

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

Uso de relave para mejoramiento de suelos por el método

Compaction Grouting, Pasco - 2019

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor: Bach. Judith Evelin ROBLES CHAMORRO

Asesor: Ing. Paul Mirko RODRIGUEZ ROJAS

Cerro de Pasco – Perú – 2020

UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

Uso de relave para mejoramiento de suelos por el método

Compaction Grouting, Pasco - 2019

Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:

Mg. Luis Villar REQUIS CARBAJAL

PRESIDENTE

Mg. Arq. José German RAMIREZ MEDRANO

MIEMBRO

Mg. Pedro YARASCA CORDOVA

MIEMBRO

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres Clever y Susy por su apoyo, amor y paciencia, a mis hermanos Jenner, Cristian, Marlon y Greisy por ser mi fortaleza.

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal usar relave para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting. El relave es un desecho toxico que proviene del procesamiento de minerales. Para poder usar este material debe ser previamente tratado debido a su alto nivel de toxicidad.

El tratamiento para relaves se hizo por el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento. Este método mejora las características tanto físicas y químicas de los desechos tóxicos, haciendo que el relave sea útil para el mejoramiento de suelos.

El mejoramiento de suelos por método Compaction Grouting es la inclusión de mezclas de baja movilidad, que usa el desplazamiento para mejorar las condiciones del suelo. La investigación evaluó las características del relave tratado y se hizo la prueba experimental de inclusión de mezclas de relave en un prototipo a escala.

Palabras clave: Mejoramiento de suelos; Compaction Grouting

ABSTRACT

The main objective of this research is to use tailings for soil improvement by the Compaction Grouting method. The tailings is a toxic waste that comes from mineral processing. In order to use this material, it must be previously treated due to its high level of toxicity.

The tailings treatment was done by the Stabilization / Solidification method based on cement. This method improves both the physical and chemical characteristics of toxic wastes, making the tailings useful for soil improvement.

Soil improvement by Compaction Grouting method is the inclusion of low mobility mixtures, which uses displacement to improve soil conditions. The research evaluated the characteristics of the treated tailings and the experimental test of inclusion of tailings mixtures in a scale prototype was made.

Keywords: Soil improvement; Compaction Grouting

INTRODUCCIÓN

El mejoramiento de suelos es una alternativa de la ingeniería para construir estructuras en suelos inestables. Las técnicas de mejoramiento se dan por diversos métodos, entre ellos las adiciones por inyección, que consiste en la inclusión de una mezcla más resistente al suelo.

Para la presente investigación se realizó la evaluación de mezclas de relave y su inclusión al suelo por el método Compaction Grouting.

Los relaves son desechos tóxicos que provienen del procesamiento de minerales. Para poder usar este material se hizo un tratamiento de estabilización/solidificación a base de cemento que mejora las características físicas y químicas de los residuos tóxicos.

El método Compaction Grouting consiste en la inclusión de mezclas de baja movilidad al suelo para mejorar sus características mecánicas, Se realizó la inyección de mezclas de relave con cemento

INDICE GENERAL

DEDICATORIA

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

INDICE

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema	1
1.2. Delimitación de la investigación	2
1.2.1. Delimitación geográfica	2
1.3. Formulación del problema	4
1.3.1. Problema Principal	4
1.3.2. Problemas Específicos	4
1.4. Formulación de Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General	4
1.4.2. Objetivos Específicos	4
1.5. Justificación de la investigación	5
1.6. Limitaciones de la investigación	5

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio	7
2.2. Bases teóricas – científicas	14
2.2.1. Mejoramiento de suelos	14
2.2.2. Métodos de mejoramiento de suelo	14
2.2.3. Compaction Grouting	15
2.2.4. Relaves	44
2.3. Definición de términos básicos	76
2.4. Formulación de Hipótesis	78

2.4.1. Hipótesis general	78
2.4.2. Hipótesis específicas	78
2.5. Identificación de Variables	79
2.5.1. Variable independiente	79
2.5.2. Variables dependientes	79
2.6. Definición Operacional de variables e indicadores	79

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación	80
3.1.1. De acuerdo al fin que se persigue	80
3.1.2. De acuerdo a los tipos de datos analizados	81
3.1.3. De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis	81
3.2. Métodos de investigación	82
3.2.1. Método General	82
3.2.2. Método Específico	82
3.3. Diseño de investigación	83
3.4. Población y muestra	83
3.4.1. Población	83
3.4.2. Muestra	84
3.5. Técnicas de instrumentación de recolección de datos	87
3.5.1. Técnicas de recolección de datos	87
3.5.2. Instrumentos de recolección de datos	88
3.6. Técnicas de procesamiento de análisis de datos	88
3.6.1. Técnicas para el procesamiento de datos	88
3.6.2. Técnicas para el análisis de datos	89
3.7. Tratamiento estadístico	89
3.7.1. Estadísticos Descriptivos Cuantitativos	89
3.7.2. Estadísticos Inferenciales	90
3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación	91
3.8.1. Selección, validación de los Instrumentos de investigación	91
3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos de investigación	91
3.9. Orientación ética	91

