barrido tendrá el mínimo caudal y presión para evitar las posibles alteraciones de las muestras extraídas.*
4) *Se usará batería doble en la totalidad del sondeo para reducir al mínimo las posibles afectaciones y alteraciones sobre el terreno extraído.*
5) *Se verificará, inicialmente y cada dos metros, la verticalidad del sondeo el varillaje.*
6) *Como boca de perforación se aplicará el diámetro de inserción en zona del tratamiento del jet Grouting.*
7) *La velocidad de perforación ha de ser pequeña para no provocar la rotura no alteración del testigo obtenido.*
8) *La testificación se realizará in situ por persona calificada, marcando las longitudes reales de extracción, discontinuidades, RQD y en general cualquier incidente de mención.*
9) *Se marcará en el parte de perforación a las distintas cotas y cada vez que exista un cambio, el tipo de corona y diámetro, el empleo de fluido de refrigeración o barrido y la dureza en apreciación del maquinista; blando – medio – duro, en función de la precisión de avance.*
10) *Se observará durante la perforación y cada vez que se extraiga el testigo, la variación de cota, entre la cota final y la cota de bajada por gravedad de la sarta de perforación.*
11) *Todos los testigos serán ordenados y guardados en cajas de la sarta de perforación.*

12) *Una vez terminada el sondeo, se determinará la desviación del sondeo respecto al emboquillado para una correcta interpretación del mismo. Dado que se trata de sacar testigos a grandes profundidades las pequeñas desviaciones pueden causar la salida del eje del sondeo de las columnas ejecutadas.*

13) *Una vez terminada el sondeo se procederá a su extracción para evitar en esta zona, futuras entradas de agua.*

14) *El tiempo mínimo que consideramos para proceder a la extracción del testigo, es de 30 días desde la ejecución del Jet de la columna más reciente, no obstante, si se observase que durante el sondeo el Jet no tiene resistencia suficiente habrá que esperar tiempo necesario para sacar muestra representativa.*

15) *Además de la ejecución de sondeos en el eje se deben considerar puntos críticos de las columnas y el velo que se consideren, para que nos indiquen la bonanza del tratamiento como macizo en su conjunto, lo que representa el objetivo principal del tratamiento previsto.*

16) *Factor humano: para realización de sondeos sobre un terreno tratado con jet y jet Grouting se necesita un maquinista experimentado que haya realizado este tipo de sondeos en otras ocasiones, en estratigrafía de alternancia de terrenos que exige de la pericia del maquinista para adaptarse a cada uno de los materiales finalmente obtenidos después del tratamiento.*

17) *Los sondeos se podrán realizar en el terreno tratado a partir de 7 días (1 semana), siempre que se haya comprobado un correcto fraguado en las muestras tomadas en fresco y con el consentimiento de keller cimentaciones.*

18) Hay que tener en cuenta que, dado, que los sondeos con extracción continua pueden alterar el testigo extraído no son muy recomendables para determinar la resistencia a compresión simple del terreno mejorado con jet Grouting. Por ello para verificar la resistencia del terreno tratado recomendamos el análisis de las muestras intactas descrito anteriormente.

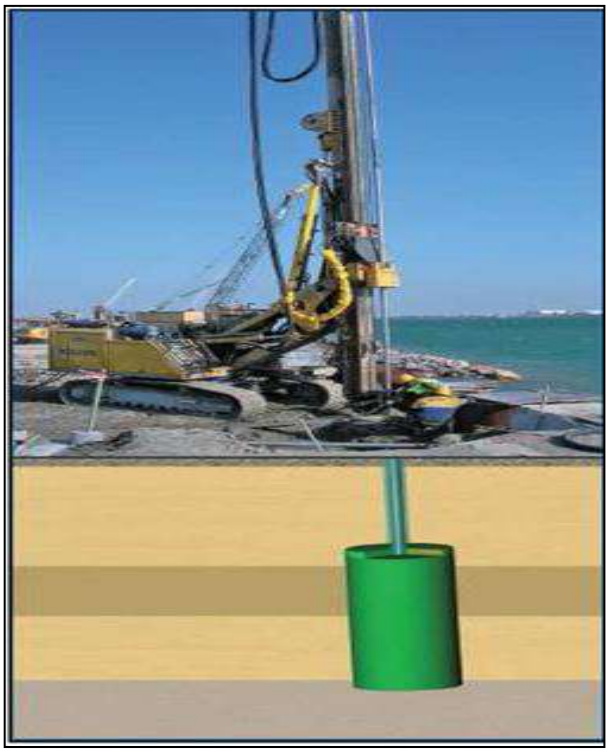
7.1.1 Control de parámetros de ejecución de Jet Grouting

La lechada es preparada en plantas automáticas, especialmente diseñadas para facilitar una mezcla coloidal, con proporciones exactas controladas automáticamente con una producción suficiente (25-30 m3/hora) para ejecutar la inyección de las columnas de jet Grouting de superior tamaño sin que se interrumpa el proceso de ejecución. Un dosificador de cemento permite el control del conglomerado hidráulico mezclado. Además, las plantas estarán dotadas de un "registro continúo informatizado" que permite el control y el almacenamiento informático de los parámetros de fabricación.

La bomba de alta presión tiene la potencia suficiente para garantizar un caudal de lechada entre 300 y 500 v min a una presión continúa entre 300 y 500 bares.

El ordenador VOPI controla automáticamente los movimientos de rotación, extracción de la sarta de perforación y parámetros de inyección (caudal, presión, volumen) ejecutado así los parámetros preestablecidos finalmente en el campo de pruebas.

Figura N°35. Formación de columna de jet grouting



Fuente: Keller Cimentaciones.

Foto N°89. Planta de dosificación de lechada

Durante el proceso de ejecución del tratamiento de jet Grouting, se mantendrá un control exhaustivo de los parámetros de trabajo obtenidos en el campo de pruebas y aprobados por la dirección de Obra.

Foto N° 90. Registro continuo de parámetros de Jet Grouting (VOPI)

Los sistemas de control de los parámetros del Jet grouting, durante la ejecución de la obra y recogidos de forma continua a través de la unidad informática denominada VOPI, situada en el carro de perforación, serán los siguientes:

- **Velocidad de rotación de la sarta:** *El carro de perforación a utilizar en la obra estará equipado con una cabeza de rotación pasante, provista de un sistema automático de medición de las r.p.m. de la sarta mediante sensores que transmiten esta información a un ordenador central (VOPI) en el que se reflejará y quedará registrado este parámetro continuamente. La velocidad de rotación de la sarta, que a parte de las características geométricas garantiza una adecuada calidad del terreno mejorado, se determinara en función de la velocidad de extracción de la sarta y la granulometría del terreno natural que determinara el ancho de la zona erosionada o zona de corte de jet puede variar entre 2 a 4 cm en terrenos puramente cohesivos y hasta 8 a 12 cm en terrenos granulares. Es importante resaltar que en las*

zonas con presencia de materiales puramente cohesivos está previsto realizar un pre corte para erosionar el terreno previamente a la realización del tratamiento con lechada de cemento. Es la manera más adecuada y eficiente para conseguir tanto los diámetros como las calidades previstas en el proyecto constructivo.

- **Velocidad de extracción de la lanza:** *Este parámetro se controla con absoluta precisión mediante la instalación de sensores que reparten al ordenador central (VOPI) situado en la máquina.*
- **Presión de corte / inyección:** *Se controlará automáticamente mediante sensores de presión que reportan al ordenador central (VOPI). Además, verificará in situ, mediante dos manómetros, uno situado en la bomba de alta presión y otro situado en el equipo de perforación, poco antes de la comunicación de la manguera de transporte con la sarta de perforación. En el caso de que el transporte del agua se realice a mucha distancia se produce una pérdida de carga en la instalación, siendo entonces el manómetro de la máquina de perforación el que deberá marcar la presión preestablecida, aunque esto obligue a mayores presiones en la bomba para contrarrestar dichas pérdidas de carga.*
- **Monitor de inyección:** *El monitor de inyección de jet Grouting, dotado de un movimiento programado de rotación y al mismo tiempo de extracción con velocidad constante, permite la realización de la columna de jet Grouting según los parámetros establecidos. La batería del varillaje va dotada de varios conductos internos (toberas) por donde discurre el material de*

inyección. El diseño adecuado del monitor y sus conductos internos permite aumentar la eficiencia del tratamiento.

Foto N°:91

Foto N°:92

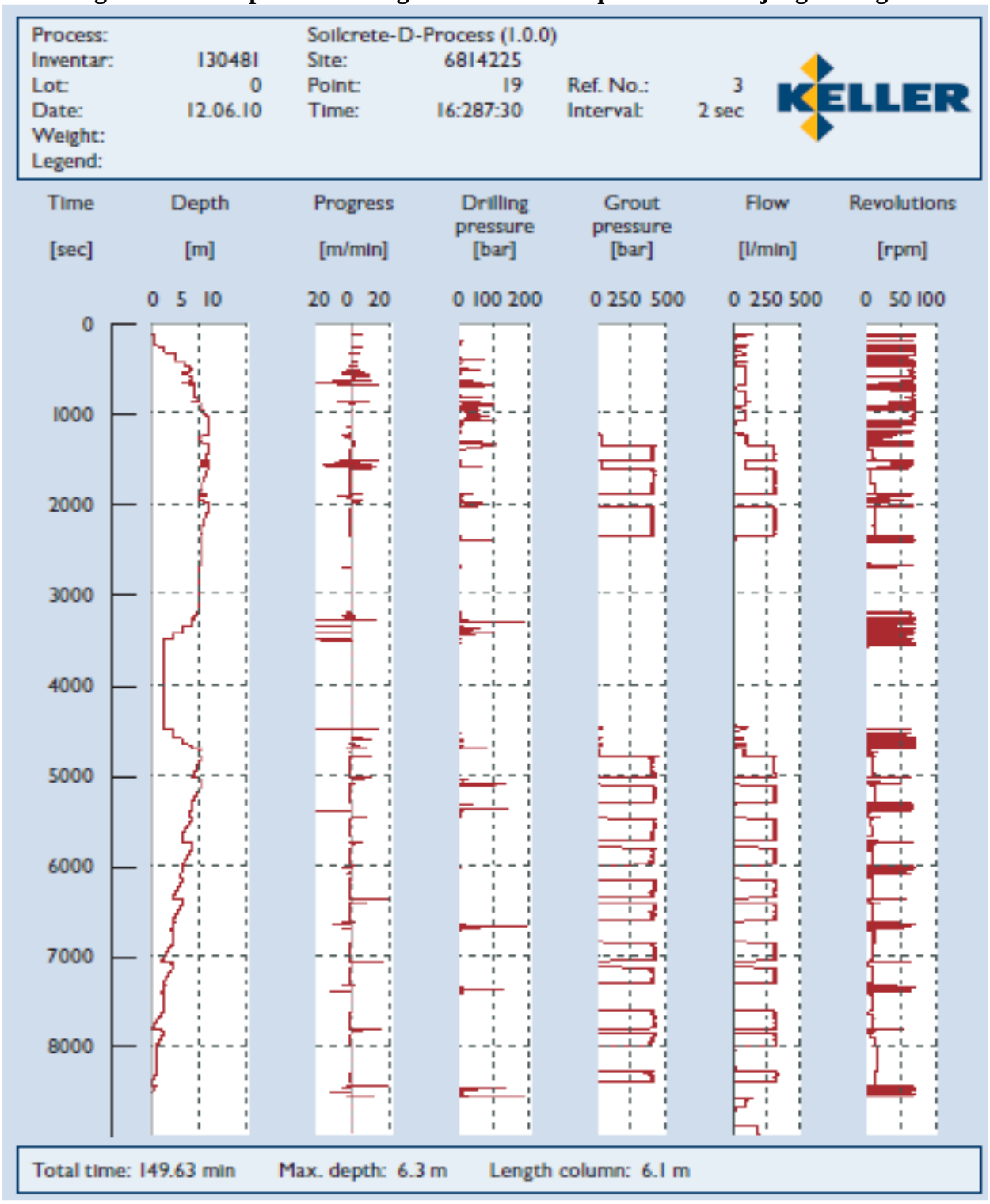
Foto N° 91 y N° 92. Detalle de conductos internos del varillaje de Superjet Grouting.

- **Toberas de corte / inyección:** *Las toberas determinan un caudal constante para una presión. El control de las toberas se efectuará sistemáticamente. Cuando las r.p.m. del motor de la bomba aumentan para proseguir dicha presión, significa que se ha producido un desgaste en la tobera, por lo que se sustituirá de inmediato. Cuando estas r.p.m. disminuyen, significa que, aunque se mantenga la presión, el caudal ha disminuido y existe un atasco en la red de alta, por lo que se parará la ejecución para revisar la red y evitar condiciones de ejecución distintas a las preestablecidas. Por lo tanto, vemos que presión y las r.p.m. del motor han de ser siempre constantes para una tobera prefijada, si se quiere un caudal continuo de corte. Dichas revoluciones se regulan en el cuadro de control situado en la bomba y la presión de corte se regula tal y como se describen en el apartado anterior.*

- **Densidad de la lechada:** *Además del control automático y registrado en la planta de inyección se realizará, manual y sistemáticamente, un control de la densidad mediante un densímetro de balanza de Baroid. La medición se hará al menos una vez por turno para verificar el correcto funcionamiento de la planta de inyección. Se cubrirá un parte diario por el oficial de planta que es entregado a la persona indicada por el Director de Obra.*
- **Presión y caudal de agua y aire:** *Tanto la presión como el caudal de agua y aire se definirán en función de la profundidad del tratamiento y las características del terreno a tratar. La presión se controlará automáticamente mediante sensores de presión que reportan al ordenador central (VOPI).*
- **Densidad:** *Se efectuará, manual y sistemáticamente, un control de la densidad de la resurgencia tomándose al menos una muestra de densidad por columna. Se cubrirá un parte diario por el oficial de planta que es entregado a la persona indicada por el director de Obra.*

De este modo todos los parámetros citados que definen el Jet Grouting, se registrarán de forma continua en esta unidad informática (VOPI). A su vez esta información será transferible a un PC compatible y se podrá entregar en hojas impresas para ser cotejada por la Dirección de Obra que los parámetros preestablecidos en las pruebas se cumplen sistemáticamente.

Figura N°36. Impresión del registro continúo de parámetros de jet grouting.



Fuente: Keller Cimentaciones.

Documentación rellenada en obra: Diariamente en la obra se cubrirán cuatro partes en los que figura tanto el trabajo realizado, como sus características técnicas.

- *En un primer parte figura el control de la perforación*
- *Un segundo parte donde quedan reflejados todos los datos técnicos en cuanto a la correcta ejecución del jet Grouting.*
- *Un tercer parte que refleja el control de la lechada introducida en la ejecución de las columnas*
- *Un cuarto parte que indica el volumen y la densidad de resurgencia.*

En estos cuatro partes quedarán reflejadas todas las incidencias que se han producido durante la ejecución de la obra. Estos partes serán entregados a diario para su firma y conformidad.

8.7 Parámetros de Ejecución de Columnas de Prueba

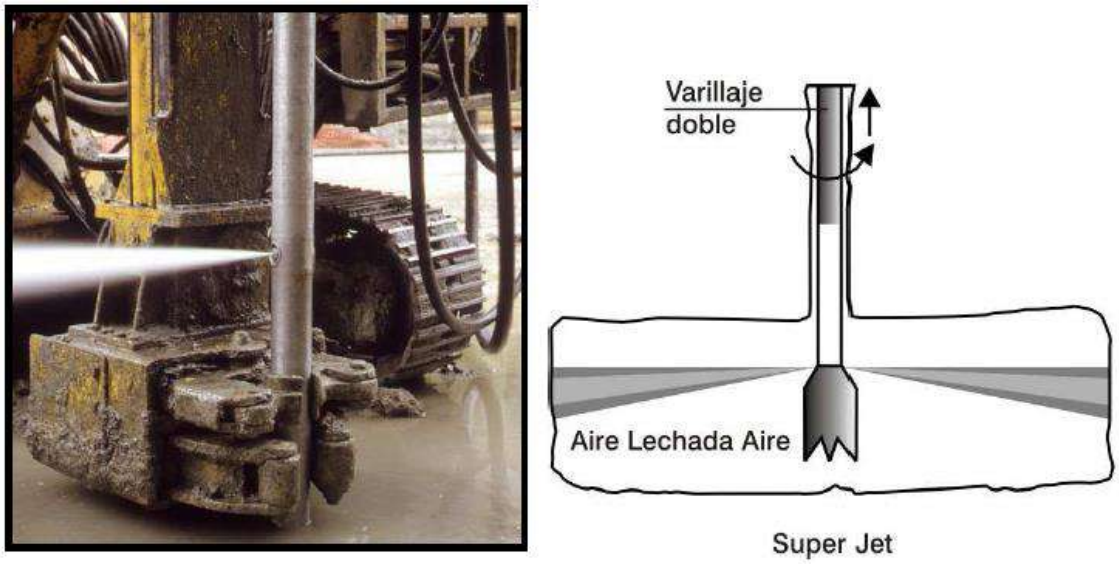
Tal y como se ha indicado anteriormente, el campo de prueba supone la realización de 6 columnas, formando dos zonas. El campo de prueba A, que consistirá en la ejecución de 3 columnas de Jet Grouting de diámetro de entre 0,80 y 1,20 m (diámetro medio de 1,00 m), en las proximidades de la Pila 1. El campo de prueba B, consistirá en la ejecución de 3 columnas de diámetro de entre 0,80 y 1,20 m (diámetro medio de 1,00 m) en la zona correspondiente al Estribo derecho y la Pila 5.

La distribución de columnas de prueba en el campo de prueba A como en el campo de prueba B se determinarán junto al cuerpo de ingenieros supervisores. En la figura 31 se puede ver las dos zonas en la cual proponemos la ejecución del campo de prueba.

El objetivo principal del campo de pruebas es alcanzar de forma óptima los objetivos previstos ajustando los parámetros de ejecución de las columnas de Jet Grouting.

El cemento para utilizar será según las especificaciones indicadas en el Proyecto.

Figura N°37. Sistema de Jet Grouting con una o dos boquillas / toberas.



Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

Para la realización de las 6 columnas de prueba, con un diámetro de entre 0.80 y 1,20 m (diámetro medio de 1,00 m) se han previsto los siguientes parámetros de ejecución:

Foto N° 93. Prueba de inicio de presión de agua en boquillas de trialeta del equipo de Jet Grouting

Foto N° 94. Trialeta previo a la inyección según diseño jet grouting – Foto N° 95. Limpieza y armado de las varillas de jet groting

Tabla N°68; Parámetros de ejecución Jet Grouting.

ID	PARAMETROS DE EJECUCION	UNIDADES (varias)	CANTIDADES
1	Presión de lechada	300 – 400 Bar	300.0
2	Caudal de lechada:	300 – 400 l/min	300.0
3	Velocidad de ascenso:	40 – 75 cm/min	40.0
4	Velocidad de giro	8 – 15 r.p.m.	12 - 15
5	a/c		0.44
6	Consumo de cemento previsto	Bol/ml	16.0
7	Caudal de aire	M3/min	8 - 11
8	Presión del aire	bar	8.0
9	Diámetro previsto	m	0.80 – 1.20
10	Resistencia a la compresión	Kg/cm2	60.0 – 70.0

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani. – Geotécnica Perú.

En función de los resultados de pruebas se definirán los parámetros definitivos para la realización del resto del tratamiento.

Figura N°38 y N°39 protocolo de ejecución columna Jet Grouting

Geotécnica

CLIENTE: CONSORCIO VIAL QUILCA MATARANI
OBRA: Puente sobre el Rio Quilca

CONSORCIO VIAL QUILCA-MATARANI

CÓDIGO:	PROGEO - 006	COLUMNA N°	P5-5-J3	REGISTRO	246	FEC	12 - 02 - 2015 D

PROTOCOLO DE EJECUCIÓN DE COLUMNAS JET GROUTING

Lugar: Quilca, Camana, Arequipa

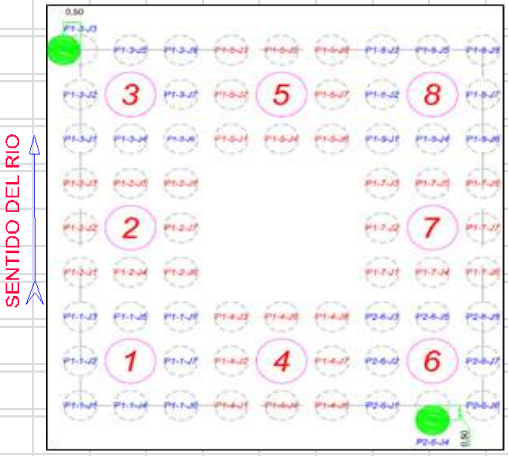
Area: OBRAS DE ARTE

Estructura: PILAR 05

Operador: JERONIMO CARVALLO

Equipos: Perforadora C8, Planta de inyección TW600

Hora de inicio	09:25	Hora de fin	10:55
Cota de inicio	-1.38	Cota de fin	-21.40
Longitud de Jet G.	20.02		
Densidad (gr/cm3)	1.61		



OBSERVACIONES

SUPERVISOR GEOTÉCNICA	CALIDAD GEOTÉCNICA	SUPERVISOR CVQM	JEFATURA CVQM
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

Geotécnica

CLIENTE: CONSORCIO VIAL QUILCA MATARANI
OBRA: Puente sobre el Rio Quilca

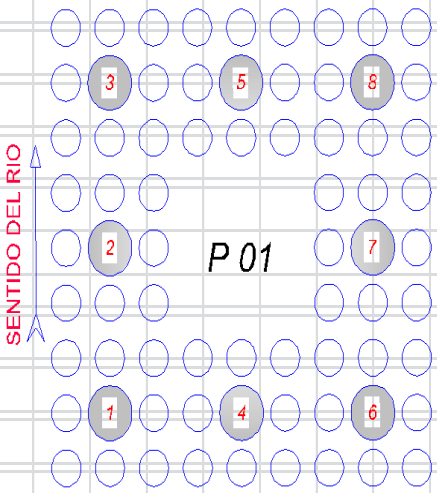
CONSORCIO VIAL QUILCA-MATARANI — oas COSAPI CONINSA

CÓDIGO:	PROGEO - 006	COLUMNA N°	P2-3-J3	REGISTRO	001	FEC	24 - 11 - 2014

PROTOCOLO DE EJECUCIÓN DE COLUMNAS JET GROUTING

Lugar: Quilca, Camana, Arequipa	
Area: OBRAS DE ARTE	
Estructura: PILAR 02	
Operador: DOMINGO FERNANDEZ	
Equipos: Perforadora C8, Planta de inyección TW60	

Hora de inicio	08:28	Hora de fin	10:30
Cota de inicio	-1.32	Cota de fin	-21.40
Longitud de Jet G.	20.08		
Densidad (gr/cm3)	1.61		



OBSERVACIONES

SUPERVISOR GEOTÉCNICA	CALIDAD GEOTÉCNICA	SUPERVISOR CVQM	JEFATURA CVQM
FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:	FIRMA:
NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:	NOMBRE:
FECHA:	FECHA:	FECHA:	FECHA:

Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

8.8 Tratamiento profundo – Jet Grouting

FOTO N° 96 Izaje e instalación de Silos de Cemento

FOTO N° 97 Instalación de Equipo de perforación P3-8-J6 en el Pilar 3

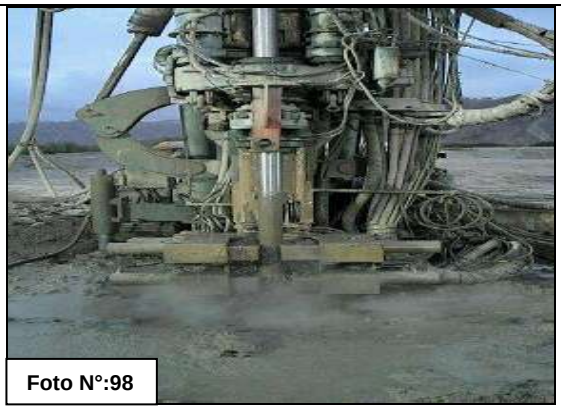


FOTO N° 98 Perforación de la columna ED-6-J4 en el ED

FOTO N° 99 Inyección de la columna ED-4-J7 en el ED

FOTO N° 100 Inyección de la columna ED-4-J7 en el ED

FOTO N° 101 Inyección de la columna ED-4-J7 en el ED

8.9 Procedimiento de Construcción

8.9.1 Verificación de la Ubicación del Taladro a Perforar

- *El replanteo, dimensiones y profundidad de las columnas se ajustarán en todo momento a lo indicado en los planos del proyecto, salvo justificación expresa de la Dirección de obras.*

- *Se procede a replantear topográficamente la ubicación del punto a perforar, se procederá al trazado según plano de ejes, estructuras, puntos de referencia, niveles.*

8.9.2 Instalación del equipo de perforación

- *Se va a utilizar la perforadora multipropósito, el cual será desplazado a la zapata e iniciará la perforación en los puntos liberados y determinados por el Consorcio Vial Quilca-Matarani, según la secuencia de perforación planteada por Geotécnica SAC.*

- *El método de perforación se elige de acuerdo con las condiciones del terreno, los rasgos característicos del sitio de la obra y las especificaciones de diseño con relación a la longitud e inclinación de tratamiento. La perforación a rotación es la utilizada normalmente en suelos de grano medio hasta fino. En algunos casos se necesita perforar al abrigo de revestimiento, pero generalmente se emplean perforaciones sin camisa con circulación directa de agua o de lechadas con bentonita. Si se emplea camisa, esta debe ser retirada después de que el varillaje del jet haya sido introducido y se inicie la inyección. El uso de una cabeza de*

rotación instalada a lo largo de un mástil-corredera (torre de inyección) de varios metros de longitud, permite el empleo de varillajes (sartas de inyección) con elementos de una sola pieza de esa longitud. En suelos de grano grueso, o aquellos que contienen cantos o durezas, se emplea generalmente la pre perforación a rotopercusión con revestimiento de tal manera que se protege el pozo de los derrumbes que pudiera haber por el material suelto encontrado.

- *La selección de equipos con correderas con longitudes que permitan la ejecución del tratamiento sin añadir o quitar varillas, es muy beneficiosa no sólo para maximizar la productividad, sino, más destacadamente, para minimizar las interrupciones y por lo tanto el potencial de bloqueos en las toberas y anillos durante la inyección.*

- *Durante la perforación se llevará un registro en tiempo real de la profundidad de perforación y la presión de perforación, y se realizará control de acuerdo con el Plan de puntos de inspección.*

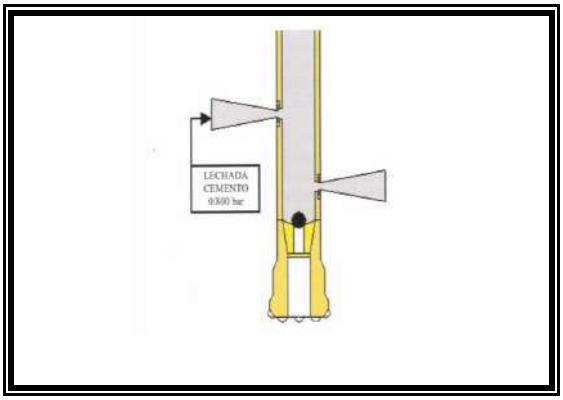


Figura N°: 40 Esquema de Jet Simple. Radio Cimentaciones Especiales

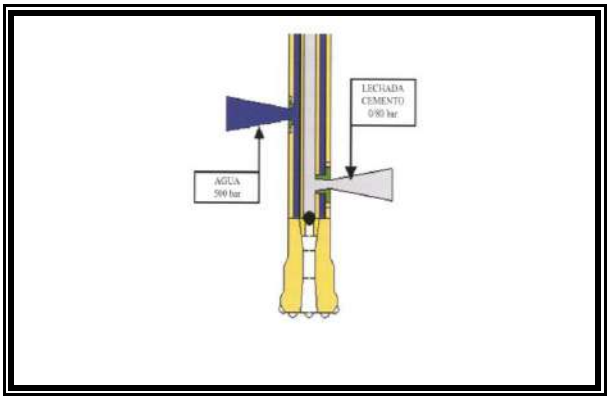


Figura N°:41 Esquema de Jet doble con agua. Radio Cimentaciones Especiales

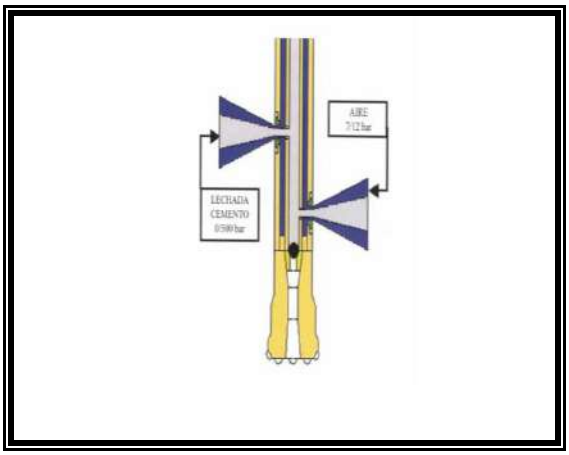


Figura N°: 42 Esquema de Jet doble con aire. Radio Cimentaciones Especiales

Fuente: Francisco J. Tsao Santín

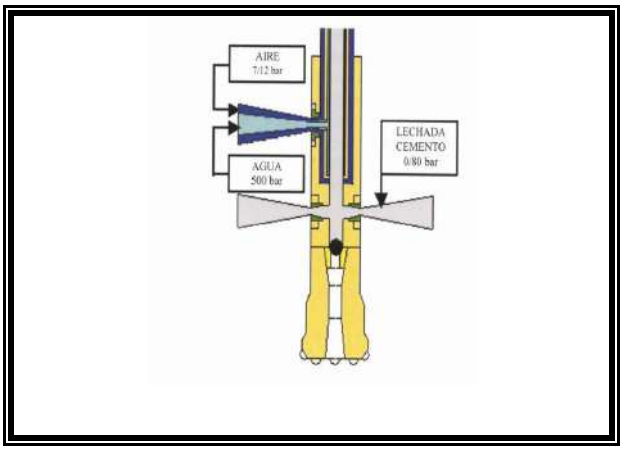
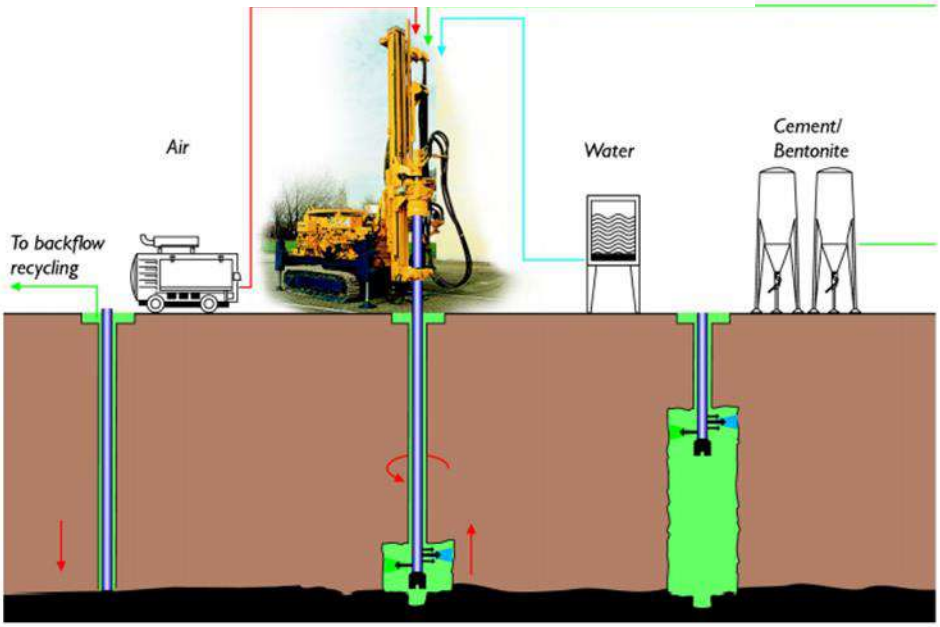


Figura N°:43 Esquema de Jet triple. Radio Cimentaciones Especiales

Figura N°: 044 Jet grouting. Keller Grundbau



Fuente: Francisco J. Tsao Santín

Tabla N° 69 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

PILAR 1									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
18/12/14	066	P1-8-J8	20.00	-21.40	09/01/15	100	P1-8-J7	20.00	-21.40
18/12/14	067	P1-8-J6	20.00	-21.40	09/01/15	101	P1-7-J8	20.00	- 21.40
18/12/14	068	P1-7-J7	20.00	-21.40	16/01/15	102	P1-3-J2	16.48	-17.88
18/12/14	069	P1-6-J8	20.00	-21.40	16/01/15	103	P1-2-J3	20.00	-21.40
18/12/14	070	P1-6-J6	20.00	-21.40	17/01/15	104	P1-2-J1	17.52	-18.92
18/12/14	071	P1-8-J3	20.00	-21.40	17/01/15	105	P1-1-J2	19.15	-20.55
19/12/14	072	P1-8-J1	20.00	-21.40	17/01/15	106	P1-3-J7	18.32	-19.72
19/12/14	073	P1-7-J2	20.00	-21.40	17/01/15	107	P1-2-J8	20.00	-21.40
19/12/14	074	P1-6-J3	20.00	-21.40	17/01/15	108	P1-2-J6	20.00	-21.40
20/12/14	076	P1-6-J1	20.00	-21.40	18/01/15	109	P1-1-J7	20.00	-21.40
20/12/14	077	P1-5-J5	20.00	-21.40	18/01/15	110	P1-5-J8	20.00	-21.40
20/12/14	078	P1-5-J4	20.00	-21.40	18/01/15	111	P1-5-J6	20.00	-21.40
20/12/14	079	P1-4-J5	20.00	-21.40	18/01/15	112	P1-8-J5	20.00	-21.40
06/01/15	080	P1-4-J4	20.00	-21.40	18/01/15	113	P1-5-J3	20.00	-21.40
06/01/15	081	P1-3-J8	19.42	-20.82	18/01/15	114	P1-5-J1	20.00	-21.40
06/01/15	082	P1-3-J6	20.00	-21.40	18/01/15	115	P1-6-J7	20.00	-21.40
06/01/15	083	P1-2-J7	20.00	-21.40	18/01/15	116	P1-3-J4	20.00	-21.40
07/01/15	084	P1-1-J8	20.00	-21.40	18/01/15	117	P1-1-J5	20.00	-21.40
07/01/15	085	P1-1-J6	20.00	-21.40	18/01/15	118	P1-1-J4	20.00	-21.40
07/01/15	086	P1-3-J3	16.24	-16.64	19/01/15	119	P1-7-J1	20.00	-21.40
07/01/15	087	P1-3-J1	18.68	-20.08	21/01/15	120	P1-6-J5	20.00	-21.40
07/01/15	088	P1-2-J2	19.53	-20.93	21/01/15	121	P1-6-J4	20.00	-21.40
07/01/15	089	P1-1-J3	19.08	-20.48	24/01/15	134	P1-7-J6	20.00	-21.40
07/01/15	090	P1-1-J1	20.00	-21.44	24/01/15	135	P1-6-J2	20.00	-21.40
07/01/15	091	P1-7-J5	20.00	-21.40	24/01/15	136	P1-7-J1	20.00	-21.40
07/01/15	092	P1-4-J7	16.81	-18.21	24/01/15	137	P1-7-J8	20.00	-21.40
08/01/15	093	P1-7-J4	20.00	-21.40	24/01/15	138	P1-8-J4	20.00	-21.40
08/01/15	094	P1-5-J7	20.00	-21.40	24/01/15	139	P1-7-J3	20.00	-21.40
08/01/15	095	P1-5-J2	20.00	-21.40	26/01/15	140	P1-3-J5	20.00	-21.40
08/01/15	096	P1-4-J2	20.00	-21.40	26/01/15	141	P1-8-J2	17.16	-18.56

08/01/15	097	P1-2-J5	20.00	-21.40	26/01/15	142	P1-4-J8	20.00	-21.40
08/01/15	098	P1-2-J4	19.94	-21.40	26/01/15	143	P1-4-J6	18.06	-19.46
08/01/15	099	P1-6-J7	20.00	-21-25	26/01/15	144	P1-4-J3	20.00	-21.40
					26/01/15	145	P1-4-J1	20.00	-21.40

Tabla N° 70 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

PILAR 2									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
24/11/14	001	P2-3-J3	20.00	-21.40	12/12/14	034	P2-3-J2	20.00	-21.40
24/11/14	002	P2-3-J1	20.00	-21.40	12/12/14	035	P2-2-J3	20.00	-21.40
24/11/14	003	P2-2-J2	20.00	-21.40	12/12/14	036	P2-2-J1	20.00	-21.40
24/11/14	004	P2-1-J3	20.00	-21.40	12/12/14	037	P2-1-J2	20.00	-21.40
25/11/14	005	P2-1-J1	20.00	-21.40	12/12/14	038	P2-3-J7	20.00	-21.40
25/11/14	006	P2-3-J8	20.00	-21.40	13/12/14	039	P2-2-J8	20.00	-21.40
25/11/14	007	P2-3-J6	20.00	-21.40	13/12/14	040	P2-2-J6	20.00	-21.40
25/11/14	008	P2-2-J7	20.00	-21.40	13/12/14	041	P2-1-J7	20.00	-21.40
25/11/14	009	P2-1-J8	20.00	-21.40	13/12/14	042	P2-8-J2	20.00	-21.40
26/11/14	010	P2-1-J6	20.00	-21.40	15/12/14	043	P2-7-J3	20.00	-21.40
26/11/14	011	P2-5-J5	20.00	-21.40	15/12/14	044	P2-7-J1	20.00	-21.40
26/11/14	012	P2-5-J4	20.00	-21.40	15/12/14	045	P2-6-J2	20.00	-21.40
26/11/14	013	P2-4-J5	20.00	-21.40	15/12/14	046	P2-8-J7	20.00	-21.40
26/11/14	014	P2-4-J4	20.00	-21.40	15/12/14	047	P2-7-J8	20.00	-21.40
27/11/14	015	P2-8-J3	20.00	-21.40	15/12/14	048	P2-7-J6	20.00	-21.40
27/11/14	016	P2-6-J3	20.00	-21.40	15/12/14	049	P2-6-J7	20.00	-21.40
27/11/14	017	P2-6-J1	19.59	-21.40	15/12/14	050	P2-3-J5	20.00	-21.40
27/11/14	018	P2-7-J2	20.00	-21.40	15/12/14	051	P2-3-J4	20.00	-21.40
11/12/14	019	P2-8-J3	20.00	-21.40	15/12/14	052	P2-1-J5	20.00	-21.40
11/12/14	020	P2-8-J1	20.00	-21.40	15/12/14	053	P2-1-J4	20.00	-21.40
11/12/14	021	P2-8-J8	20.00	-21.40	15/12/14	054	P2-5-J3	20.00	-21.40
11/12/14	022	P2-8-J6	20.00	-21.40	16/12/14	055	P2-5-J1	20.00	-21.40
11/12/14	023	P2-7-J7	20.00	-21.40	16/12/14	056	P2-4-J3	20.00	-21.40
11/12/14	024	P2-6-J8	20.00	-21.40	16/12/14	057	P2-4-J1	20.00	-21.40
11/12/14	025	P2-6-J6	20.00	-21.40	16/12/14	058	P2-5-J8	20.00	-21.40
11/12/14	026	P2-2-J5	20.00	-21.40	16/12/14	059	P2-5-J6	20.00	-21.40
11/12/14	027	P2-2-J4	20.00	-21.40	16/12/14	060	P2-4-J8	20.00	-21.40
12/12/14	028	P2-5-J2	20.00	-21.40	16/12/14	061	P2-4-J6	20.00	-21.40
12/12/14	029	P2-4-J2	20.00	-21.40	16/12/14	062	P2-8-J5	20.00	-21.40
12/12/14	030	P2-5-J7	20.00	-21.40	17/12/14	063	P2-8-J4	20.00	-21.40
12/12/14	031	P2-4-J7	20.00	-21.40	17/12/14	064	P2-6-J5	20.00	-21.40
12/12/14	032	P2-7-J5	20.00	-21.40	17/12/14	065	P2-6-J4	20.00	-21.40
12/12/14	033	P2-7-J4	20.00	-21.40	19/12/14	075	P2-6-J4	20.00	-21.40

Tabla N° 71 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

PILAR 3									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
02/02/15	194	P3-1-J1	20.00	-21.40	27/02/15	357	P3-8-J7	20.00	-21.40
02/02/15	195	P3-8-J8	20.00	-21.40	27/02/15	358	P3-7-J8	20.00	-21.40
16/02/15	275	P3-8-J6	20.00	-21.40	27/02/15	359	P3-7-J6	20.00	-21.40
16/02/15	276	P3-7-J7	20.00	-21.40	27/02/15	360	P3-6-J7	20.00	-21.40
24/02/15	329	P3-6-J8	20.00	-21.40	27/02/15	361	P3-8-J2	20.00	-21.40
24/02/15	330	P3-6-J6	20.00	-21.40	27/02/15	362	P3-7-J3	20.00	-21.40
24/02/15	331	P3-8-J3	20.00	-21.40	27/02/15	363	P3-7-J1	20.00	-21.40
24/02/15	332	P3-8-J1	20.00	-21.40	28/02/15	364	P3-6-J2	20.00	-21.40
24/02/15	333	P3-7-J2	20.00	-21.40	28/02/15	365	P3-3-J7	20.00	-21.40
24/02/15	334	P3-6-J3	20.00	-21.40	28/02/15	366	P3-2-J8	20.00	-21.40
24/02/15	335	P3-6-J1	20.00	-21.40	28/02/15	367	P3-2-J6	20.00	-21.40
24/02/15	336	P3-5-J5	20.00	-21.40	28/02/15	368	P3-1-J7	20.00	-21.40
24/02/15	337	P3-5-J4	20.00	-21.40	28/02/15	369	P3-3-J2	20.00	-21.40
25/02/15	338	P3-4-J5	20.00	-21.40	28/02/15	370	P3-2-J3	20.00	-21.40
25/02/15	339	P3-4-J4	20.00	-21.40	28/02/15	371	P3-2-J1	20.00	-21.40
25/02/15	340	P3-3-J8	20.00	-21.40	28/02/15	372	P3-1-J2	20.00	-21.40
25/02/15	341	P3-3-J6	20.00	-21.40	15/12/14	331	P3-1-J5	20.00	-21.40
25/02/15	342	P3-2-J7	20.00	-21.40	15/12/14	332	P3-1-J4	20.00	-21.40