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo	92
4.1.1. Recolección de muestras de la Relavera Quiulacocha	92
4.1.2. Recolección de muestras de la Urbanización Nuevo Smelter	94
4.1.3. Investigación geotécnica de la Urbanización Nuevo Smelter	95
4.2. Presentación de análisis e interpretación de resultados	105
4.2.1. Propiedades físicas del Relave	105
4.2.2. Tratamiento del relave	108
4.2.3. Resultados del Tratamiento de Relaves	123
4.2.4. Resultados de la Evaluación del Suelo	132
4.2.5. Resultados del Mejoramiento del suelo en el Prototipo a Escala	135
4.3. Prueba de Hipótesis	146
4.3.1. Hipótesis general planteada	146
4.3.2. Prueba de hipótesis general planteado	146
4.4. Discusión de resultados	148
4.4.1. Discusión 1: Tratamiento de Relaves	148

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFIA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Métodos para mejoramiento de suelos	15
Tabla 2. Tabla de mejora esperada por el método Compaction Grouting	23
Tabla 3. Valores de diseño sugerido para K y $\tan\phi_g$	36
Tabla 4. Granulometría de los relaves	52
Tabla 5. Permeabilidad de los relaves	55
Tabla 6. Variables e Indicadores	79
Tabla 7. Numero de muestras para ensayo de resistencia a la compresión	85
Tabla 8. Numero de muestras para análisis químico- Potencial de Hidrogeno	85
Tabla 9. Numero de muestras para análisis químico- Contenido de sulfatos	86
Tabla 10. Numero de muestras modelo diseño experimental Compaction Grouting	86
Tabla 11. Tipo de Edificación	96
Tabla 12. Distancias máximas y mínimas entre edificaciones de la Urbanización Nuevo Smelter	98
Tabla 13. Profundidad de cimentaciones de las edificaciones existentes de la Urbanización Nuevo Smelter	98
Tabla 14. Número de Puntos de Investigación	99
Tabla 15. Coordenadas de las calicatas realizadas en la Urbanización Nuevo Smelter	101
Tabla 16. Característica del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter – Por su naturaleza	103
Tabla 17. Característica del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter – Por su colocación	104
Tabla 18. Distribución Granulométrica del Relave del depósito de Quiulacochoa	105
Tabla 19. Contenido de metales presentes en el Relave del depósito Quiulacochoa	106
Tabla 20. pH del relave del depósito Quiulacochoa	106
Tabla 21. Análisis químico del Relave del depósito Quiulacochoa.	107
Tabla 22. Análisis de Reactividad potencial álcalis del relave del depósito Quiulacochoa	107
Tabla 23. Matriz de Recursos de Estabilización/Solidificación	109
Tabla 24. Compatibilidad de categorías de residuos de residuos tratados con diferentes técnicas de estabilización/solidificación	112
Tabla 25. Dosificación de Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I	117
Tabla 26. Dosificación de Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S	118
Tabla 27. Resultados de la resistencia a la compresión según los diseños propuestos	124
Tabla 28. Resultados del Análisis de pH según los diseños propuestos	126
Tabla 29. Resultados del Contenido de Sulfatos según los diseños propuestos	129
Tabla 30. Resultados de la densidad en campo con Cono de Arena	132
Tabla 31. Resultados de Densidad Máxima Suelta con ensayo Proctor Modificado	133
Tabla 32. Clasificación (S.U.C.S.)	133
Tabla 33. Resultados de Análisis Granulométrico	134
Tabla 34. Índice de Plasticidad	134
Tabla 35. Perfil estratigráfico de la Calicata 1 (C-1)	134
Tabla 36. Perfil estratigráfico de la Calicata 2 (C-2)	135

Tabla 37. Perfil estratigráfico de la Calicata 3 (C-3)	135
Tabla 38. Cuadro de comparación de mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting Diseñado vs Ejecutado del Diseño 1	136
Tabla 39. Cuadro de comparación de mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting Diseñado vs Ejecutado del Diseño 2	137
Tabla 40. Medición de la densidad en el suelo mejorado con Cono de Arena	147