25/02/15	343	P3-1-J8	20.00	-21.40	16/12/14	370	P3-8-J4	20.00	-21.40
25/02/15	344	P3-1-J6	20.00	-21.40	16/12/14	385	P3-8-J5	20.00	-21.40
26/02/15	345	P3-3-J3	20.00	-21.40	15/12/14	353	P3-6-J5	20.00	-21.40
26/02/15	346	P3-3-J1	20.00	-21.40	15/12/14	354	P3-6-J4	20.00	-21.40
26/02/15	347	P3-2-J2	20.00	-21.40	16/12/14	366	P3-5-J1	20.00	-21.40
26/02/15	348	P3-1-J3	20.00	-21.40	16/12/14	381	P3-5-J3	20.00	-21.40
26/02/15	349	P3-7-J5	20.00	-21.40	16/12/14	383	P3-5-J8	20.00	-21.40
26/02/15	350	P3-7-J4	20.00	-21.40	16/12/14	368	P3-5-J6	20.00	-21.40
26/02/15	351	P3-5-J7	20.00	-21.40	15/12/14	341	P3-4-J1	20.00	-21.40
26/02/15	352	P3-4-J7	20.00	-21.40	15/12/14	339	P3-4-J3	20.00	-21.40
26/02/15	353	P3-5-J2	20.00	-21.40	15/12/14	344	P3-4-J8	20.00	-21.40
26/02/15	354	P3-4-J2	20.00	-21.40	15/12/14	346	P3-4-J6	20.00	-21.40
27/02/15	355	P3-2-J5	20.00	-21.40	16/12/14	379	P3-3-J5	20.00	-21.40
27/02/15	356	P3-2-J4	20.00	-21.40	16/12/14	364	P3-3-J4	20.00	-21.40

Tabla N° 72 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

PILAR 4									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
22/01/15	194	P4 -8- J8	20.00	-21.40	28/01/15	357	P4 -7- J4	20.00	-21.40
22/01/15	195	P4 -8- J6	20.00	-21.40	28/01/15	358	P4 -5- J7	20.00	-21.40
22/01/15	275	P4 -7- J7	20.00	-21.40	28/01/15	359	P4 -4- J7	20.00	-21.40
22/01/15	276	P4 -6- J8	20.00	-21.40	28/01/15	360	P4 -5- J2	20.00	-21.40
22/01/15	329	P4 -6- J6	20.00	-21.40	28/01/15	361	P4 -4- J2	20.00	-21.40
22/01/15	330	P4 -8- J3	20.00	-21.40	29/01/15	362	P4 -2- J5	20.00	-21.40
22/01/15	331	P4 -8- J1	20.00	-21.40	29/01/15	363	P4 -2- J4	20.00	-21.40
22/01/15	332	P4 -7- J2	20.00	-21.40	29/01/15	364	P4 -8- J7	20.00	-21.40
22/01/15	333	P4 -6- J3	20.00	-21.40	29/01/15	365	P4 -7- J8	20.00	-21.40
23/01/15	334	P4 -6-J1	20.00	-21.40	29/01/15	366	P4 -7- J6	20.00	-21.40
23/01/15	335	P4 -5- J5	20.00	-21.40	29/01/15	367	P4 -6- J7	20.00	-21.40
23/01/15	336	P4 -5- J4	20.00	-21.40	29/01/15	368	P4 -7- J3	20.00	-21.40
26/01/15	337	P4 -3- J8	20.00	-21.40	29/01/15	369	P4 -7- J1	20.00	-21.40
27/01/15	338	P4-3-J6	20.00	-21.40	29/01/15	370	P4 -6- J2	20.00	-21.40
27/01/15	339	P4-2-J7	20.00	-21.40	29/01/15	371	P4 -3- J7	20.00	-21.40
27/01/15	340	P4 -4-J5	20.00	-21.40	30/01/15	372	P4 -2- J8	20.00	-21.40
27/01/15	341	P4 -4- J4	20.00	-21.40	30/01/15	331	P4 -2- J6	20.00	-21.40
27/01/15	342	P4 -1- J8	20.00	-21.40	30/01/15	332	P4 -1- J7	20.00	-21.40
27/01/15	343	P4 -1- J6	20.00	-21.40	30/01/15	370	P4 -3- J2	20.00	-21.40
27/01/15	344	P4 -3- J3	20.00	-21.40	30/01/15	385	P4 -2- J1	20.00	-21.40
22/01/15	345	P4-3- J1	20.00	-21.40	30/01/15	353	P4 -2- J3	20.00	-21.40
22/01/15	346	P4 -2- J2	20.00	-21.40	30/01/15	354	P4 -1- J2	20.00	-21.40
22/01/15	347	P4 -1-J3	20.00	-21.40	30/01/15	366	P4 -8- J5	20.00	-21.40
22/01/15	348	P4 -1-J1	20.00	-21.40	31/01/15	381	P4 -8- J4	20.00	-21.40
26/02/15	349	P4 -8- J8	20.00	-21.40	31/01/15	383	P4 -6- J5	20.00	-21.40
26/02/15	350	P4 -8- J6	20.00	-21.40	31/01/15	368	P4 -6- J4	20.00	-21.40
26/02/15	351	P4 -7- J7	20.00	-21.40	31/01/15	341	P4 -5- J8	20.00	-21.40
26/02/15	352	P4 -6- J8	20.00	-21.40	31/01/15	339	P4 -5- J6	20.00	-21.40
26/02/15	353	P4 -6- J6	20.00	-21.40	31/01/15	344	P4 -4-J8	20.00	-21.40
26/02/15	354	P4 -8- J3	20.00	-21.40	31/01/15	346	P4 -4- J6	20.00	-21.40
27/02/15	355	P4 -8- J1	20.00	-21.40	31/01/15	379	P4 -5- J3	20.00	-21.40
27/02/15	356	P4-7- J5	20.00	-21.40	31/01/15	364	P4 -5- J1	20.00	-21.40

Tabla N° 73 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

PILAR 5									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
03/02/15	196	P5-6-J6	20.00	-21.40	10/02/15	232	P5-6-J4	20.00	-21.40
03/02/15	197	P5-6-J1	20.00	-21.40	10/02/15	233	P5-4-J6	20.00	-21.40
03/02/15	198	P5-4-J4	20.00	-21.40	11/02/15	234	P5-4-J1	20.00	-21.40
03/02/15	199	P5-1-J6	20.00	-21.40	11/02/15	235	P5-1-J4	20.00	-21.40
03/02/15	200	P5-1-J1	20.00	-21.40	11/02/15	236	P5-6-J5	20.00	-21.40
03/02/15	201	P5-6-J8	20.00	-21.40	11/02/15	237	P5-4-J8	20.00	-21.40
04/02/15	202	P5-6-J3	20.00	-21.40	11/02/15	238	P5-4-J3	20.00	-21.40
04/02/15	203	P5-4-J5	20.00	-21.40	11/02/15	239	P5-1-J5	20.00	-21.40
04/02/15	204	P5-1-J8	20.00	-21.40	11/02/15	240	P5-8-J4	20.00	-21.40
04/02/15	205	P5-1-J3	20.00	-21.40	11/02/15	241	P5-5-J6	20.00	-21.40
04/02/15	206	P5-7-J7	20.00	-21.40	11/02/15	242	P5-5-J1	20.00	-21.40

05/02/15	207	P5-7-J2	20.00	-21.40	11/02/15	243	P5-3-J4	20.00	-21.40
05/02/15	208	P5-2-J7	20.00	-21.40	11/02/15	244	P5-8-J5	20.00	-21.40
05/02/15	209	P5-2-J2	20.00	-21.40	12/02/15	245	P5-5-J8	20.00	-21.40
05/02/15	210	P5-8-J6	20.00	-21.40	12/02/15	246	P5-5-J3	20.00	-21.40
05/02/15	211	P5-8-J1	20.00	-21.40	12/02/15	247	P5-3-J5	20.00	-21.40
05/02/15	212	P5-5-J4	20.00	-21.40	12/02/15	248	P5-6-J7	20.00	-21.40
05/02/15	213	P5-3-J6	20.00	-21.40	12/02/15	249	P5-6-J2	20.00	-21.40
05/02/15	214	P5-3-J1	20.00	-21.40	12/02/15	250	P5-1-J7	20.00	-21.40
05/02/15	215	P5-8-J8	20.00	-21.40	12/02/15	251	P5-1-J2	20.00	-21.40
09/02/15	216	P5-8-J3	20.00	-21.40	12/02/15	252	P5-7-J6	20.00	-21.40
09/02/15	217	P5-5-J5	20.00	-21.40	12/02/15	253	P5-7-J1	20.00	-21.40
09/02/15	218	P5-3-J8	20.00	-21.40	12/02/15	254	P5-2-J6	20.00	-21.40
09/02/15	219	P5-3-J3	20.00	-21.40	13/02/15	255	P5-2-J1	20.00	-21.40
10/02/15	224	P5-4-J7	20.00	-21.40	13/02/15	256	P5-7-J8	20.00	-21.40
10/02/15	225	P5-4-J2	20.00	-21.40	13/02/15	257	P5-7-J3	20.00	-21.40
10/02/15	226	P5-7-J4	20.00	-21.40	13/02/15	258	P5-2-J8	20.00	-21.40
10/02/15	227	P5-2-J4	20.00	-21.40	13/02/15	259	P5-2-J3	20.00	-21.40
10/02/15	228	P5-7-J5	20.00	-21.40	13/02/15	260	P5-8-J7	20.00	-21.40
10/02/15	229	P5-2-J5	20.00	-21.40	13/02/15	261	P5-8-J2	20.00	-21.40
10/02/15	230	P5-5-J7	20.00	-21.40	13/02/15	262	P5-3-J7	20.00	-21.40
10/02/15	231	P5-5-J2	20.00	-21.40	13/02/15	263	P5-3-J2	20.00	-21.40

Tabla N° 74 RESUMEN EJECUCION DE COLUMNAS JET GROUTING

ESTRIBO DERECHO									
Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)	Fecha	Registro	Columna	Longitud JG (m)	Cota de fin (m)
14/02/15	264	ED-6-J6	20.00	-20.30	19/02/15	298	ED-4-J6	20.00	-20.30
14/02/15	265	ED-6-J1	20.00	-20.30	19/02/15	299	ED-4-J1	20.00	-20.30
14/02/15	266	ED-4-J4	20.00	-20.30	19/02/15	300	ED-1-J4	20.00	-20.30
14/02/15	267	ED-1-J6	20.00	-20.30	19/02/15	301	ED-6-J5	20.00	-20.30
14/02/15	268	ED-1-J1	20.00	-20.30	20/02/15	302	ED-4-J8	20.00	-20.30
14/02/15	269	ED-6-J8	20.00	-20.30	20/02/15	303	ED-4-J3	20.00	-20.30
14/02/15	270	ED-6-J3	20.00	-20.30	20/02/15	304	ED-1-J5	20.00	-20.30
14/02/15	271	ED-4-J5	20.00	-20.30	20/02/15	305	ED-8-J4	20.00	-20.30
15/02/15	272	ED-1-J8	20.00	-20.30	20/02/15	306	ED-5-J6	20.00	-20.30
15/02/15	273	ED-1-J3	20.00	-20.30	20/02/15	307	ED-5-J1	20.00	-20.30
15/02/15	274	ED-7-J2	20.00	-20.30	20/02/15	308	ED-3-J4	20.00	-20.30
17/02/15	277	ED-2-J7	20.00	-20.30	20/02/15	309	ED-8-J5	20.00	-20.30
17/02/15	278	ED-2-J2	20.00	-20.30	20/02/15	310	ED-5-J8	20.00	-20.30
17/02/15	279	ED-8-J6	20.00	-20.30	21/02/15	311	ED-5-J3	20.00	-20.30
17/02/15	280	ED-8-J1	20.00	-20.30	21/02/15	312	ED-3-J5	20.00	-20.30
17/02/15	281	ED-5-J4	20.00	-20.30	21/02/15	313	ED-6-J2	20.00	-20.30
17/02/15	282	ED-3-J6	20.00	-20.30	21/02/15	314	ED-1-J7	20.00	-20.30
17/02/15	283	ED-3-J1	20.00	-20.30	21/02/15	315	ED-1-J2	20.00	-20.30
17/02/15	284	ED-8-J8	20.00	-20.30	21/02/15	316	ED-7-J1	20.00	-20.30
17/02/15	285	ED-8-J3	20.00	-20.30	21/02/15	317	ED-2-J6	20.00	-20.30
18/02/15	286	ED-5-J5	20.00	-20.30	21/02/15	317	ED-2-J6	20.00	-20.30
18/02/15	287	ED-3-J8	20.00	-20.30	23/02/15	318	ED-2-J1	20.00	-20.30
18/02/15	288	ED-3-J3	20.00	-20.30	23/02/15	319	ED-6-J7	20.00	-20.30
18/02/15	289	ED-4-J7	20.00	-20.30	23/02/15	320	ED-7-J6	20.00	-20.30
18/02/15	290	ED-4-J2	20.00	-20.30	23/02/15	321	ED-7-J8	20.00	-20.30
18/02/15	291	ED-7-J4	20.00	-20.30	23/02/15	322	ED-7-J3	20.00	-20.30
18/02/15	292	ED-2-J4	20.00	-20.30	23/02/15	323	ED-2-J8	20.00	-20.30
18/02/15	293	ED-7-J5	20.00	-20.30	23/02/15	324	ED-2-J3	20.00	-20.30
19/02/15	294	ED-2-J5	20.00	-20.30	23/02/15	325	ED-8-J7	20.00	-20.30
19/02/15	295	ED-5-J7	20.00	-20.30	23/02/15	326	ED-8-J2	20.00	-20.30
19/02/15	296	ED-5-J2	20.00	-20.30	23/02/15	327	ED-3-J7	20.00	-20.30
19/02/15	297	ED-6-J4	20.00	-20.30	23/02/15	328	ED-3-J2	20.00	-20.30

Fuente: Elaborado por Consorcio Vial Quilca – Matarani.

- **Verificación de la profundidad del taladro**

- *Durante la perforación, el operador de la perforación verificará la profundidad del taladro, considerando el largo de las tuberías que usará y el registro en tiempo real.*

- **Verificación de la verticalidad del taladro**

- *El supervisor de control de calidad con apoyo del operario perforista verificará la verticalidad del taladro antes y durante y al finalizar la perforación, se verificará con el uso de nivel de mano.*

8.10 Procedimiento de Inyección

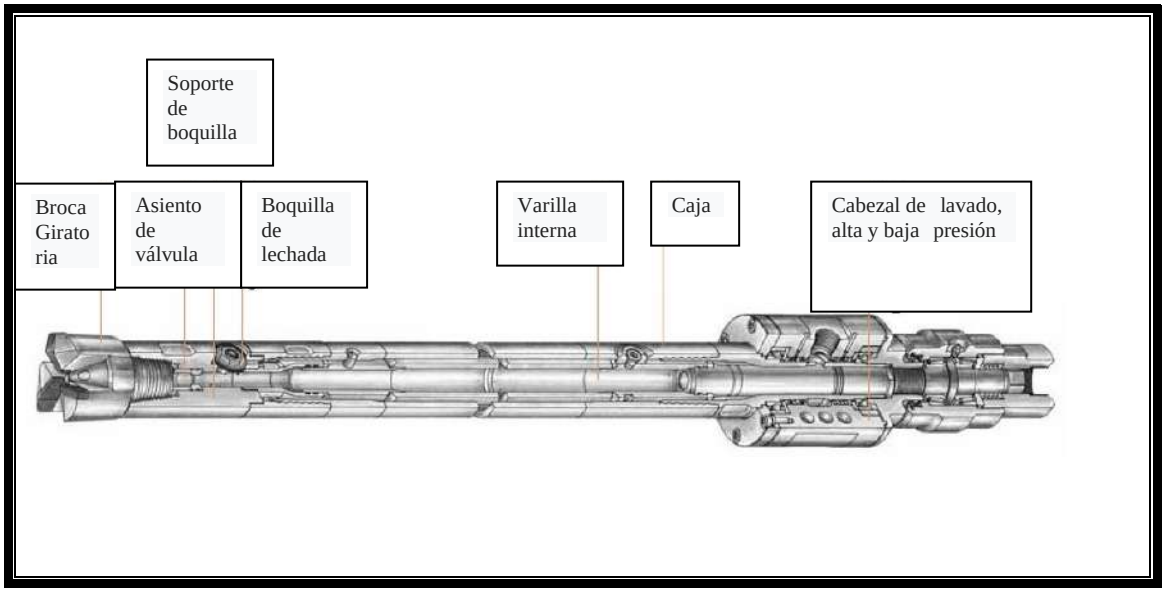
8.10.1 Preparación de la lechada de cemento e inyección

- *La lechada es preparada en plantas automáticas, especialmente diseñadas para facilitar una mezcla vigorosa de las partículas coloidales, con proporciones exactas controladas automáticamente y con una producción suficiente (25-30 m3/hora) para ejecutar la inyección de las columnas de superior tamaño sin que se interrumpa el proceso de ejecución. Un dosificador de cemento debe permitir el control del conglomerante hidráulico mezclado. La bomba de alta presión tendrá una potencia suficiente para garantizar un caudal de lechada entre 300 y 400 l/min a una presión continúa entre 400 y 500 bares, con un registro de parámetros continuo mediante sistema informatizado y se realizará control de acuerdo al plan de puntos de inspección.*

8.10.2 Monitor de inyección

- *El monitor de inyección, dotado de un movimiento programado de rotación y al mismo tiempo de extracción (realce o ascenso) con velocidad constante, permite la realización de la columna de suelo tratado según los parámetros establecidos. El sistema permite, por ejemplo, ejecutar en un mismo eje, distintas zonas de inyección, conformando columnas de jet con un mismo eje, pero situadas a diferente profundidad.*

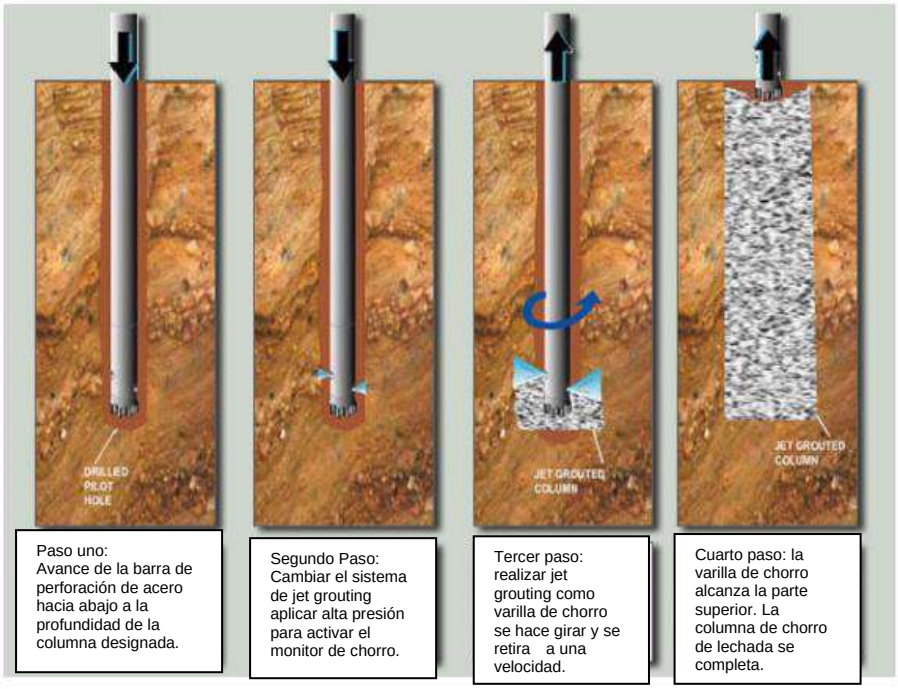
- **Figura N° 45. Esquema de varillaje con broca rotatoria.**



Fuente: Francisco J. Tsao Santín

- *La batería del varillaje, de diámetro mínimo 88,9 mm, se empleará 114 mm está dotada de uno o dos conductos internos por donde discurre el material de inyección.*

Figura N° 046. Esquema genérico de Jet Grouting.



Fuente: Francisco J. Tsao Santín

8.10.3 Resurgencia

- *Durante la inyección de jet, es fundamental que el rechazo o resurgencia que se genera, formada por suelo erosionado mezclado con lechada, pueda alcanzar la superficie sin obstáculos. En el caso de que no se mantenga un paso anular, entre el terreno y el varillaje que permita la circulación del rechazo, generalmente se producen movimientos incontrolados del terreno, levantamientos o desplazamientos laterales.*
- *Este es el motivo por el que las perforaciones en elementos rígidos como losas, vigas y zapatas no deben producir en ningún caso el efecto taponamiento, permitiendo evacuar por el espacio anular entre la perforación y varillaje, el rechazo generado durante la ejecución del Jet Grouting.*

- *Dicha resurgencia, deberá ser recolectada en pozas específicamente creadas para su almacenamiento, decantación y endurecimiento que permita su posterior excavación y transporte a botadero.*

Foto N° 102. Inyección de lechada de concreto proceso de Jet Grouting.

8.10.4 Parámetros de ejecución

- *Los parámetros utilizados en el Jet Grouting dependerán de las características, tanto geométricas como mecánicas que se deseen obtener y de las características del terreno a tratar.*

- *Los parámetros principales para utilizar se definirán mediante la realización de columnas de prueba, cuyo número, cantidad y situación será sometido a la aprobación del Supervisor de Obra. Como primera estimación, se recomienda la*

realización de 3 perforaciones con tubo sonding a una de las columnas de prueba para calibración de parámetros; si el terreno en la ejecución del pilotaje tiene el mismo perfil (arenas, gravas) no habrá la necesidad de realizar dichas perforaciones de verificación de parámetros y bastará con la ejecutada.

- *Los parámetros básicos para definir y controlar son los siguientes:*

- Presión de inyección.

8.10.5 Presión de otros fluidos (aire o agua, según sistema).

- Caudal de lechada.

- Densidad de lechada y dosificación (relación a/c)

- Diámetro de toberas de inyección.

- Tiempo de persistencia (o velocidad de ascenso del varillaje).

- Velocidad de rotación del varillaje.

El 100% de las columnas se monitoreará en tiempo real, empleando sistemas electrónicos que registran los parámetros anteriores, generando estadillos similares al expuesto en la figura N°37 Control de parámetros de ejecución de Jet Grouting.

Tabla N°75: Parámetros de Ejecución

ID	PARAMETROS DE EJECUCION	UNIDADES (varias)	CANTIDADES
1	Presión de lechada	300 – 400 Bar	300.0
2	Caudal de lechada:	300 – 400 l/min	300.0
3	Velocidad de ascenso:	40 – 75 cm/min	40.0
4	Velocidad de giro	8 – 15 r.p.m.	12 - 15
5	a/c		0.44
6	Consumo de cemento previsto	Bol/ml	16.0
7	Caudal de aire	M3/min	8 - 11
8	Presión del aire	bar	8.0
9	Diámetro previsto	m	0.80 – 1.20
10	Resistencia a la compresión	Kg/cm2	60.0 – 70.0

Fuente: Consorcio Vial Quilca – Matarani.

Tabla N° 76 RESUMEN EJECUCION DE ENSAYO DE COMPRESION COLUMNAS JET GROUTING

ENSAYO DE COMPRESION CONSTRUCCIÓN COLUMNAS DE JET GROUTING DE 1000 mm

ESTRIBO DERECHO

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota con respecto a NTN (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
ED-2-J7	Lechada	-20.3	17/02/2015	24/02/2015	17.06	80.60	35.40	44.77		
ED-2-J2	Lechada	-20.3	17/02/2015	24/03/2015	19.50	81.00			88.90	111.87
ED-8-J6	Resurgencia	-20.3	17/02/2015	24/02/2015	20.32	82.00	15.40	19.14		
ED-8-J1	Resurgencia	-20.3	17/02/2015	24/03/2015	19.75	81.10			29.80	37.45
ED-5-J4	Muestra Natural	-20.3	17/02/2015	24/02/2015	20.32	81.50	9.50	11.88		
ED-3-J6	Muestra Natural	-20.3	17/02/2015	24/03/2015	19.16	80.60			38.70	48.94

PILAR 5

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota fin (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
P4 -6- J6	Lechada	-21.4	3/02/2015	10/02/2015	17.06	80.60	40.70	51.47		
P4 -8- J3	Lechada	-21.4	3/02/2015	3/03/2015	18.12	80.80			88.90	112.14
P4 -8- J1	Resurgencia	-21.4	3/02/2015	10/02/2015	20.32	82.00	5.40	6.71		
P4 -7- J2	Resurgencia	-21.4	3/02/2015	3/03/2015	19.75	81.10			20.40	25.64
P4 -6- J3	Muestra Natural	-21.4	3/02/2015	10/02/2015	20.32	81.50	9.50	11.88		
P4 -6-J1	Muestra Natural	-21.4	3/02/2015	3/03/2015	19.16	80.60			30.70	38.82

PILAR 4

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota fin (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
P4 -6- J6	Lechada	-21.4	22/01/2015	29/01/2015	19.88	81.40	123.70	154.89		
P4 -8- J3	Lechada	-21.4	22/01/2015	19/02/2015	19.91	80.80			45.10	56.89
P4 -8- J1	Resurgencia	-21.4	22/01/2015	29/01/2015	20.32	80.60	4.00	5.06		
P4 -7- J2	Resurgencia	-21.4	22/01/2015	19/02/2015	19.94	81.10			8.70	10.93
P4 -6- J3	Muestra Natural	-21.4	22/01/2015	29/01/2015	20.32	80.70	10.10	12.76		
P4 -6-J1	Muestra Natural	-21.4	22/01/2015	19/02/2015	20.02	81.90			19.60	24.39

PILAR 3

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota fin (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
P3-1-J1	Lechada	-21.4	2/02/2015	9/02/2015	10.24	20.30	14.50	72.81		
P3-8-J8	Lechada	-21.4	2/02/2015	2/03/2015	10.31	20.40			10.60	52.96
P3-8-J6	Resurgencia	-21.4	2/02/2015	9/02/2015	11.11	20.40	9.40	46.97		
P3-7-J7	Resurgencia	-21.4	2/02/2015	2/03/2015	10.97	21.10			12.20	58.93
P3-6-J8	Muestra Natural	-21.4	2/02/2015	9/02/2015	20.15	81.50	37.50	46.90		
P3-6-J6	Muestra Natural	-21.4	2/02/2015	2/03/2015	20.16	81.00			65.50	82.42

PILAR 2

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota fin (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
P2-3-J3	Lechada	-21.4	24/12/2014	3/01/2015	9.91	23.00	16.40	72.68		
P2-3-J1	Lechada	-21.4	24/12/2014	21/01/2015	10.09	21.65			19.70	92.75
P2-2-J2	Resurgencia	-21.4	24/12/2014	3/01/2015	20.16	80.00	1.40	1.78		
P2-1-J3	Resurgencia	-21.4	24/12/2014	21/01/2015	20.15	79.80			3.60	4.60
P2-1-J1	Muestra Natural	-21.4	25/12/2014	3/01/2015	20.28	80.00	6.10	7.77		
P2-3-J8	Muestra Natural	-21.4	25/12/2014	21/01/2015	20.27	80.60			15.90	20.11

PILAR 1

PARAMETRO : "DISEÑO Ø 1000mm x 20 000 mm "

N° Probeta	Tipo	Cota fin (m)	Fecha de Toma	Fecha de Rotura	Altura (cm)	Área (cm2)	RCS			
							7 Días		28 Días	
							Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)	Carga (KN)	Resistencia (Kg/cm2)
P1-8-J8	Lechada	-21.4	18/12/2014	25/12/2014	9.66	21.00	32.00	155.32		
P1-8-J6	Lechada	-21.4	18/12/2014	15/01/2015	9.60	20.59			14.60	72.27
P1-7-J7	Resurgencia	-21.4	18/12/2014	25/12/2014	20.30	79.00	28.30	36.51		
P1-6-J8	Resurgencia	-21.4	18/12/2014	15/01/2015	20.32	81.71			60.20	75.09
P1-6-J6	Muestra Natural	-21.4	18/12/2014	25/12/2014	20.40	80.00	20.70	26.37		
P1-8-J3	Muestra Natural	-21.4	18/12/2014	15/01/2015	20.36	80.75			33.80	42.66

Fuente: Consorcio Vial Quilca – Matarani.

8.11 Atrapamientos de la línea de Inyección

- Cuando se encuentren estratos duros, el espacio anular entre el varillaje y el terreno es justo de manera que, pueda producirse un estrangulamiento entre el varillaje y el estrato. Al tener presencia de gravas en el terreno se ha presentado en varias ocasiones el atrapamiento de la línea de inyección, la que en ocasiones no se ha podido recuperar.
- En el proyecto hubo cuatro atrapamientos críticos, dos líneas no pudieron rescatarse.

INICIO	FIN	DURACIÓN	COLUMNA	¿SE RECUPERÓ LA LÍNEA?
28/11/2014	12/12/2014	14	P2-P8-J3	NO
06/01/2015	07/01/2015	1	P1-P2-J7	SI
09/01/2015	16/01/2015	7	P1-P7-J8	NO
20/01/2015	22/01/2015	2	P1-P7-J1	SI

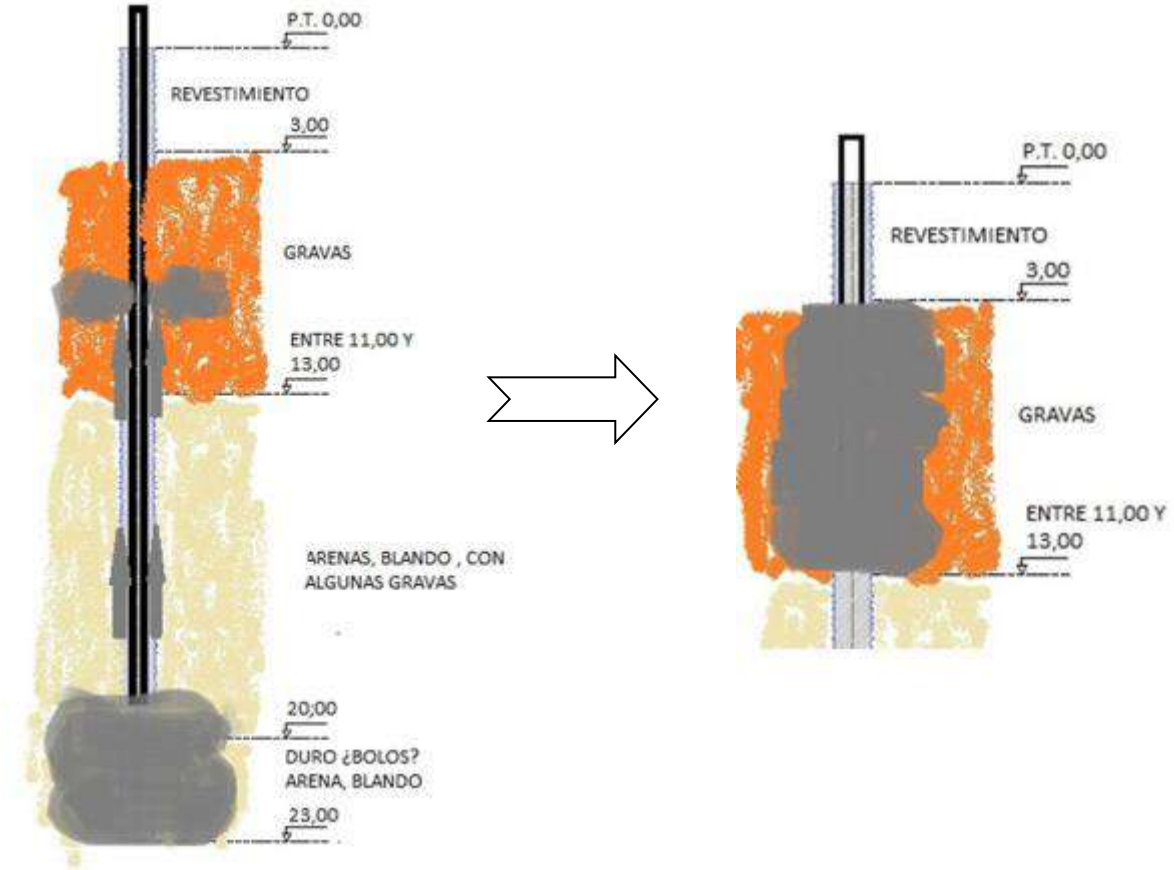
Foto N° 103. Atrapamiento de la línea de Inyección P2-P8-J3.

- Para evitar este problema se plantearon dos soluciones (la segunda fue consecuencia de que la primera no surgió efecto):
- Perforar usando una *lechada de cemento* (mayor consumo de cemento) en vez de agua para estabilizar las paredes del terreno al momento de que la línea llegue a la profundidad de diseño y proceder con la inyección (Método 02).
- Construcción de la columna en dos etapas (Método 03).

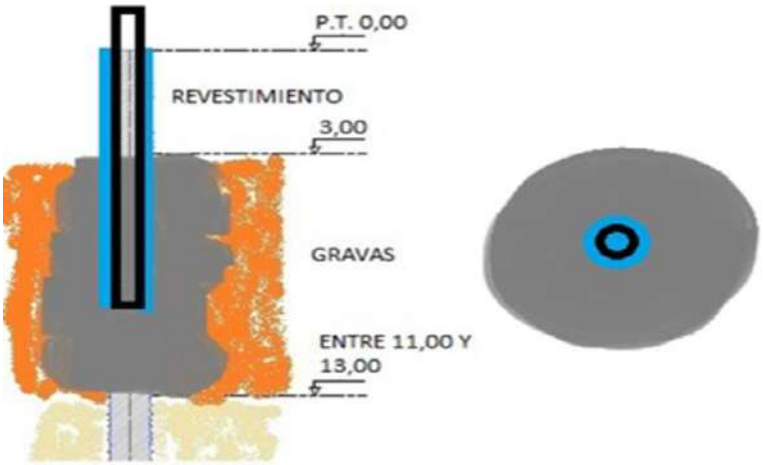
Foto N° 104. Atrapamiento de la línea de Inyección P1-P7-J8.

Construcción de la columna en dos etapas

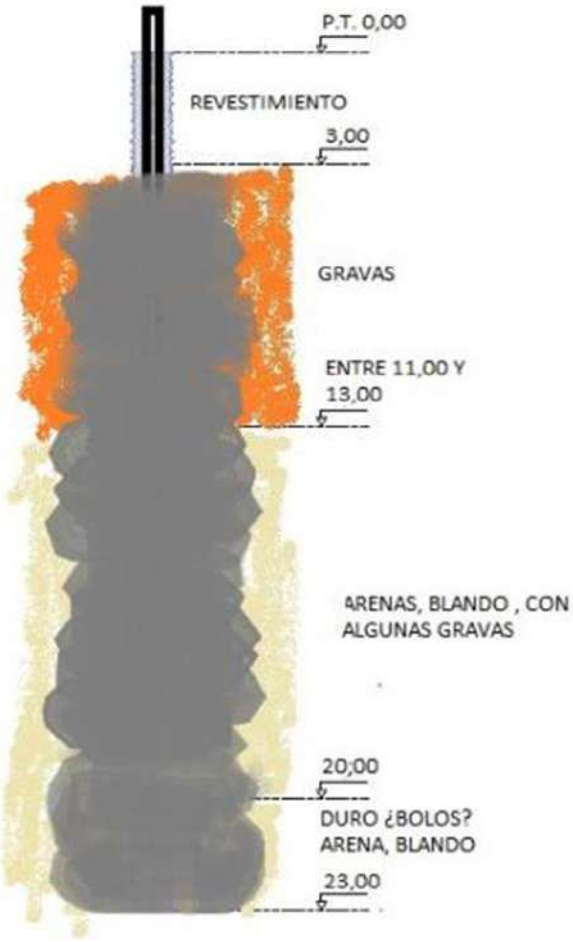
- La presencia de gravas se daba en los primeros metros de perforación, es por eso que se decidió impermeabilizar esa zona construyendo primero los 10 metros iniciales de columna en esa zona; se aprecia en las imágenes N° 47 y N°48.

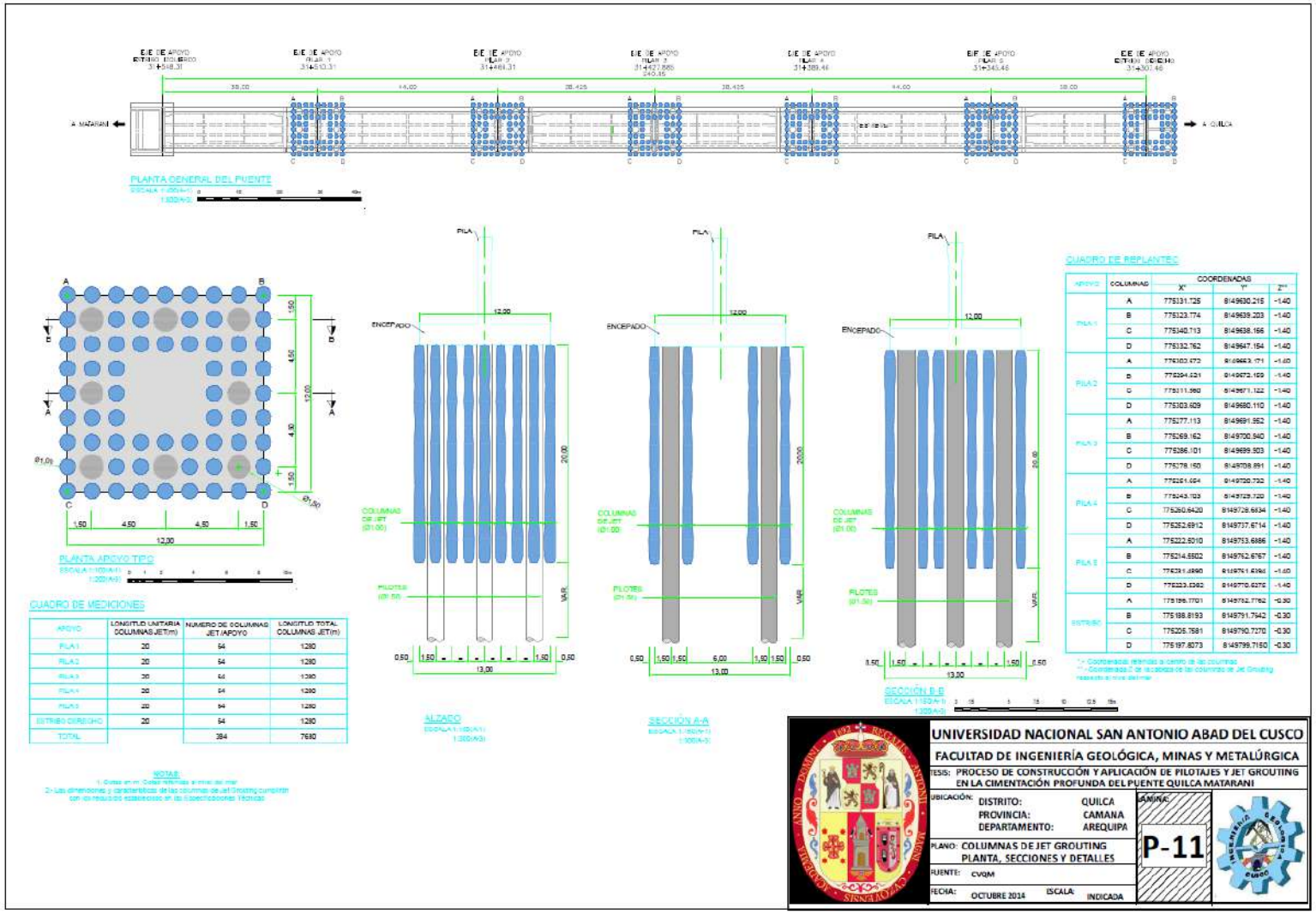


- Para construir los 10 metros finales debía esperarse un tiempo de fragua mínimo de 12 horas. Con ayuda del equipo de pre perforación se encamiseta la sección hasta llegar a la profundidad de diseño, se inyectaba considerando un traslape de 0.50m entre ambas etapas, e inyectaba en la zona del encamisetado en las imágenes N° 49 y N°50.