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1. Mapa de Localización de Región.....	2
Ilustración 2. Mapa de Localización de distrito	3
Ilustración 3. Mapa de Localización de Deposito de Relaves de Quiulacocha	3
Ilustración 4. Grafica de resultados de ensayos a la compresión. Inyección de suelo por medio de la técnica de Jet Grouting,	9
Ilustración 5. Proporción de mezclas de relave y aglutinantes.	11
Ilustración 6. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes individuales.	12
Ilustración 7. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes binarios.....	12
Ilustración 8. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes ternarios.	13
Ilustración 9. Inyección de morteros de baja movilidad	17
Ilustración 10. Vista esquemática del mortero de compactación.	23
Ilustración 11. Técnicas de inyección de mortero de compactación.	24
Ilustración 12. La inyección de compaction grouting evita el hundimiento inducido por vacíos	33
Ilustración 13. Caja de prueba de modelo experimental	33
Ilustración 14. Proceso de producción minera.	48
Ilustración 15. Foto del Depósito de Relaves de Quiulacocha.....	93
Ilustración 16. Plano del depósito de relaves de Quiulacocha.....	94
Ilustración 17. Imagen satelital de la Urbanización Nuevo Smelter	95
Ilustración 18. Delimitación de área en la Urbanización Nuevo Smelter para ubicación de calicatas.....	101
Ilustración 19. Curva granulométrica del relave del depósito de Quiulacocha.....	105
Ilustración 20. Resistencia a la compresión vs. Tiempo – Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I	124
Ilustración 21. Resistencia a la compresión vs. Tiempo – Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S.....	125
Ilustración 22. Resistencia a la compresión vs. Tiempo: Diseño 1 vs Diseño 2.....	125
Ilustración 23. Análisis de pH – Diseño 1.....	127
Ilustración 24. Análisis de pH – Diseño 2.....	127
Ilustración 25. Análisis de pH – Diseño 1 vs Diseño 2.....	128
Ilustración 26. Diagrama de barras del análisis de pH – Diseño 1 vs Diseño 2.....	128
Ilustración 27. Contenido de Sulfatos – Diseño 1	129
Ilustración 28. Contenido de Sulfatos – Diseño 2	130
Ilustración 29. Contenido de Sulfatos – Diseño 1 vs Diseño 2.....	130
Ilustración 30. Diagrama de barras del contenido de sulfatos – Diseño 1 vs Diseño 2.....	131
Ilustración 31. Medidas del prototipo a escala	138
Ilustración 32. Grafica de barras del mejoramiento con relave de la densidad del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter por el método Compaction Grouting.....	147

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACION

1.1. Identificación y determinación del problema

La actividad minería en el Perú se desarrolla en 17 regiones, generando grandes cantidades de contaminantes. Según el Inventario 2019 del Ministerio de Energía y Minas, se identificaron 8448 Pasivos Ambientales en todo el Perú. Algunos pasivos significativos por su toxicidad son los relaves.

En el procesamiento de minerales, solo el 15% es el material valioso y el 85% es de este material es desechado, esto quiere decir que de 1 tonelada de material a procesar solo 150 kg son el material que sirve y los 850 kg son el material a desechar. Según el Reporte de Producción Minera Mensual 2019 del Ministerio de Energía y Minas solo en el mes de agosto

del 2019 se concentraron 12'758,368.00 tn. de minerales valiosos que representa el 15% del total y los 83'855786.67 tn. de material desechado (relave). Los depósitos de relaves ocupan grandes áreas de terreno y debido a su composición contamina el medio ambiente que los rodea.

1.2. Delimitación de la investigación

1.2.1. Delimitación geográfica

El proyecto de investigación se realizó se delimita en el Departamento de Pasco, Provincia de Pasco y Distrito de Simón Bolívar y la Localidad de Quiulacocha de donde se extrajo las muestras para los ensayos.



Ilustración 1. Mapa de Localización de Región

FUENTE: <https://www.google.com/maps/>



Ilustración 2. Mapa de Localización de distrito

FUENTE: <https://www.google.com/maps/>



Ilustración 3. Mapa de Localización de Deposito de Relaves de Quiulacoche

FUENTE: <https://www.google.com/maps/>

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema Principal

- ¿De qué manera se puede usar el relave para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting?

1.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo estabilizar el relave para usar en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting?
- ¿Cuáles son las propiedades del suelo antes del mejoramiento con relave por el método Compaction Grouting?
- ¿En qué medida mejora el suelo con la aplicación del método Compaction Grouting usando relave?

1.4. Formulación de Objetivos

1.4.1. Objetivo General

- Evaluar el relave para uso en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Estabilizar el relave para uso en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.
- Evaluar las propiedades del suelo antes del mejoramiento del suelo con relave por el método Compaction Grouting

- Aplicar el método Compaction Grouting con relave para mejoramiento de suelo.

1.5. Justificación de la investigación

Para esta investigación se estudiará al relave como material para mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting tomando como iniciativa el uso que se le da dentro de las labores mineras como material de relleno.

El método Compaction Grouting, se basa en la inyección en el terreno de un mortero de baja movilidad, de forma que la mezcla inyectada no fluya por el terreno, quedando concentrada alrededor del punto de inyección. El material inyectado rellena los huecos y compacta o estabiliza el suelo. Martínez, H. (2013). Refuerzo de suelos mediante el uso de inclusiones de grava compactada para apoyo de cimentaciones superficiales rígidas (tesis de maestría), Universidad Nacional Autónoma de México, México.

1.6. Limitaciones de la investigación

Esta investigación el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting solo es aplicable en suelos granulares.

Se debe realizar el análisis químico del relave, para poder definir el método de tratamiento.