P.T. 0,00
REVESTIMIENTO
3,00
GRAVAS
ENTRE 11,00 Y
13,00

P.T. 0,00
REVESTIMIENTO
3,00
GRAVAS
ENTRE 11,00 Y
13,00
ARENAS, BLANDO , CON
ALGUNAS GRAVAS
20,00
DURO ¿BOLOS?
ARENA, BLANDO
23,00


P.T. 0,00
REVESTIMIENTO
3,00
GRAVAS
ENTRE 11,00 Y
13,00
ARENAS, BLANDO , CON
ALGUNAS GRAVAS
20,00
DURO ¿BOLOS?
ARENA, BLANDO
23,00



APOYO	LONGITUD UNITARIA COLUMNAS JET(m)	NUMERO DE COLUMNAS JET/APOYO	LONGITUD TOTAL COLUMNAS JET(m)
PILA 1	20	64	1280
PILA 2	20	64	1280
PILA 3	20	64	1280
PILA 4	20	64	1280
PILA 5	20	64	1280
ESTRIBO DERECHO	20	64	1280
TOTAL		384	7680

APOYO	COLUMNAS	COORDENADAS X*	Y*	Z**
PILA 1	A	775131.725	8149630.215	-1.40
	B	775123.774	8149639.203	-1.40
	C	775140.713	8149638.166	-1.40
	D	775132.762	8149647.154	-1.40
PILA 2	A	775303.672	8149663.171	-1.40
	B	775294.621	8149672.159	-1.40
	C	775311.560	8149671.122	-1.40
	D	775303.609	8149680.110	-1.40
PILA 3	A	775277.113	8149691.352	-1.40
	B	775269.162	8149700.340	-1.40
	C	775286.101	8149699.303	-1.40
	D	775278.150	8149708.291	-1.40
PILA 4	A	775251.654	8149720.732	-1.40
	B	775243.703	8149729.720	-1.40
	C	775260.6420	8149728.6834	-1.40
	D	775252.6912	8149737.6714	-1.40
PILA 5	A	775222.5010	8149753.6886	-1.40
	B	775214.5502	8149762.6767	-1.40
	C	775231.4890	8149761.6394	-1.40
	D	775223.5382	8149770.6276	-1.40
ESTRIBO	A	775196.7701	8149782.7762	-0.30
	B	775188.8193	8149791.7642	-0.30
	C	775205.7581	8149790.7270	-0.30
	D	775197.8073	8149799.7150	-0.30

Armado de Acero Zapata y Pilar N° 04

Falso Puente Encofrado Ulma (Armado de Losa entre el Pilar 01 y 02)

Pantallas completas del puente post tensado Quilca - Matarani.

Relleno de terraplén estribo derecho, puente Quilca.

Colocación de mezcla asfáltica en caliente, plataforma del puente Quilca.

Puente Quilca 242.00 m. Vista aguas arriba.

CONCLUSIONES

Primero. *Definir y determinar las características geológicas, geomorfológicas, hidrológicas, en la quebrada del río Quilca, ciudad de Arequipa.*

Segundo. *Determinar la capacidad portante al suelo existente; a través del análisis del sub suelo en el que se tienen en cuenta los elementos que afectan a la resistencia de la base, como los límites de resistencia, el ángulo de fricción interno, la permeabilidad, la densidad y los parámetros geotécnicos.*

Tercero. *Calcular las deformaciones de la estructura del puente Quilca Matarani estén dentro de los parámetros mínimos, o que los movimientos causados por la deformación de terreno sean tolerables para la estructura.*

Cuarto. *Determinar y diseñar la construcción y aplicación de los pilotes y jet grouting, para resistir la licuefacción resultado de los movimientos causados por los sismos.*

Quinto. *Calcular las variables que intervienen en la caracterización de los suelos aluviales encontrados.*

La capacidad portante del suelo existente menor a 10 SPT (N° golpes / pie). 3kg/cm2.

Sexto. *Demostrar técnicamente las condiciones de cambio, antes y después; resultaos tangibles en la mejora geomecánica en la cimentación y fundación del puente Quilca Matarani, mediante los resultados obtenidos pilotes de resistencia f'c350 kg/cm2, y aplicación de Jet Grouting resistencia f´c50 kg/cm2*

RECOMENDACIONES

Primero. *- Se recomienda trabajos de monitoreo para evaluar los probables asentamientos comportamiento de losa de rodadura del puente sobre la realización del control permanente en el tiempo la estabilidad del puente.*

Segundo. *- Evaluar el proceso Geodinámico de la cuenca especialmente en época de lluvias (erosión marginal)*

Tercero. *- Se recomienda con el propósito de obtener mejores resultados realizar un control y análisis para cada caso en particular en el que sea empleada las perforaciones para pilotes e inyecciones jet grouting para de esa manera continuar mejorando sus parámetros.*

Cuarto. *- Se recomienda con el propósito de enriquecer la gestión del conocimiento en el campo de perforación pilotaje, Inyecciones jet grouting y de la geotecnia, compartir toda la información confiable de experiencias exitosas.*

ANEXOS

Anexo I: Registro Geotécnico – Sondaje Estribo Derecho…… I

Anexo II: registro Geotécnico – sondaje pilar n°05…….....II

Anexo III: registro Geotécnico – sondaje pilar n°03…….III

Anexo IV: registro Geotécnico – sondaje pilar n°02……...IV

Anexo V: registro Geotécnico – sondaje pilar n°01……..…V

Anexo VI: Registro Geotécnico – Sondaje Estribo Izquierdo……. VI

Anexo VII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…… VII

Anexo VIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318..… VIII

Anexo IX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…… IX

Anexo X: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…….. X

Anexo XI: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…… XI

Anexo XII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…….. XII

Anexo XIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…….. XIII

Anexo XIV: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…….. XIV

Anexo XV: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…… XV

Anexo XVI: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…….. XVI

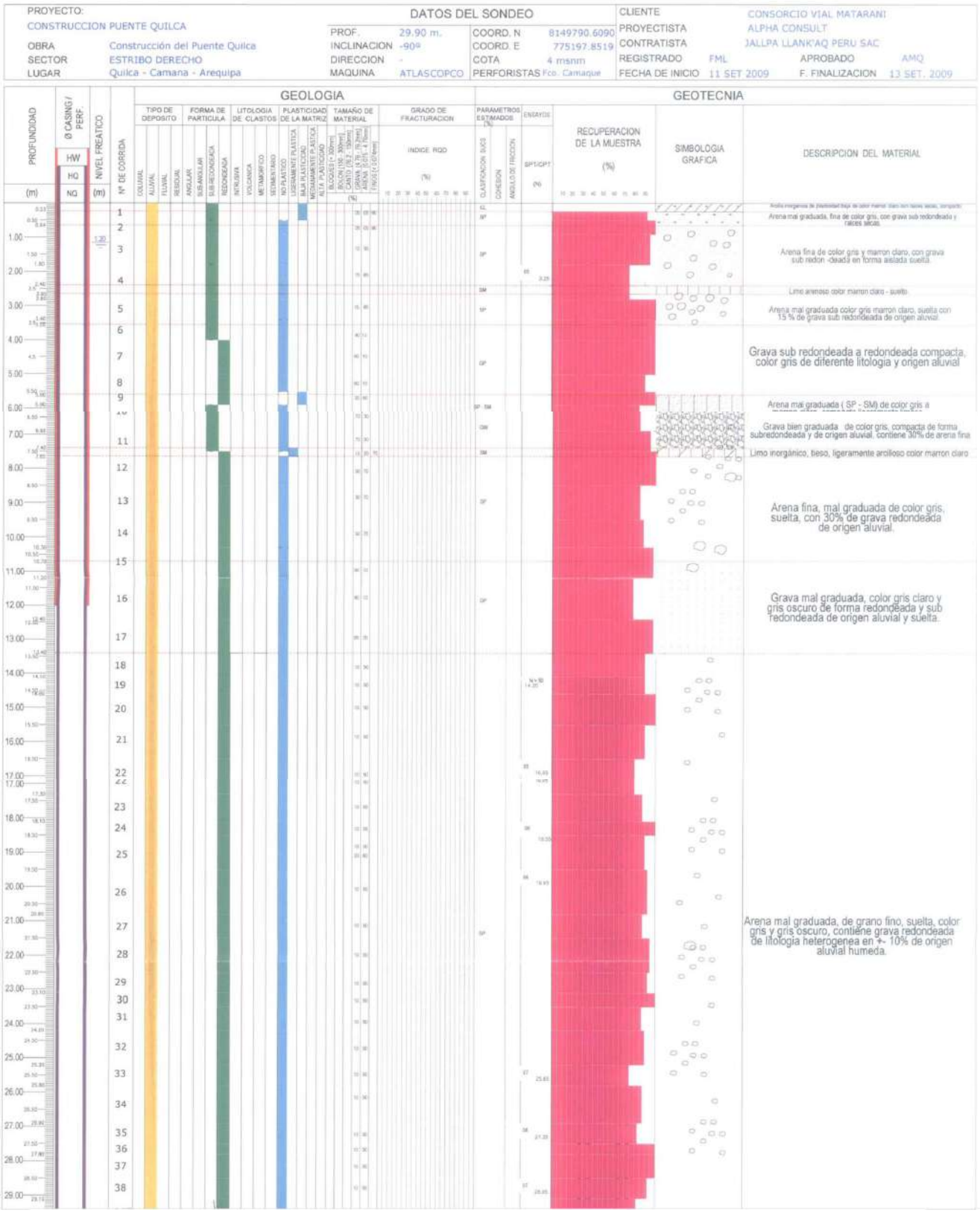
Anexo XVII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318….. XVII

Anexo XVIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318….XVIII

Anexo XIX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318……. XIX

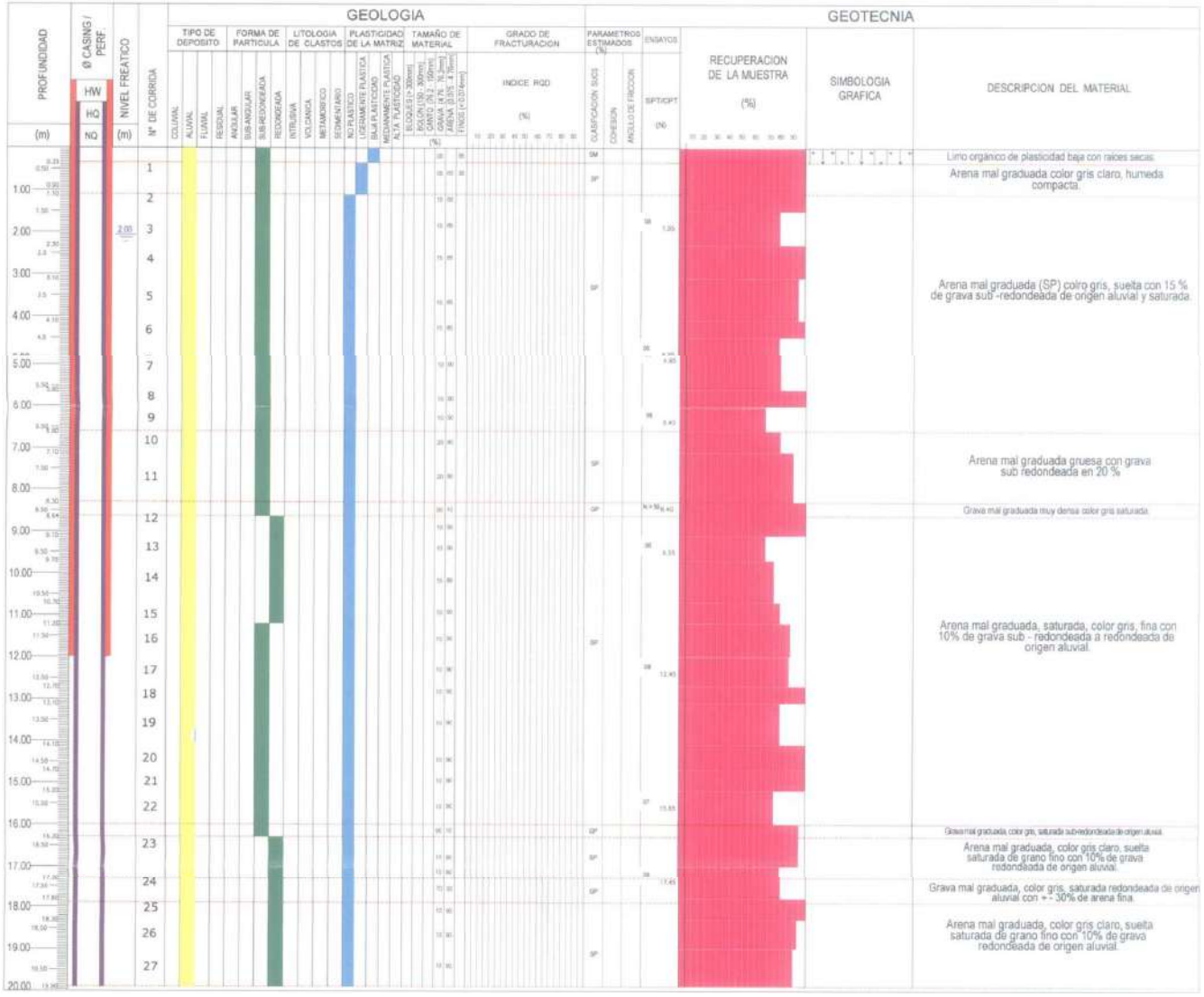
Anexo XIX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318…..… XX

Anexo I: Registro Geotécnico – Sondaje Estribo Derecho



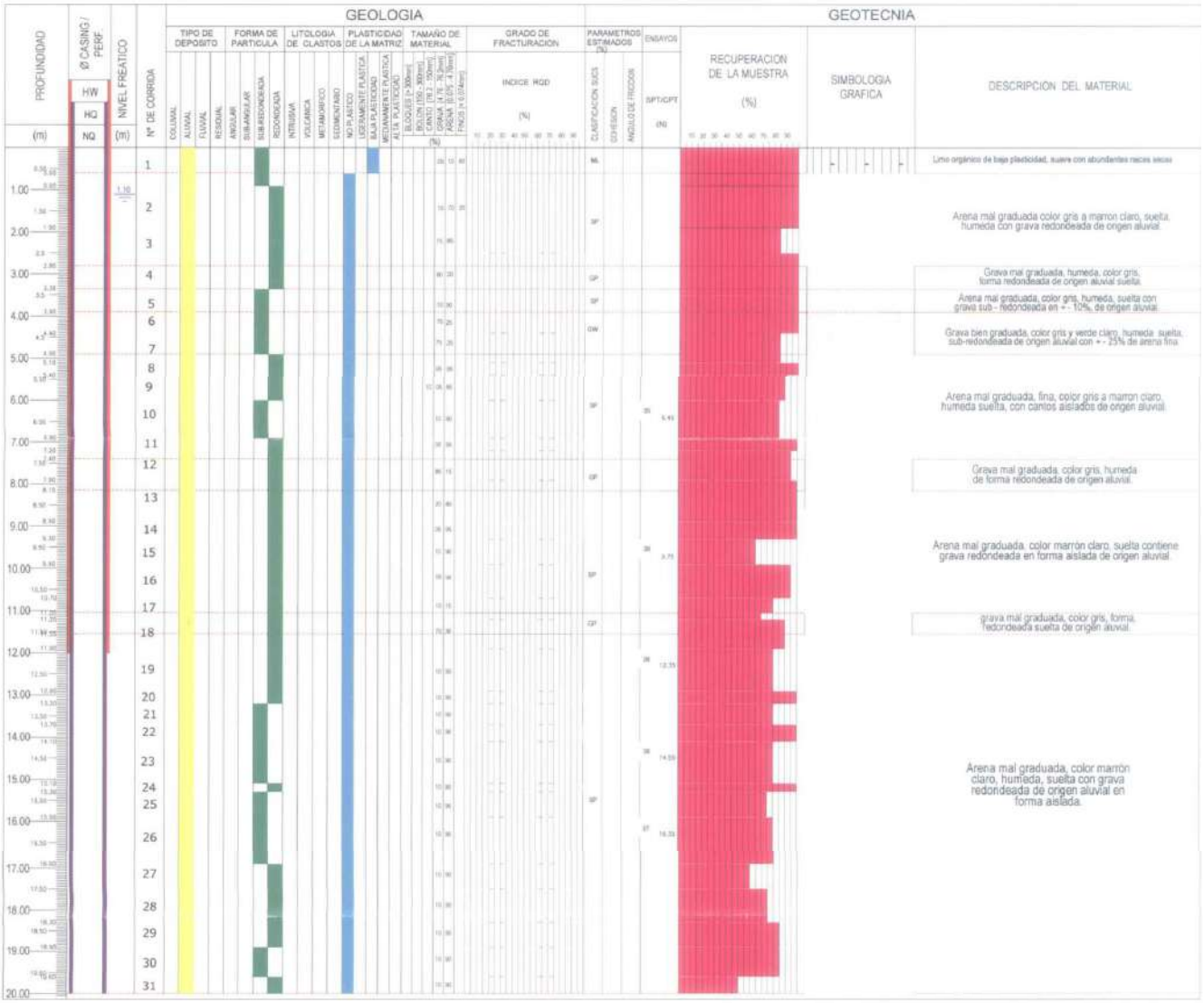
Anexo II: registro Geotécnico – sondaje pilar n°05

PROYECTO:		DATOS DEL SONDEO		CLIENTE	CONSORCIO VIAL MATARANI
CONSTRUCCION PUENTE QUILCA		PROF.	19.90 m.	PROYECTISTA	ALPHA CONSULT
OBRA	Construcción del Puente Quilca	INCLINACION	-90°	CONTRATISTA	JALLPA LLANK'AQ PERU SAC
SECTOR	PILAR 5	DIRECCION	-	REGISTRADO	FML
LUGAR	Quilca - Camana - Arequipa	MAQUINA	ATLASCOPCO	APROBADO	AMQ
		COORD. N	8149762.1580	FECHA DE INICIO	14 SET 2009
		COORD. E	775223.0196	F. FINALIZACION	15 SET. 2009
		COTA APROX.	5.00 msnm		
		PERFORISTAS	Fco. Camaque		



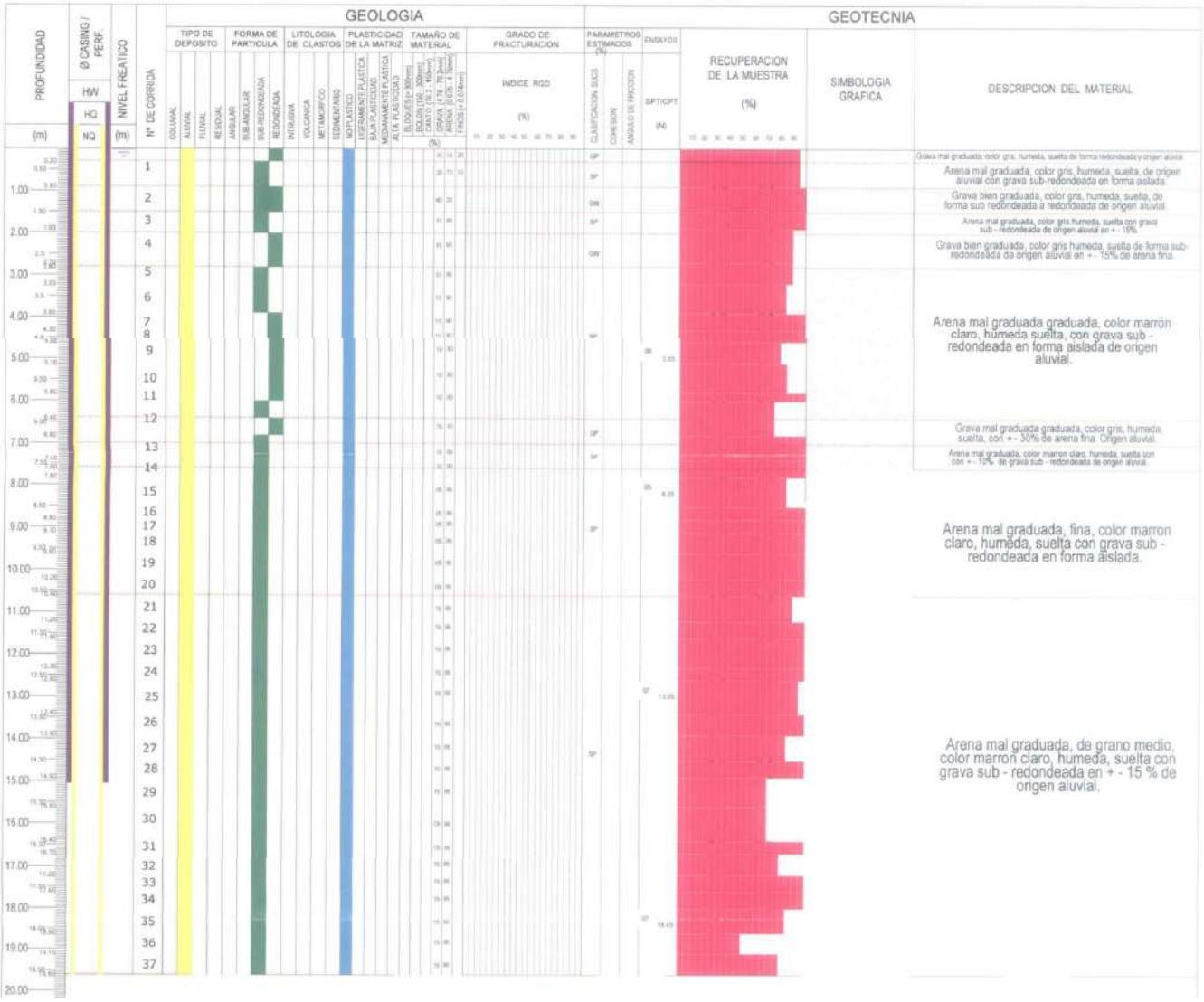
Anexo III: registro Geotécnico – sondaje pilar n°03

PROYECTO:		DATOS DEL SONDEO		CLIENTE	CONSORCIO VIAL MATARANI
CONSTRUCCION PUENTE QUILCA		PROF.	20.00 m.	PROYECTISTA	ALPHA CONSULT
OBRA	Construcción del Puente Quilca	INCLINACION	-90°	CONTRATISTA	JALLPA LLANK'AQ PERU SAC
SECTOR	PILAR 3	DIRECCION	-	REGISTRADO	FML
LUGAR	Quilca - Camana - Arequipa	MAQUINA	ATLASCOPCO	FECHA DE INICIO	16 SET 2009
		COORD. N	8149700.4216	APROBADO	AMQ
		COORD. E	775277.6318	F. FINALIZACION	17 SET. 2009
		COTA APROX.	4 msnm		
		PERFORISTAS	Fco. Camaque		

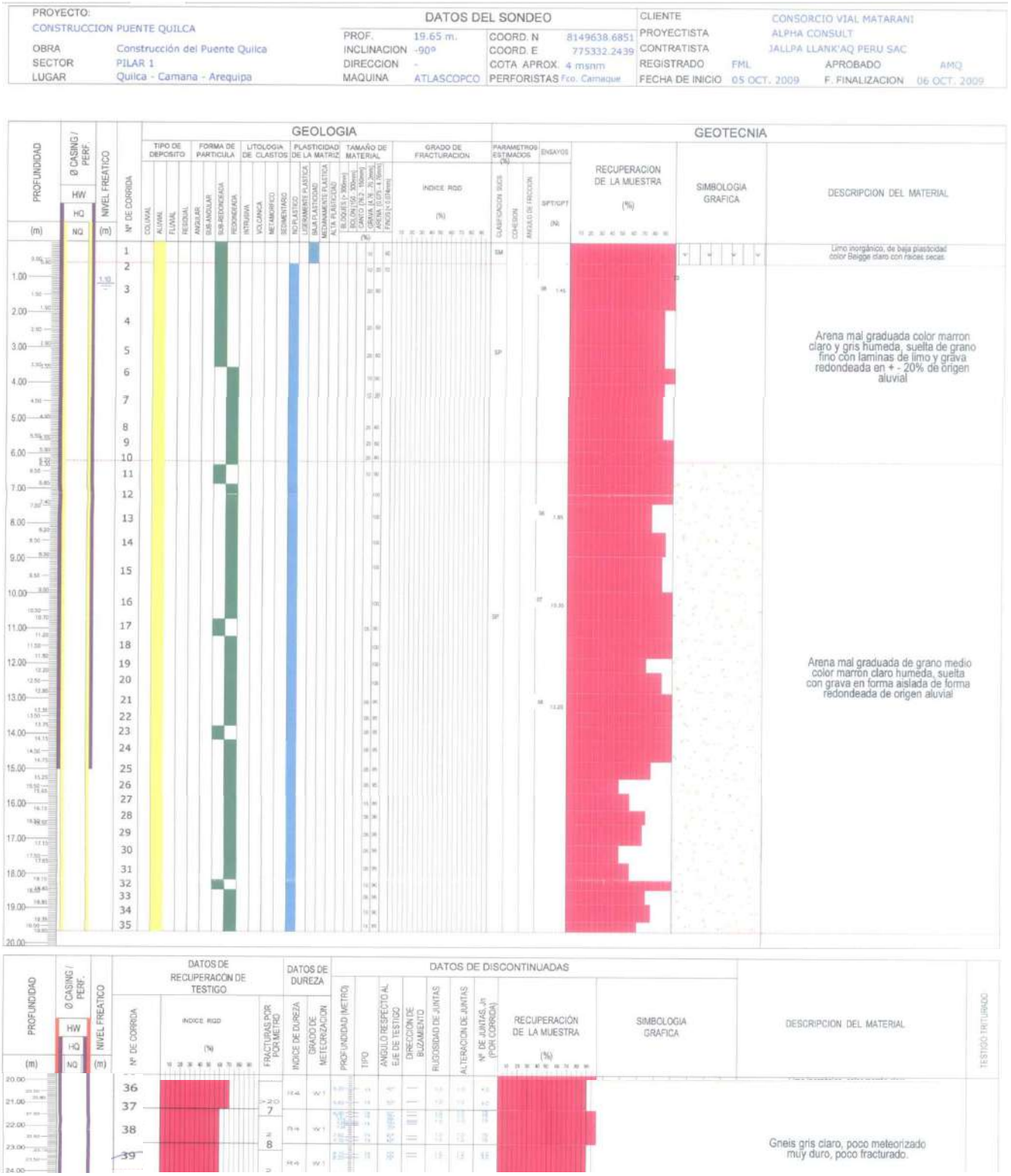


Anexo IV: registro Geotécnico – sondaje pilar n°02

PROYECTO:		DATOS DEL SONDEO		CLIENTE	CONSORCIO VIAL MATARANI
CONSTRUCCION PUENTE QUILCA		PROF.	19.60 m.	PROYECTISTA	ALPHA CONSULT
OBRA	Construcción del Puente Quilca	INCLINACION	-90°	CONTRATISTA	JALLPA LLANK'AQ PERU SAC
SECTOR	PILAR 2	DIRECCION	-	REGISTRADO	FML
LUGAR	Quilca - Camana - Arequipa	MAQUINA	ATLASCOPCO	FECHA DE INICIO	07 OCT 2009
		COORD. N	8149671.6412	APROBADO	AMQ
		COORD. E	775303.0909	F. FINALIZACION	08 OCT. 2009
		COTA APROX.	3 msnm		
		PERFORISTAS	Fco. Camaque		

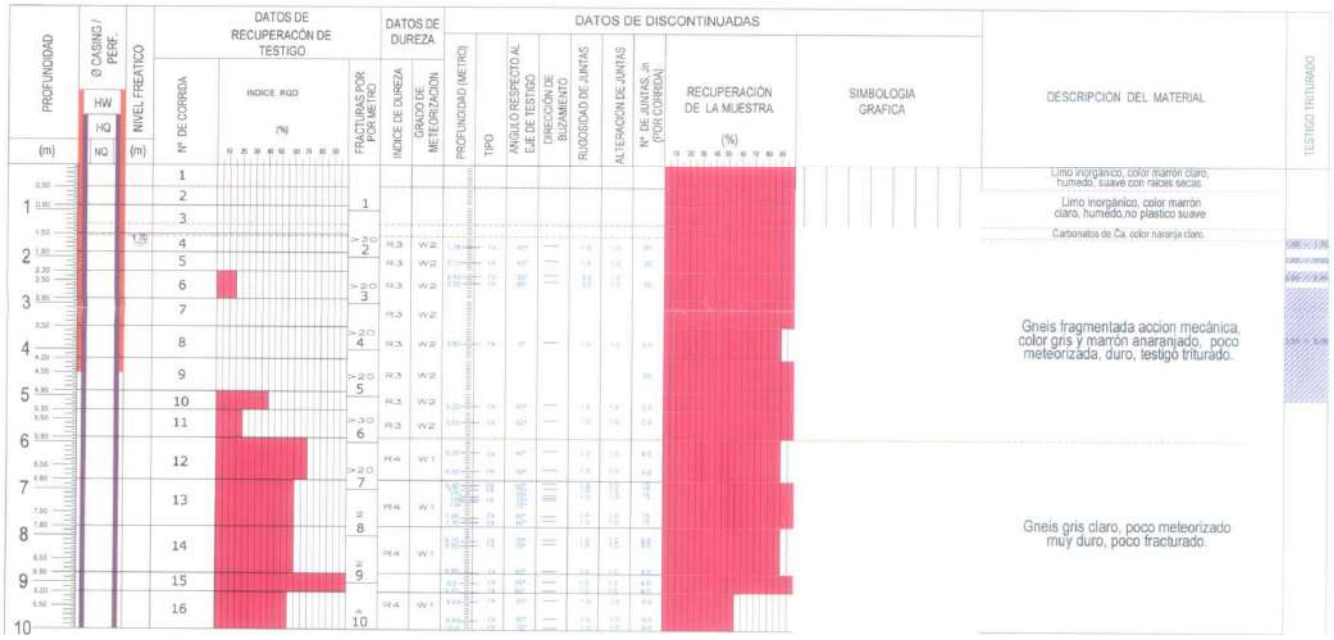


Anexo V: registro Geotécnico – sondaje pilar n°01



Anexo VI: Registro Geotécnico – Sondaje Estribo Izquierdo

PROYECTO:	CONSTRUCCION PUENTE QUILCA	DATOS DEL SONDEO		CLIENTE	CONSORCIO VIAL MATARANI
OBRA	Construcción del Puente Quilca	LONGITUD	10.00 m.	PROYECTISTA	ALPHA CONSULT
SECTOR	ESTRIBO IZQUIERDO	INCLINACION	-90º	CONTRATISTA	JALLPA LLANK'AQ PERU SAC
LUGAR	Quilca - Camana - Arequipa	DIRECCION	-	REGISTRADO	FML
		MAQUINA	ATLAS COPCO	APROBADO	AMQ
		COORD. N	8149610.2230	FECHA DE INICIO	02 OCT. 2009
		COORD. E	775357.4212	F. FINALIZACION	04 OCT. 2009
		COTA APROX.	5.0 msnm		
		PERFORISTAS	Fco. Camaque		



Anexo VII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014

ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	0,9 - 1,8
SONDAJE	E-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Estribo Derecho

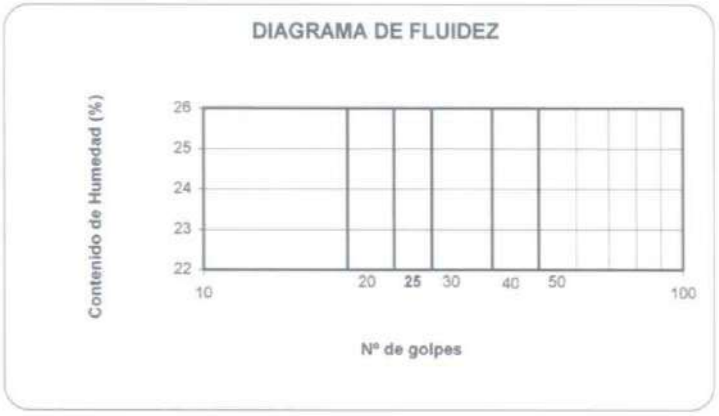
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Limites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.100	
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	100.0
1/4"	6.350	98.4
N° 4	4.760	98.1
N° 10	2.000	97.0
N° 20	0.840	91.6
N° 40	0.420	71.0
N° 60	0.250	37.3
N° 100	0.149	19.5
N° 200	0.074	12.1

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

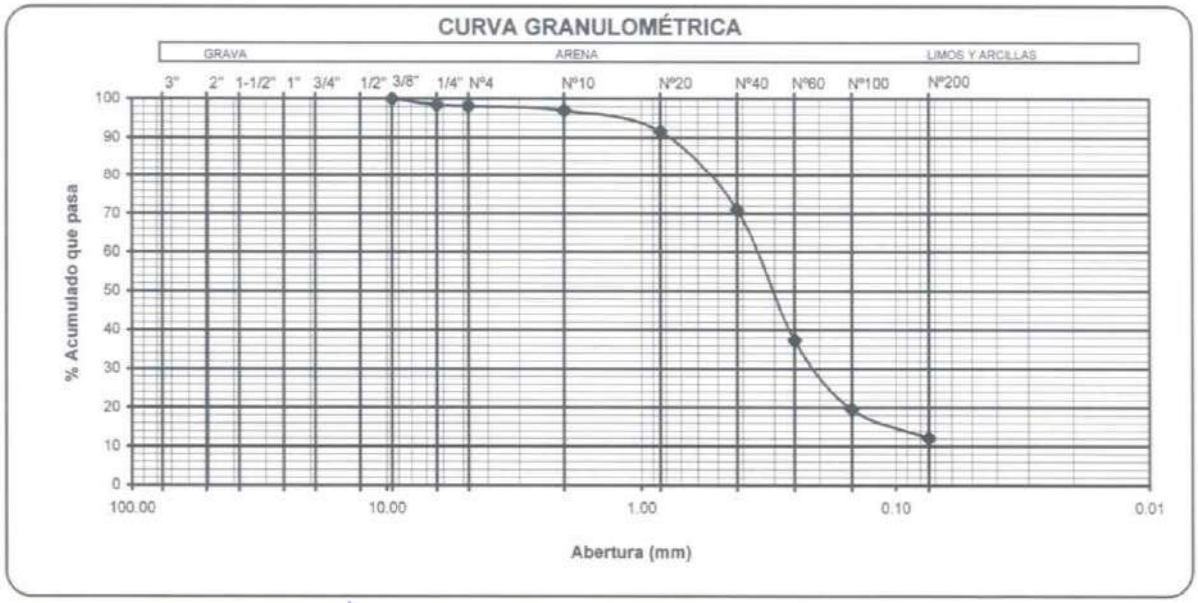
CLASIFICACIÓN SUCS :	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-2-4(0)



PESO INICIAL (gr.)	504.4	FRACCION (gr.)	494.9

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL) = NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP) = NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) = NP



Anexo VIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	7,5 - 8,3
SONDAJE	E-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Estribo Derecho

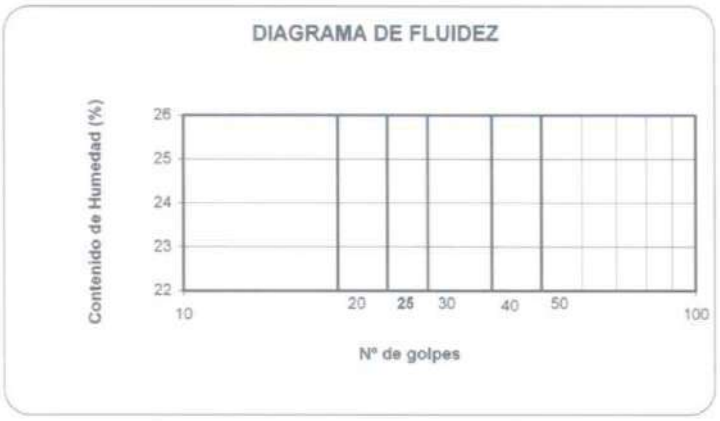
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	100.0
1-1/2"	38.100	90.5
1"	25.400	83.0
3/4"	19.100	78.3
1/2"	12.700	76.5
3/8"	9.520	74.7
1/4"	6.350	73.7
N° 4	4.760	70.4
N° 10	2.000	66.0
N° 20	0.840	55.3
N° 40	0.420	36.2
N° 60	0.250	23.1
N° 100	0.149	16.4
N° 200	0.074	11.9

CU	=	21.683
CC	=	1.379

Humedad Natural (%)	0.0

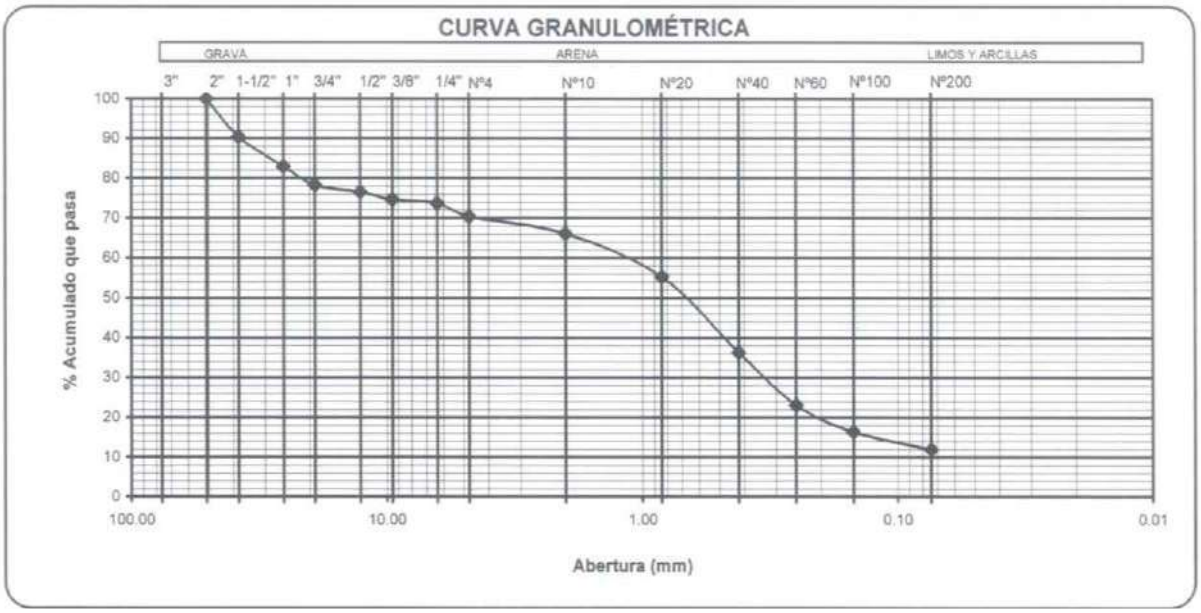
CLASIFICACIÓN SUCS	:	SW-SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	2645	FRACCION (gr.)	300

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo IX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014

ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	25,8 - 26,9
SONDAJE	E-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Estribo Derecho

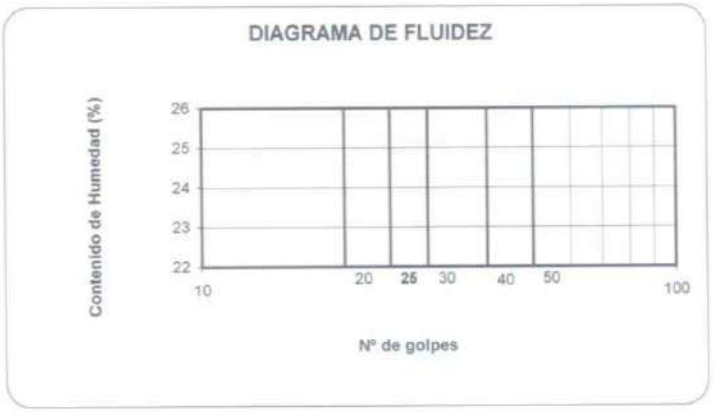
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.100	
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	
1/4"	6.350	
N° 4	4.760	100.0
N° 10	2.000	98.5
N° 20	0.840	94.2
N° 40	0.420	84.2
N° 60	0.250	68.8
N° 100	0.149	42.0
N° 200	0.074	12.2

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

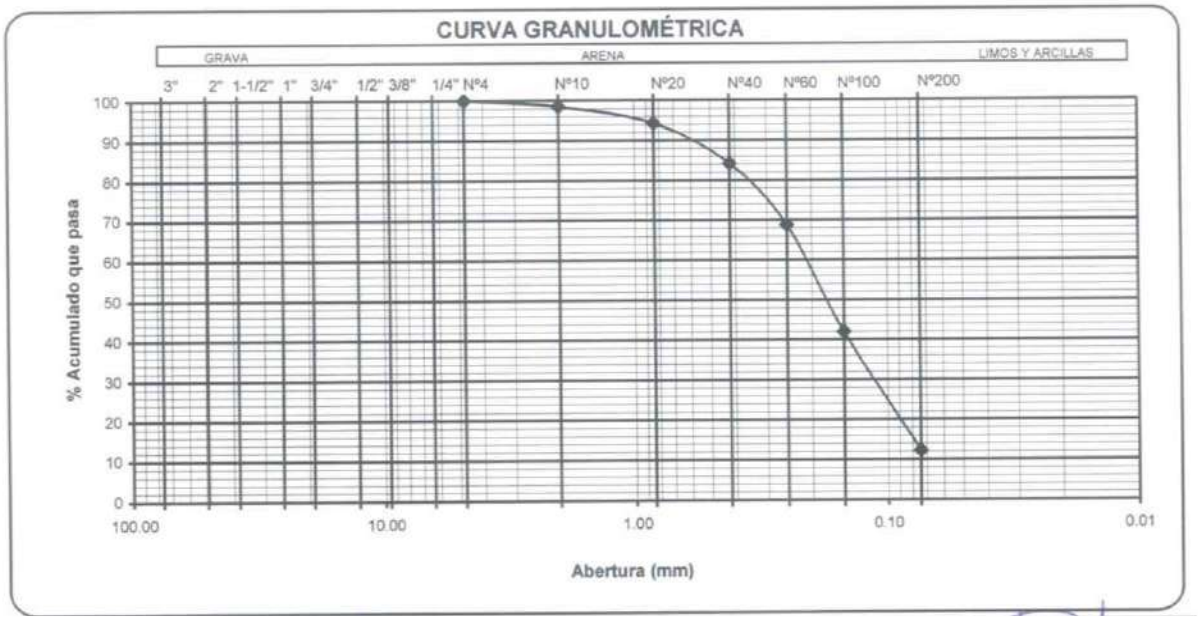
CLASIFICACIÓN SUCS :	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-2-4(0)



PESO INICIAL (gr.)	386.7	FRACCION (gr.)	