Para usar el relave como material de mejoramiento de suelos por el método compaction grouting debe ser tratado mediante un proceso de estabilización y solidificación.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de estudio

De la revisión de estudios realizados en años anteriores, pudimos encontrar las siguientes investigaciones, cuyos datos y resultados se muestran a continuación:

Título : Inyección de suelo por medio de la técnica de Jet Grouting

Autores: Ovando Pinedo, Héctor Andrés

Universidad: Universidad de San Carlos de Guatemala

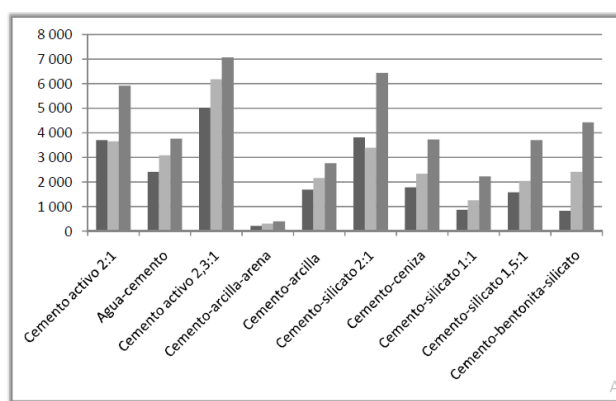
Facultad: Ingeniería

Escuela: Ingeniería Civil

Resultados:

- Los resultados de los ensayos dieron que el mortero de cemento activo con proporción 2.3:1 es el que más resiste, por lo cual se recomienda para la inyección. Otro resultado fue que el mortero de cemento-bentonita, no alcanzó a fraguar, ya que se desintegró, debido a encontrarse en un ambiente húmedo, con humedad relativa promedio de 75% a 90%, por lo cual se recomienda en climas cálidos secos, donde la humedad relativa varía de 10% a 55%.
- El mortero de agua-cemento, fue la base para la comparación con los otros morteros, debido a que éste es el más utilizado para la inyección, ya que es el más económico.
- Este gráfico comparativo entre los diferentes tipos de morteros, muestra los resultados de las pruebas realizadas a compresión, obteniendo que el mortero cemento activo 2,3:1 es el más resistente y el mortero cemento-arcilla arena, es el menos resistente, también se podrían utilizar los morteros de cemento-silicato 2:1 y cemento activo 2:1, que su resistencia a los 28 días es la más próxima a nuestro mortero más resistente.

Figura 39. Gráfica de resultados de ensayos a compresión



Fuente: elaboración propia.

Ilustración 4. Grafica de resultados de ensayos a la compresión. Inyección de suelo por medio de la técnica de Jet Grouting,

FUENTE: Ovando Pinedo, Héctor Andrés, 2011, p. 90

- Otro resultado obtenido por esta prueba, es que el mortero cemento activo 2,3:1 no varió mucho su resistencia a lo largo de los ensayos, por lo que su resistencia casi se mantuvo constante.

Título: Stabilization of sulphidic mine tailing for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials

Autores: Moncef Nehdi and Amjad Tariq

Revista: Journal of Environmental Engineering and Science

Resultados:

- La estabilización de los relaves sulfídicos utilizando mezclas cementosas transforman tales desechos en una matriz con propiedades cohesivas adecuadas, proporcionando encapsulamiento y fijación química de elementos móviles tóxicos. La mayor parte de la investigación involucra estudios de laboratorio con el objetivo de

determinar el tipo eficiente y la proporción de aglutinante para estabilizar los relaves específicos.

- Los resultados de tales investigaciones de laboratorio refuerzan el interés en el uso de aglutinantes convencionales para la estabilización de los relaves.

- Se descubrió que los mecanismos de transferencia de masa dentro de los sistemas de relaves estabilizados se minimizan debido a la menor permeabilidad y reacción de los sulfatos de calcio y arseniatos.

- Los sistemas de estabilización que usan aditivos puzolánicos son útiles para los relaves con altos contenidos de sulfatos, ya que contienen exceso de hidróxido de calcio libre y, por lo tanto, son menos reactivos con los sulfatos.

Binder	Paste backfill mixtures	Number of specimens
Single		
OPC	MT + 4% OPC MT + 6% OPC	10
SRC	MT + 4% SRC MT + 6% SRC	10
CKD	MT + 5% CKD MT + 20% CKD MT + 10% CKD MT + 30% CKD	20
Binary		
OPC + CKD	MT + 5% OPC + 10% CKD MT + 6% OPC + 10% CKD MT + 6% OPC + 20% CKD	15
SRC + CKD	MT + 4% SRC + 10% CKD MT + 6% SRC + 10% CKD	10
FAC + CKD	MT + 5% FAC + 5% CKD MT + 10% FAC + 10% CKD MT + 5% FAC + 10% CKD MT + 10% FAC + 20% CKD	20
Ternary		
OPC + CKD + FAC	MT + 4% OPC + 5% CKD + 5% FAC MT + 4% OPC + 7% CKD + 7% FAC MT + 3% OPC + 10% CKD + 10% FAC	15
OPC + CKD + FAF	MT + 4% OPC + 7% CKD + 7% FAF MT + 4% OPC + 10% CKD + 10% FAF MT + 3% OPC + 5% CKD + 5% FAF	15
SRC + CKD + FAC	MT + 4% SRC + 5% CKD + 5% FAC MT + 4% SRC + 7% CKD + 10% FAC MT + 3% SRC + 10% CKD + 10% FAC	15

Table 3. Mixture proportions of sulphidic mine tailings and binder reagents (MT, mine tailings; FAC, Class C fly ash; FAF, Class F fly ash; CKD, cement kiln dust; OPC, ASTM Type I ordinary Portland cement; SRC, ASTM Type V sulphate resistant cement)

Ilustración 5. Proporción de mezclas de relave y aglutinantes.

FUENTE: Stabilization of sulphidic mine tailing for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials, Moncef Nehdi, Amjad Tariq, 2007,

sp

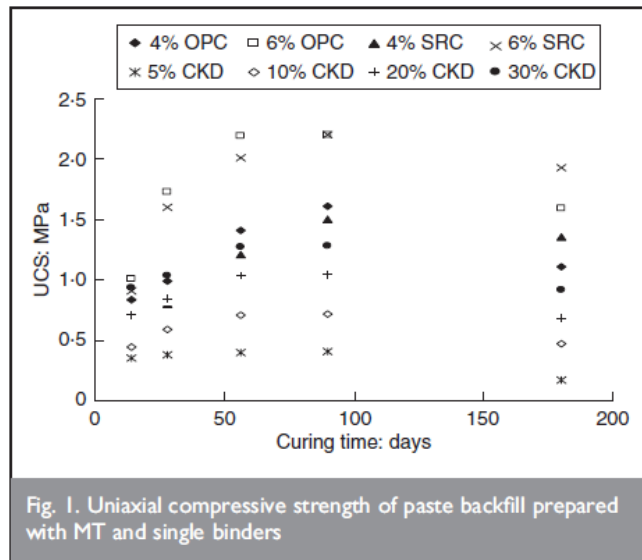


Ilustración 6. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes individuales.

FUENTE: Stabilization of sulphidic mine tailing for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials, Moncef Nehdi, Amjad Tariq, 2007,

sp

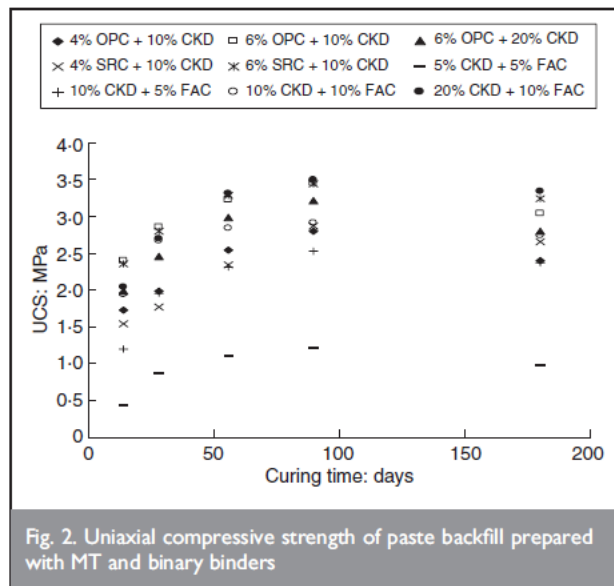


Ilustración 7. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes binarios.

FUENTE: Stabilization of sulphidic mine tailing for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials, Moncef Nehdi, Amjad Tariq, 2007,

sp

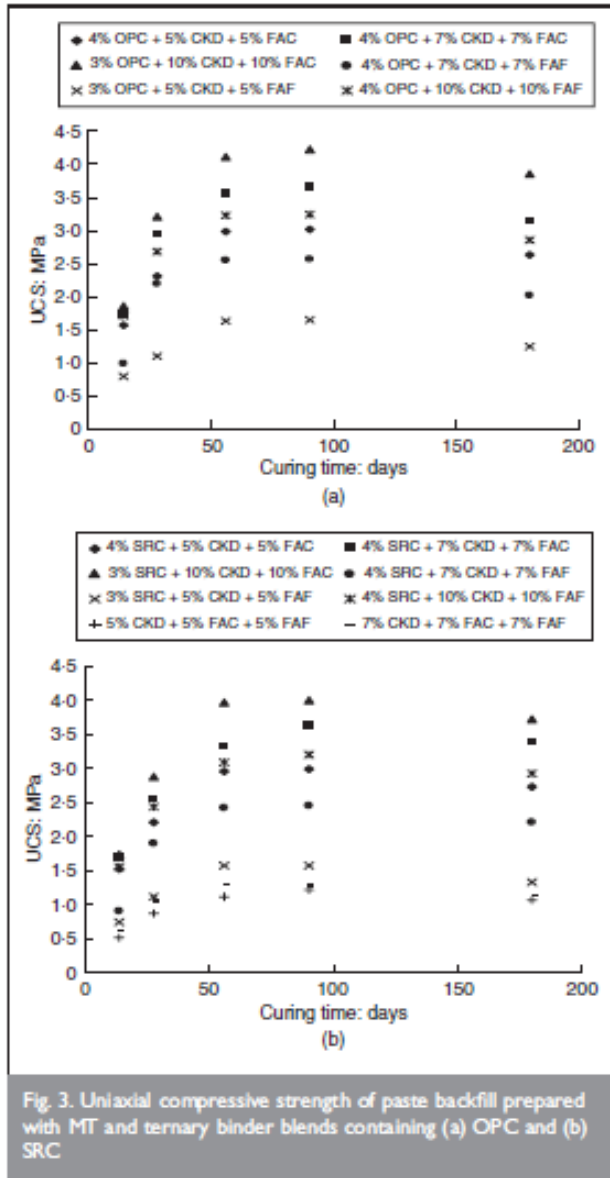


Ilustración 8. Resistencia a la compresión de relave con aglutinantes ternarios.