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
INDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo X: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014

ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	0,9 - 1,5
SONDAJE	PL-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 1

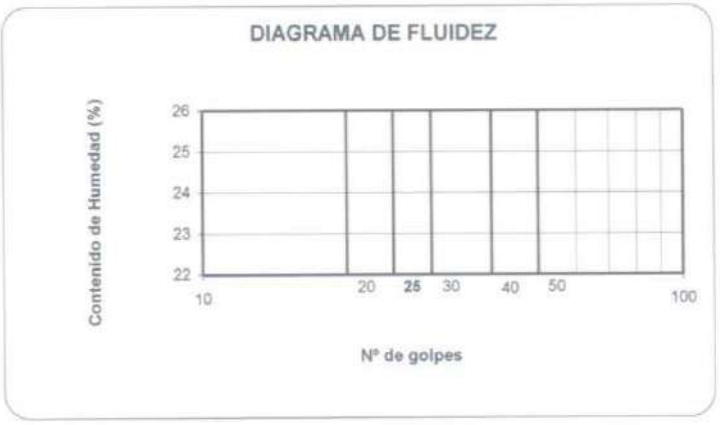
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.100	
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	
1/4"	6.350	
N° 4	4.760	100.0
N° 10	2.000	98.1
N° 20	0.840	95.2
N° 40	0.420	79.4
N° 60	0.250	49.9
N° 100	0.149	35.5
N° 200	0.074	32.0

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

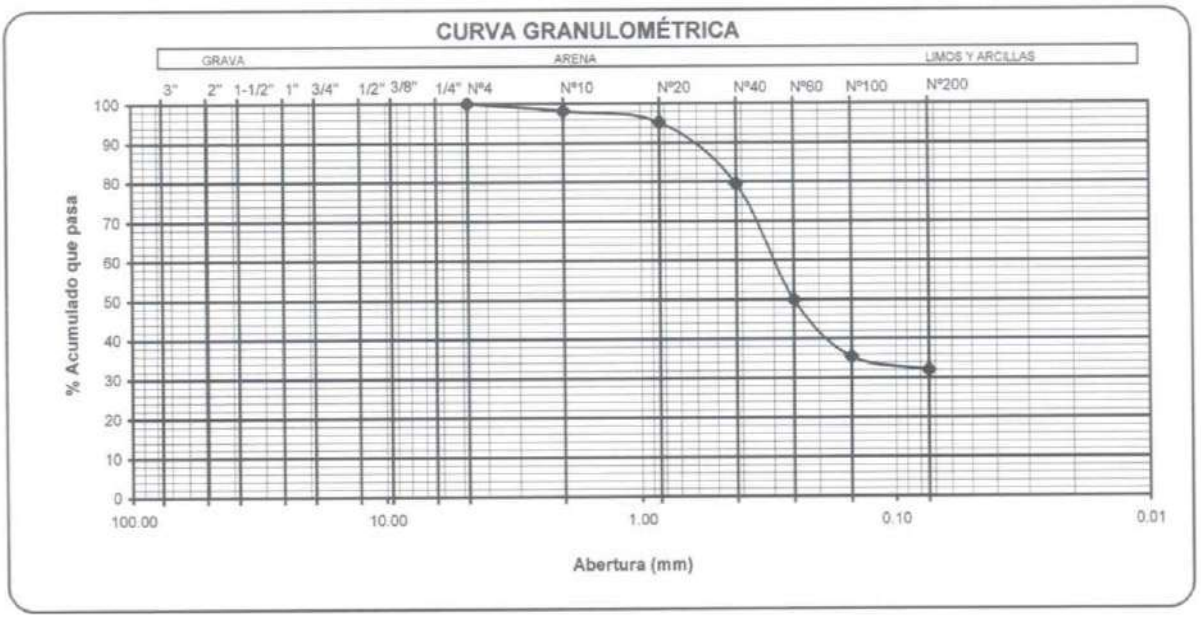
CLASIFICACIÓN SUCS :	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-2-4(0)



PESO INICIAL (gr.)	404.3	FRACCION (gr.)	

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
INDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XI: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	17,3 - 17,8
SONDAJE	PL-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 1

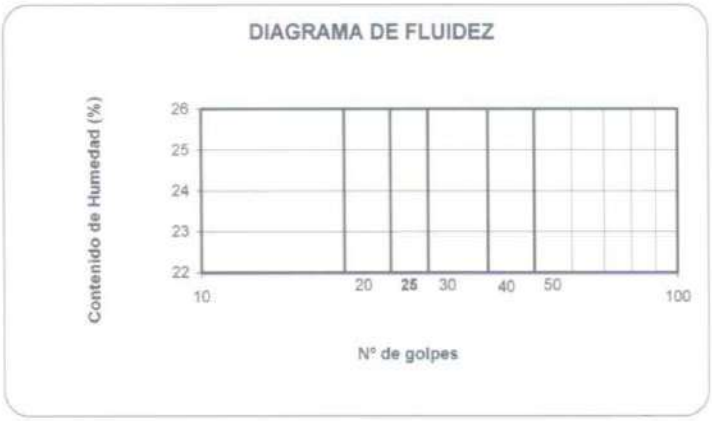
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	100.0
1-1/2"	38.100	72.3
1"	25.400	50.4
3/4"	19.100	34.3
1/2"	12.700	29.0
3/8"	9.520	28.7
1/4"	6.350	28.5
N° 4	4.760	28.5
N° 10	2.000	28.4
N° 20	0.840	27.3
N° 40	0.420	22.2
N° 60	0.250	13.6
N° 100	0.149	8.8
N° 200	0.074	7.8

CU	=	177.801
CC	=	35.805

Humedad Natural (%)	0.0

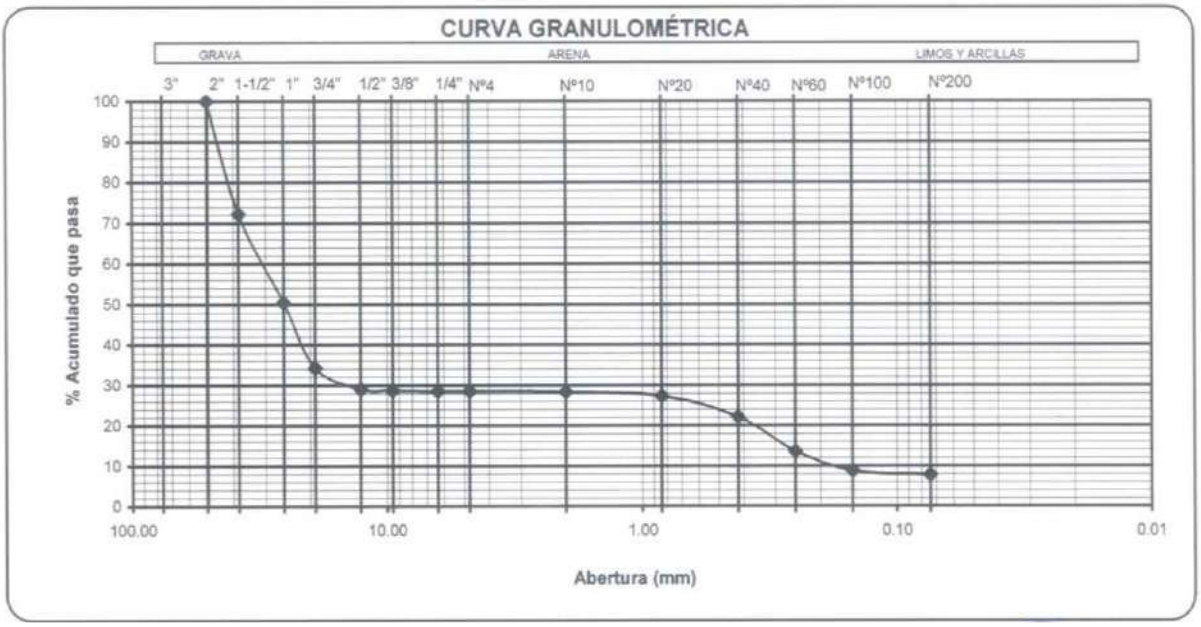
CLASIFICACIÓN SUCS	:	GP-GM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-a(0)



PESO INICIAL (gr.)	1259.7	FRACCIÓN (gr.)	291.8

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	18,3 - 19,0
SONDAJE	PL-1	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 1

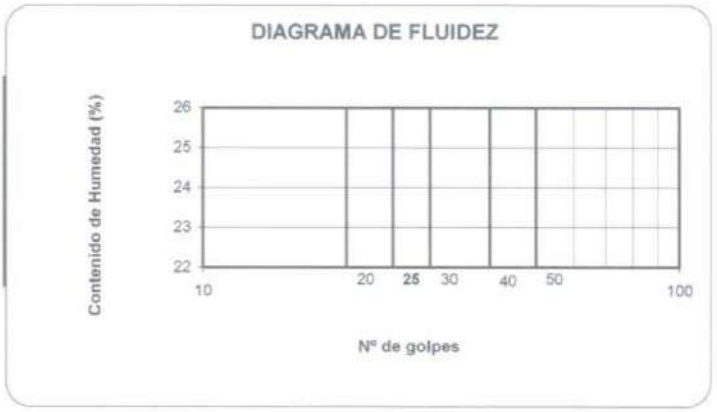
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	97.4
3/4"	19.100	88.7
1/2"	12.700	86.8
3/8"	9.520	86.0
1/4"	6.350	85.6
N° 4	4.760	85.1
N° 10	2.000	83.3
N° 20	0.840	73.1
N° 40	0.420	40.7
N° 60	0.250	17.7
N° 100	0.149	10.7
N° 200	0.074	9.4

CU	=	6.165
CC	=	1.598

Humedad Natural (%)	0.0

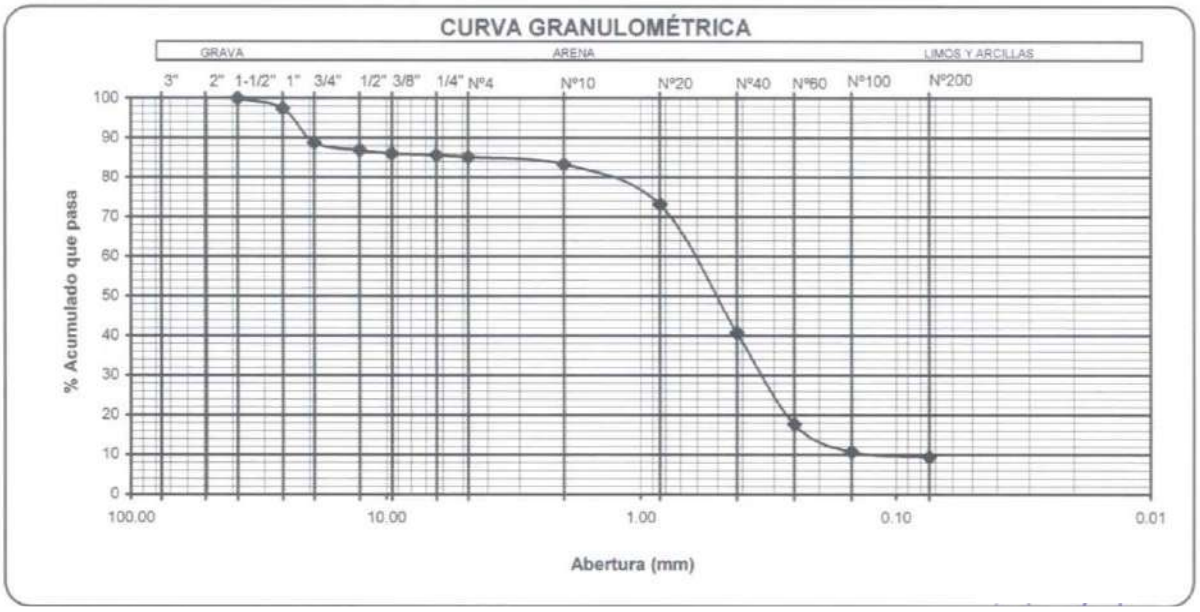
CLASIFICACIÓN SUCS	:	SW-SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	1995.4	FRACCION (gr.)	296.9

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	3,9 - 4,1
SONDAJE	PL-3	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 3

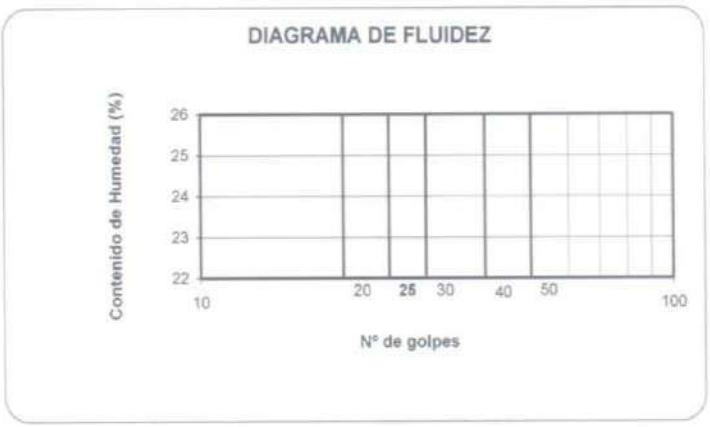
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	100.0
1-1/2"	38.100	83.5
1"	25.400	64.5
3/4"	19.100	50.8
1/2"	12.700	44.9
3/8"	9.520	39.0
1/4"	6.350	36.3
N° 4	4.760	31.8
N° 10	2.000	27.5
N° 20	0.840	21.9
N° 40	0.420	11.9
N° 60	0.250	5.7
N° 100	0.149	3.4
N° 200	0.074	2.7

CU	=	63.471
CC	=	1.514

Humedad Natural (%)	0.0

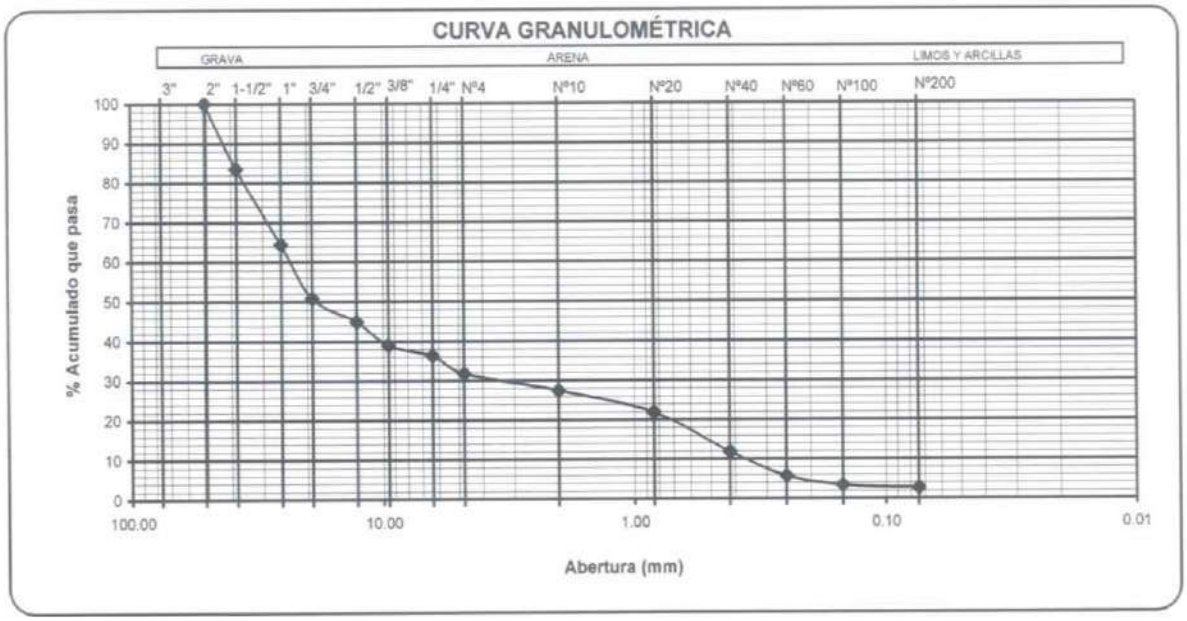
CLASIFICACIÓN SUCS	:	GW
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-a(0)



PESO INICIAL (gr.)	884.7	FRACCIÓN (gr.)	281.4

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LÍMITE LÍQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XIV: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	14,1 - 15,1
SONDAJE	PL-3	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 3

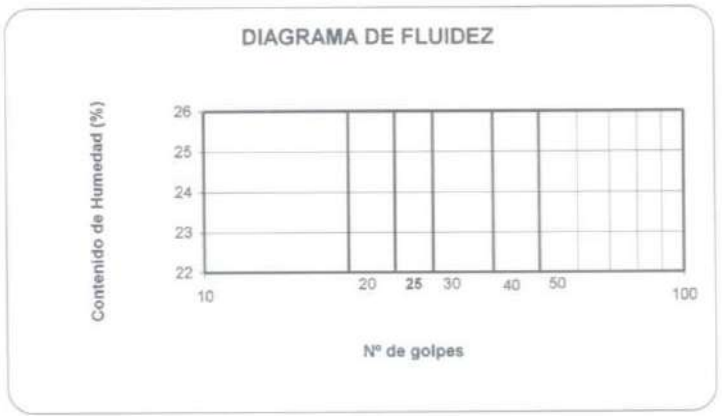
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.100	
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	
1/4"	6.350	
N° 4	4.760	100.0
N° 10	2.000	99.2
N° 20	0.840	93.4
N° 40	0.420	60.6
N° 60	0.250	27.5
N° 100	0.149	17.1
N° 200	0.074	15.9

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

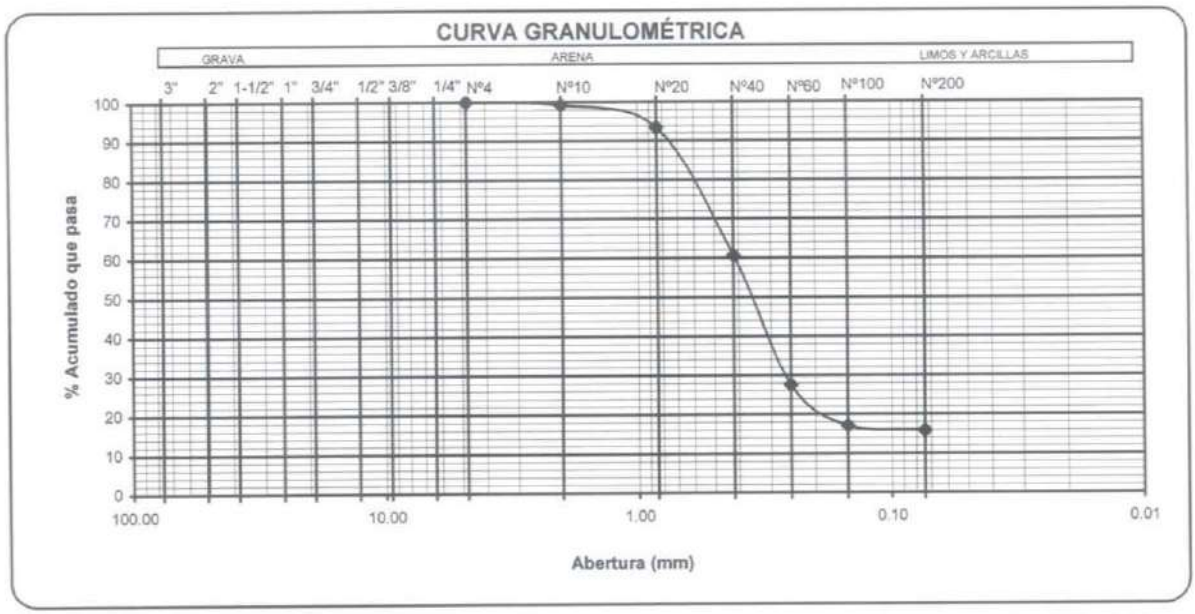
CLASIFICACIÓN SUCS	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-2-4(0)



PESO INICIAL (gr.)	492.8	FRACCION (gr.)	