FUENTE: Stabilization of sulphidic mine tailing for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials, Moncef Nehdi, Amjad Tariq, 2007,

sp

2.2. Bases teóricas – científicas

2.2.1. Mejoramiento de suelos

El suelo no siempre es adecuado para soportar estructuras como edificios, puentes, carreteras, presas. Es por eso que la mejora de suelos ya se presenta como alternativa para poder construir en suelos inestables de manera más eficiente.

En depósitos de suelos granulares in situ el suelo tal vez este muy suelto e indique un gran asentamiento elástico. En tal caso, tiene que ser densificado para incrementar su peso específico, así como su resistencia cortante.

En estratos de arcilla blanda saturada a menudo se encuentran a poca profundidad. Dependiendo de la carga estructural y de la profundidad de los estratos de arcilla, puede ocurrir grandes asentamientos por consolidación, requiriéndose procedimientos especiales de mejoramiento del suelo para minimizar los asentamientos. Braja M. Das. (2006). Principios de la ingeniería de cimentaciones. México D.F, México.: Thomson Editores, S.A.

2.2.2. Métodos de mejoramiento de suelo

Según la International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering podemos clasificar los diferentes métodos de mejoramiento de suelos según la tabla 1.

Tabla 1. Métodos para mejoramiento de suelos

CATEGORIA	METODO
A. Mejora del terreno sin adiciones en suelos no cohesivos o materiales de relleno	A1. Compactación dinámica
	A2. Vibrocompactación
	A3. Compactación por explosivos
	A4. Compactación por impulso eléctrico
	A5. Compactación superficial (incluyendo compactación dinámica rápida RIC)
B. Mejora del terreno sin adiciones en suelos cohesivos	B1. Sustitución/desplazamiento (incluyendo la reducción de carga mediante materiales ligeros)
	B2. Precarga mediante relleno (incluyendo el uso de drenes verticales)
	B3. Precarga mediante vacío (incluyendo la combinación de relleno y vacío)
	B4. Consolidación dinámica con drenaje mejorado (incluyendo el uso del vacío)
	B5. Electro - ósmosis o consolidación electro - cinética
	B6. La estabilización térmica usando calefacción o congelación
	B7. Compactación por hidrovibración
C. Mejora de terreno con adiciones e inclusiones	C1. Vibrosustitución o columnas de grava
	C2. Sustitución dinámica
	C3. Pilotes de arena compactada
	C4. Columnas encapsuladas con geotextiles
	C5. Las inclusiones rígidas
	C6. Columnas reforzadas con geosintéticos o rellenos pilotados
	C7. Métodos microbianos
	C8. otros métodos
D. Mejora de terreno con adiciones tipo inyección	D1. Inyección de partículas
	D2. Inyección química
	D3. Métodos de mezclado (incluyendo la mezcla previa y la estabilización profunda)
	D4. Jet grouting
	D5. Inyecciones de compactación
	D6. Inyecciones de compensación
E. Refuerzo de tierra	E1. Tierra reforzada con acero o geosintéticos
	E2. Anclajes al terreno o claveteado
	E3. Métodos biológicos mediante vegetación

FUENTE: International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, 2017

2.2.3. Compaction Grouting

El método Compaction Grouting es una técnica de mejora del suelo nacida en Estados Unidos, fue desarrollada por Ed Graf y Jim Warner en California en la década de 1950. Esta técnica densifica suelos blandos mediante la inyección de morteros o lechadas de baja movilidad.

El mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting o Inyecciones de Compactación o Inyecciones de Compactación Horizontal Estática que son los nombres por los que se conoce, es un método de mejora del terreno en cuanto a la resistencia y/o la

rigidez del terreno mediante la inyección lenta y controlada de una lechada de baja movilidad. El suelo se desplaza y compacta a medida que la masa de lechada se expande.

Siempre que el proceso de inyección progrese de manera controlada, el material de la lechada permanece como una masa en crecimiento dentro del suelo y no penetra ni fractura el suelo.

Este comportamiento permite una densificación constante alrededor de la masa de lechada en expansión, lo que da como resultado inclusiones rígidas de lechada rodeadas de suelo de mayor densidad. El proceso se puede aplicar arriba o debajo del nivel freático. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p.1)

Este método se utiliza para reducir los asentamientos de cimientos, reducir el hundimiento sísmico y la licuefacción potencial de construcción, permite la construcción de rellenos granulares sueltos, reducir asentamientos en suelos plegables y reduce el potencial de sumidero en regiones kársticas. (Methods of Soft Ground Improvement, The Foundation Engineering Handbook, sf, p.536)

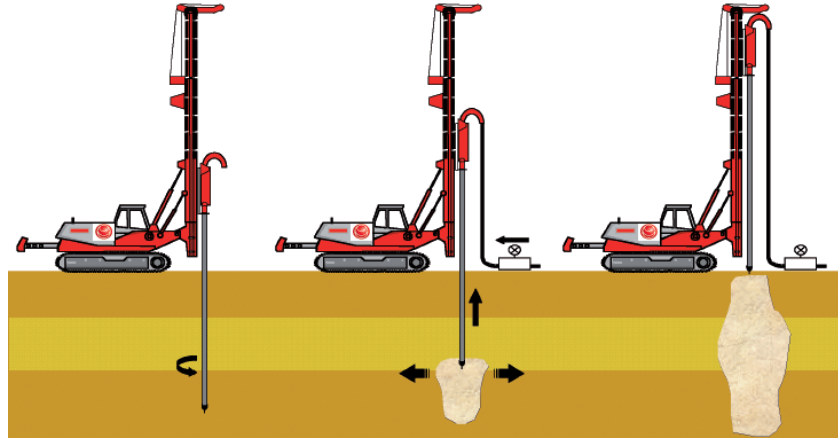


Ilustración 9. Inyección de morteros de baja movilidad

FUENTE: Compaction Grouting, MENARD, 2016, p. 2

2.2.3.1 Aplicaciones del método Compaction Grouting

El objetivo principal de este método es la de densificar los suelos mediante la inyección de un mortero de movilidad limitada. Este método puede aplicarse tanto como pretratamiento y postratamiento.

La necesidad de compactar por este método surge de las siguientes condiciones

- Suelos natural suelto o deteriorado
- Rellenos sueltos, ya sea colocado incorrecta, ente en el momento de la construcción o colocado sin proyección de uso para construcción.
- Suelos sueltos por la actividad de excavación adyacente.
- Suelos plegables es decir loess.

- Suelos licuables.
- Suelos meteorizados químicamente.
- Establecimiento y estabilización de estructuras en emergencia.
- Suelos sueltos – pretratamiento.
- Suelos sueltos – postratamiento.

Un uso secundario de la lechada de compactación es volver a nivelar las estructuras asentadas. Esto generalmente se realiza junto con un programa de densificación según ya lo explicado.

2.2.3.2 Mecánica del método Compaction Grouting

La lechada de compactación es el proceso de inyectar una lechada de mortero rígida en el suelo para desplazar y compactar el suelo circundante. Durante la inyección, la lechada desplaza el suelo y fuerza a la estructura a compactarse, expulsando aire y / o agua fuera de área afectada, y reduciendo el volumen de poros. La lechada de compactación es una técnica viable para densificación de rellenos sueltos y suelos nativos que permiten una adecuada disipación de la presión del fluido. El suelo se desplaza y compacta a medida que la masa de lechada se expande. Donde el proceso de inyección progresa de

manera controlada, el material de la lechada permanece como una masa creciente dentro el suelo y no penetra ni fractura el suelo. Este comportamiento permite la coherente densificación alrededor de la masa de lechada en expansión. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p.5)

2.2.3.3 Condiciones aplicables en el suelo

Según la Guía de Consenso de Compaction Grouting del Geo – Instituto ASCE este método se aplica en los siguientes casos:

a. Suelos sueltos granulares sobre o debajo de la capa freática

El método compaction grouting se aplica principalmente a arenas y/o gravas, pero pueden contener cantidades sustanciales de limo y algunas arcillas, siempre que el suelo tenga un comportamiento mecánicamente con un suelo granular.

Los valores típicos N-SPT del suelo varían de 0 a 15. Los valores de N generalmente pueden mejorarse en 10 o más puntos, dependiendo de la separación entre columnas y el espesor o la presencia o ausencia de cualquier recarga.

b. Suelos sueltos no saturados de grano fino

Los suelos compuestos principalmente de limo y/o arcillas generalmente se pueden mejorar con este método si no están saturados. Los rellenos cohesivos mal colocados son la ocurrencia más común bajo esta categoría.

Los valores típicos N-SPT del suelo varían de 0 a 10. El tratamiento de los estratos gruesos saturados de limo o arcilla no deben realizarse, ya que se observó que al aplicar este método puede agravar aumentando dramáticamente el aumento de presión de poros que no puede disiparse. Esta presión de poros aumentada conduce a una pérdida directa y repentina de la resistencia al corte.

c. Suelos plegables

Las formaciones de talo creadas por el mecanismo de depósito de viento en regiones áridas se han tratado con éxito aplicando el método compaction grouting.

Por lo general, estos depósitos crean problemas cuando un drenaje es deficiente o por tuberías rotas los cuales conducen a la saturación del suelo, lo que provoca el colapso de la microestructura del suelo. Se ha aprendido

que estos suelos pueden ser densificados o colapsados artificialmente por este método, evitando así el riesgo de problemas relacionados con el agua.

En un sitio donde el contenido de humedad es variable podría interferir en la efectividad general del programa del método compaction grouting, podría ser necesario utilizar las operaciones de perforación para igualar el potencial de colapso de los suelos in situ, es decir, variar el método de perforación de los métodos y medios secos/húmedos en un sitio determinado. Además, bajo ciertas condiciones, remojar los agujeros por un periodo de tiempo debilitara los enlaces intergranulares y aliviara os efectos de la lechada de compactación.

d. Vacíos en el suelo

Los vacíos en el suelo o en las formaciones rocosas con frecuencia se llena lechada de compactación en lugar de lechada fluida. La lechada de compactación es más controlable bajo estas circunstancias ya que no fluirá más allá del área de tratamiento prevista y debido a la naturaleza tixotrópica del material. Se puede utilizar para minimizar la aplicación de presión hidrostática. Estos son consideraciones importantes en aplicaciones como la

reparación de sumideros y donde se desconoce el tamaño y la dirección del vacío.