PUNTOS	1	2	3	
N° GgolpES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
INDICE PLASTICO (IP)	=	NP



Anexo XV: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	18,3 - 18,9
SONDAJE	PL-3	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 3

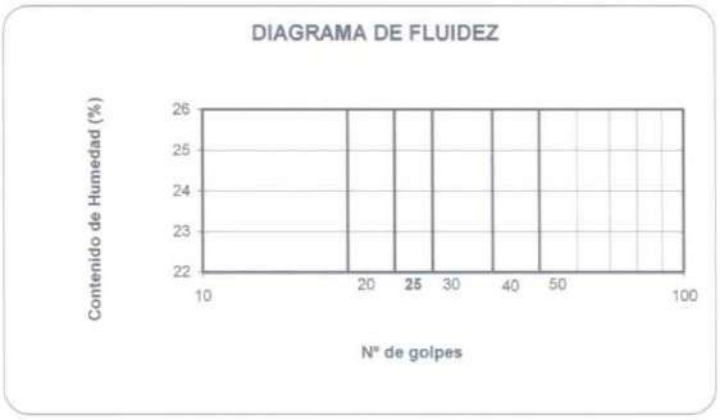
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	91.1
3/4"	19.100	88.9
1/2"	12.700	88.9
3/8"	9.520	88.9
1/4"	6.350	88.9
N° 4	4.760	88.9
N° 10	2.000	88.5
N° 20	0.840	83.6
N° 40	0.420	55.0
N° 60	0.250	34.7
N° 100	0.149	26.0
N° 200	0.074	24.4

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

CLASIFICACIÓN SUCS	:	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-2-4(0)



PESO INICIAL (gr.)	2074.5	FRACCION (gr.)	298.3

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL) = NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP) = NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) = NP

Anexo XVI: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014

ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	1,5 - 19,0
SONDAJE	PL-4	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 4

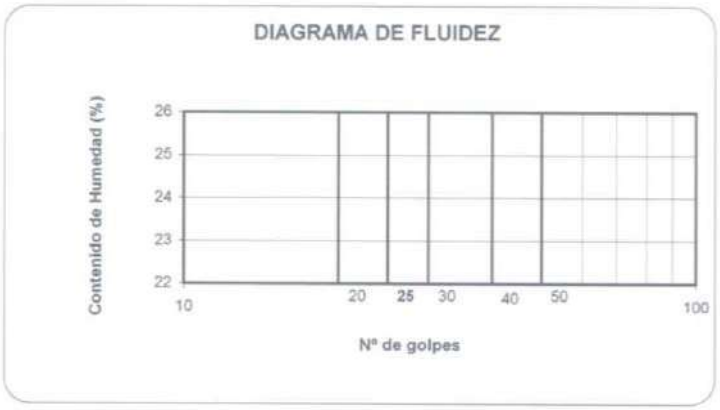
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	100.0
3/4"	19.100	97.7
1/2"	12.700	86.4
3/8"	9.520	81.8
1/4"	6.350	79.1
N° 4	4.760	76.1
N° 10	2.000	70.0
N° 20	0.840	54.5
N° 40	0.420	24.6
N° 60	0.250	12.6
N° 100	0.149	8.5
N° 200	0.074	6.9

CU	=	6.744
CC	=	1.056

Humedad Natural (%)	0.0

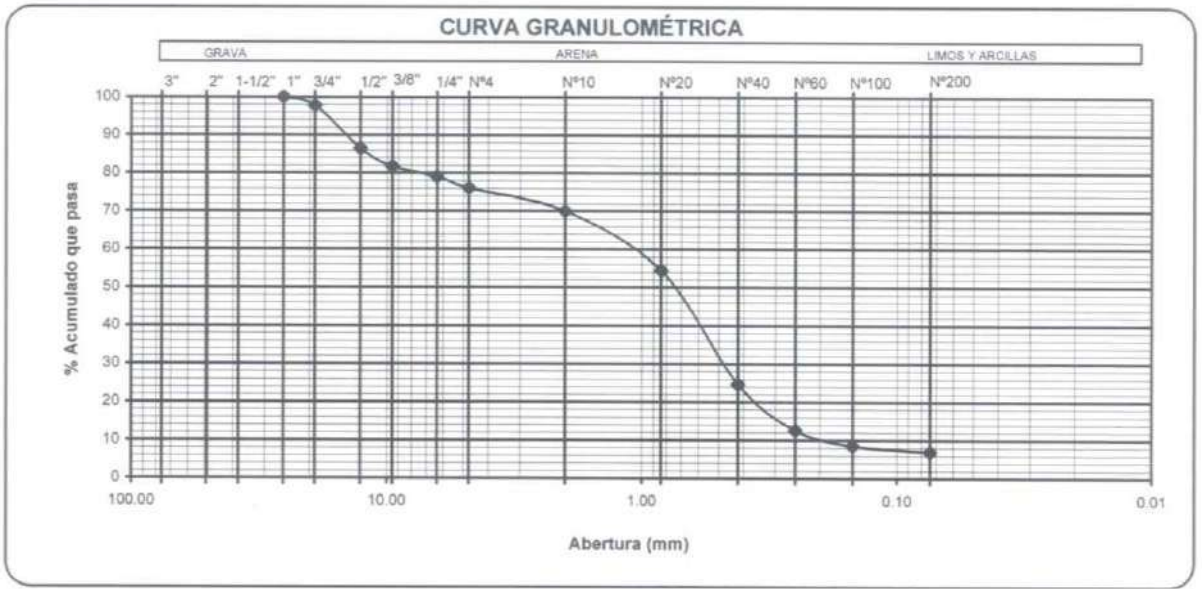
CLASIFICACIÓN SUCS	:	SW-SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	898.6	FRACCION (gr.)	683.9

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XVII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014

ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	17,2 - 17,6
SONDAJE	PL-4	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 4

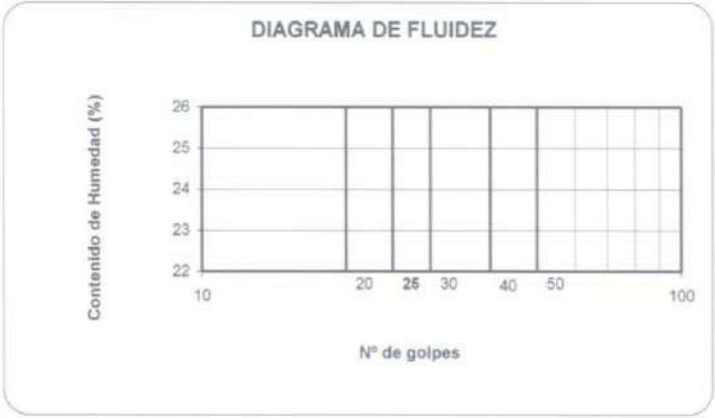
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	94.9
3/4"	19.100	93.5
1/2"	12.700	90.7
3/8"	9.520	90.4
1/4"	6.350	89.0
N° 4	4.760	87.0
N° 10	2.000	83.0
N° 20	0.840	65.3
N° 40	0.420	25.6
N° 60	0.250	7.9
N° 100	0.149	3.9
N° 200	0.074	3.2

CU	=	2.901
CC	=	1.028

Humedad Natural (%)	7.5

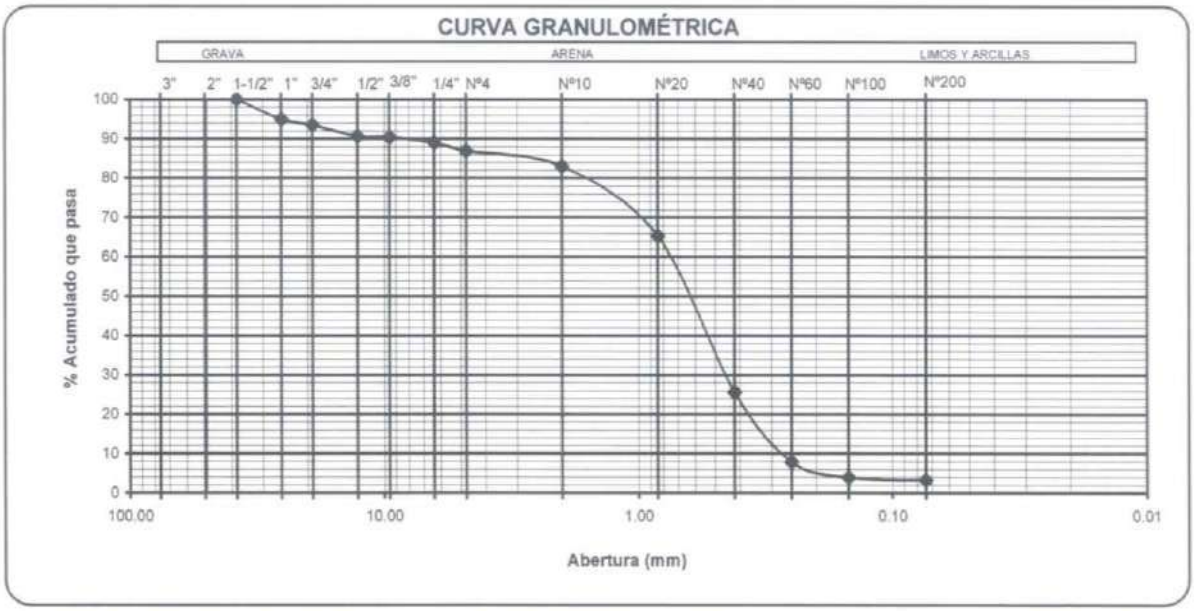
CLASIFICACIÓN SUCS	:	SP
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	1080	FRACCION (gr.)	939.1

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LÍMITE LÍQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



Anexo XVIII: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	1,9 - 2,9
SONDAJE	PL-5	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 5

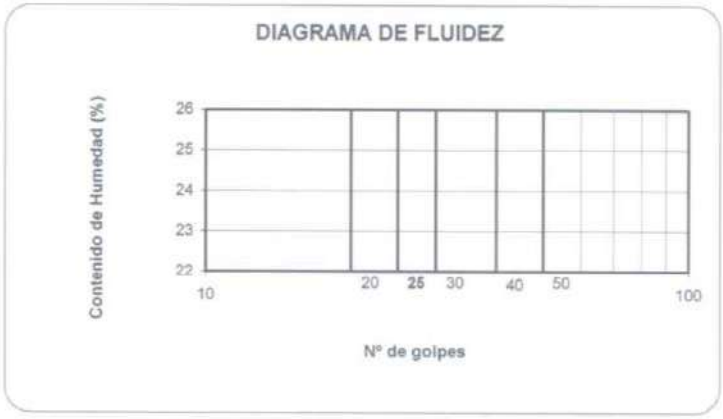
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	100.0
1-1/2"	38.100	92.7
1"	25.400	89.1
3/4"	19.100	87.1
1/2"	12.700	85.8
3/8"	9.520	84.7
1/4"	6.350	83.4
N° 4	4.760	82.4
N° 10	2.000	71.2
N° 20	0.840	59.0
N° 40	0.420	36.9
N° 60	0.250	21.5
N° 100	0.149	15.5
N° 200	0.074	14.4

CU =
CC =

Humedad Natural (%)	0.0

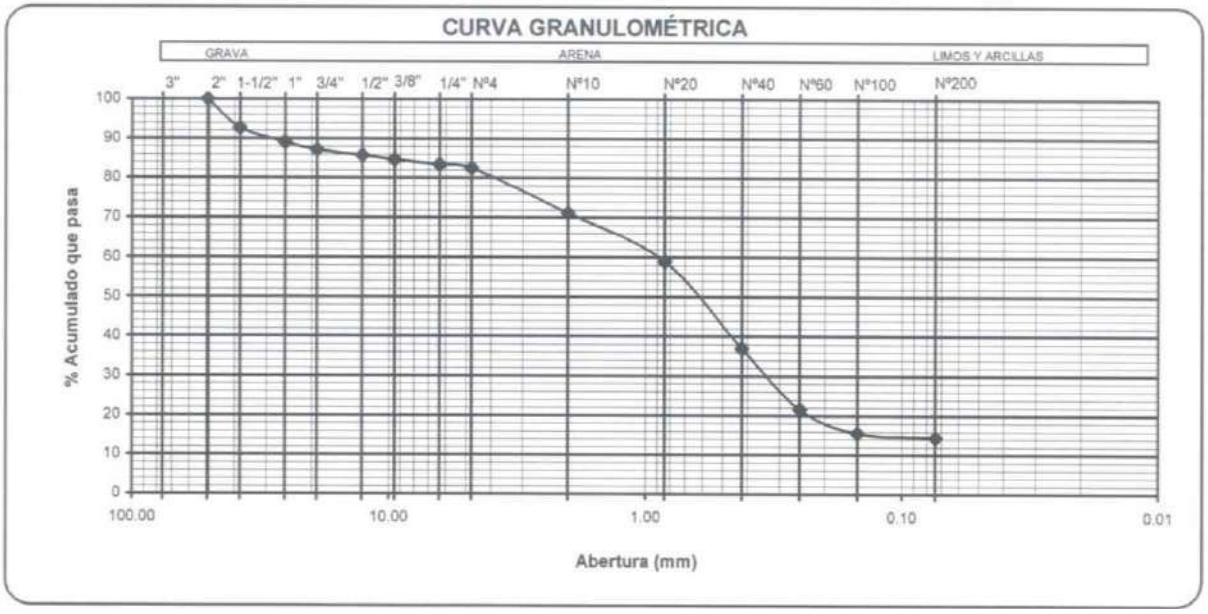
CLASIFICACIÓN SUCS :	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	2924.6	FRACCION (gr.)	292.8

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL) = NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP) = NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP) = NP



Anexo XIX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	13,3 - 14,7
SONDAJE	PL-5	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 5

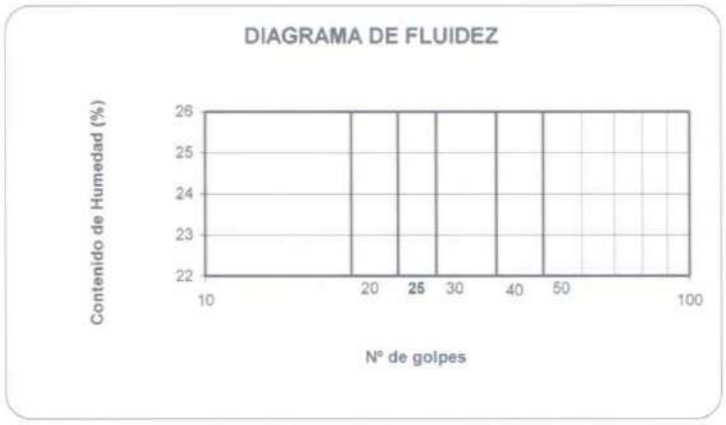
Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	
1"	25.400	
3/4"	19.100	
1/2"	12.700	
3/8"	9.520	
1/4"	6.350	
N° 4	4.760	100.0
N° 10	2.000	96.1
N° 20	0.840	81.7
N° 40	0.420	47.1
N° 60	0.250	22.4
N° 100	0.149	13.3
N° 200	0.074	11.4

CU	=	8.862
CC	=	2.437

Humedad Natural (%)	0.0

CLASIFICACIÓN SUCS	:	SW-SM
CLASIFICACIÓN AASHTO		A-1-b(0)



PESO INICIAL (gr.)	295.3	FRACCION (gr.)		

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
ÍNDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP

Anexo XX: Análisis granulométrico ASTM D-422 – Limites ASTM D 4318

PROYECTO	Estudio Cimentación Puente Quilca Matarani		
TRAMO	Dv. Quilca Matarani		
UBICACIÓN	Departamento de Arequipa	FECHA	Octubre de 2014
ESTRUCTURA	PUENTE QUILCA	PROFUNDIDAD	18,8 - 19,3
SONDAJE	PL-5	Técnico de Laboratorio	W. M
MUESTRA		Localización	Pilar - 5

Análisis Granulométrico por Tamizado ASTM D-422 y Límites de Atterberg ASTM D 4318

TAMICES A.S.T.M.	ABERTURA (mm)	% ACUMULADO QUE PASA
3"	76.000	
2"	50.800	
1-1/2"	38.100	100.0
1"	25.400	94.8
3/4"	19.100	88.6
1/2"	12.700	86.7
3/8"	9.520	86.7
1/4"	6.350	86.7
N° 4	4.760	86.7
N° 10	2.000	85.5
N° 20	0.840	76.0
N° 40	0.420	50.7
N° 60	0.250	25.5
N° 100	0.149	14.9
N° 200	0.074	12.9

CU =
CC =

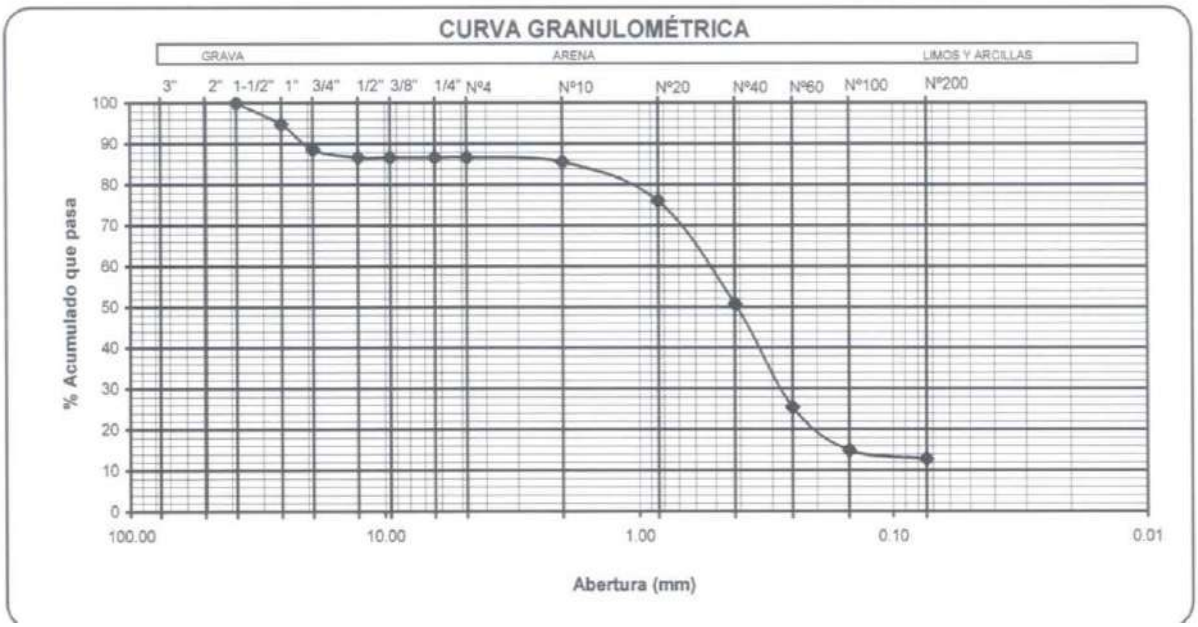
Humedad Natural (%)	0.0

CLASIFICACIÓN SUCS :	SM
CLASIFICACIÓN AASHTO	A-2-4(0)

PESO INICIAL (gr.)	1174	FRACCION (gr.)	297.1

PUNTOS	1	2	3	
N° GOLPES				
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)				

LIMITE LIQUIDO (LL)	=	NT
LÍMITE PLÁSTICO (LP)	=	NP
INDICE PLÁSTICO (IP)	=	NP



BIBLIOGRAFIA

Consorcio Vial Quilca Matarani: (2015) DOE-CON-JGR Procedimiento para construcción de Jet Grouting.

Consorcio Vial Quilca Matarani: (2015) Procedimiento de Construcción de pilotes DOE - CIM PLS.

Consorcio Vial Quilca Matarani: (2015) Procedimiento de Ensayo Pit en Pilotes Puente Quilca.

Diseño y Construcción de Cimentaciones Profundas para puentes Dr. Jorge E. Alva Hurtado.

E. Wm Heinrich "Identificación microscópica de los minerales"; Edición Umbro, Bilbao – España.

E. Wm Heinrich "Petrografía microscópica" Ediciones Omega, S.A. Casanova – Barcelona.

Ensayos Geofísicos por los Métodos de Masw y Man para el Área de Emplazamiento del Puente Quilca 2010: Zer Geosystem Perú S.A.C.

Estudio Geodinámico de la Cuenca de los Ríos Quilca, Sihuas y Vitor: (2010) Lionel Fidel S. / Germán Valenzuela O. / Segundo Castro J.

Gonzales de Vallejo, Luis I. (2004): Ingeniería Geológica. Editorial ORYMUSA S.A. Madrid – España.

Humberto Chirif "Compendio del curso de Petrología de Rocas Ígneas y Metamórficas" Lima – Perú.

INGEMMET Estudios Hidrogeológicos en la región Arequipa 2011. Msc. Ing. Fluquer Laureano.

Jet Grouting C106ABG – Buenos Aires, Ing. Civil Juan Manuel Fernández Vincent.

Juan Carlos Mejgarejo "Atlas de asociaciones minerales en lamina delgada" Departamento de Cristalografía y Mineralogía – Universidad de Barcelona.

Manual de Diseño de Puentes 2003: Ministerio de Transportes y Comunicaciones Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

Mejoramiento de Suelos con técnica de Jet Grouting (2008)
Francisco J. tsao Santín.

Novatecna (2007) Manual de especificaciones de productos y procedimientos – Jet Grouting. Lima – Perú-

Paul F. Kerr "Mineralogía óptica" Tercera edición, Ediciones Castilla. S.A. Madrid – España

Tsao Santín, Francisco J. (2008): Mejora de suelos con la técnica de Jet Grouting. Boletin D. Cimentaciones especiales 02. Escuela de Ingenieros de Caminos.
Universidad de la Coruña. La Coruña – España-

TYPSA Ingenieros Consultores y Arquitectos (2012): Informe Técnico Justificativo Cimentación Puente sobre el río Quilca.

Universidad Politécnica de Madrid: Cimentaciones – Calculo Sísmico.