e. Estratos de suelos delgados, no mejorables, contenidos por el recargo adecuado

Esta categoría parece romper todas las reglas establecidas anteriormente, pero la experiencia ha demostrado que es una excepción valiosa que vale la pena señalar. El suelo puede ser limo seco o saturado, arcilloso u orgánico (como residuos de turba o madera) siempre que no tenga más de 6 pies (1.8 m) de espesor y se coloque debajo de al menos 6 pies (1.8 m) de competencia o suelos mejorables o carga estructural comparable. La lechada de compactación no mejora este suelo, sino que lo atraviesa creando un pedestal sobre el cual soporta parte de la carga de sobrecarga. Se cree que el efecto descrito en suelos “suelos, no saturados de grano fino” tiene lugar en situaciones saturadas, pero el efecto de pedestal lo pasa rápidamente por alto.

Tabla 2. Tabla de mejora esperada por el método Compaction Grouting

Mejora esperada con Compaction Grouting		
Descripción del suelo	Densificación	Reforzamiento
Grava y arena < 10% de limo, sin arcilla	Excelente	Muy bueno
Arena con 10% - 20% de limo y < 2% de arcilla	Moderado	Muy bueno
Suelo de grano mas fino, no plastico	Mínimo	Excelente
Suelo plástico	No aplica	Excelente

FUENTE: Methods of Soft Ground Improvement, The Foundation Engineering Handbook, sf, p.537

2.2.3.4 Diseño y cálculos de Inyección

a. Consideraciones de diseño

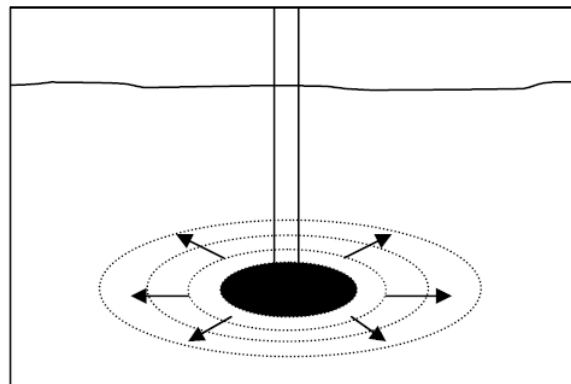


Ilustración 10. Vista esquemática del mortero de compactación.

FUENTE: Theoretical and Practical Aspects of Compaction Grouting, Fatih

TUNCDEMIR, 2007, p. 1130

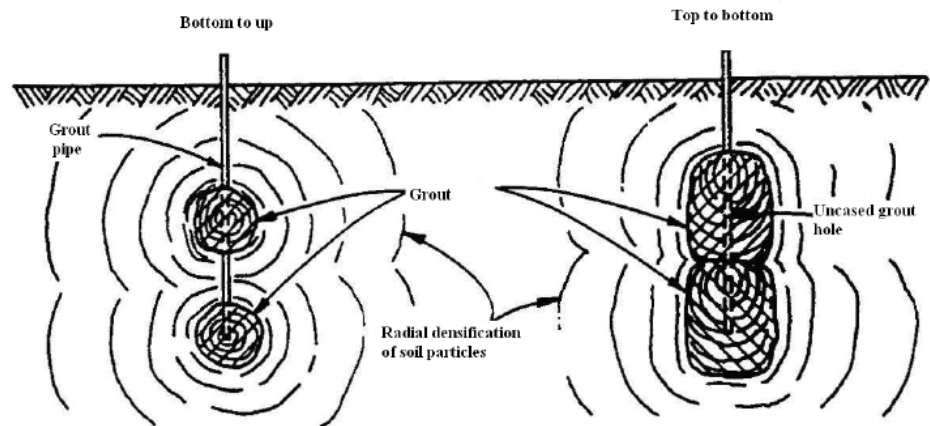


Ilustración 11. Técnicas de inyección de mortero de compactación.

FUENTE: Theoretical and Practical Aspects of Compaction Grouting, Fatih

TUNCDEMIR, 2007, p. 1134

b. Métodos y parámetros de diseño

El primer paso para diseñar un programa de mejoramiento de suelo con lechada de compactación es tener una clara comprensión del problema subterráneo. Una investigación exhaustiva de los suelos es esencial para el éxito y la rentabilidad de la lechada de compactación.

Un estudio profundo de las restricciones físicas del sitio también es necesario ya que con esta información se pueden desarrollar objetivos claros.

c. Separación de tuberías

La determinación del espacio entre tuberías es fundamental para el éxito técnico y la rentabilidad del

proyecto. Se han utilizado separaciones de tuberías que varían de 3 a 15 pies (0.9 – 4.6 m) en circunstancias apropiadas. Se utilizan espacios reducidos cuando se intenta lograr un esfuerzo compactación cerca de la superficie en arenas limosas con tuberías de lechada en centros de 3 pies (0.9 m) con nada más que una losa de concreto de 6 pulgadas (15 cm) para confinamiento. Se utilizan espacios más grandes, como 15 pies (4.6 m) cuando hay una presión de sobrecarga suficiente de 30 pies (9.2 m) o más, las condiciones del suelo son buenas y la mejora no necesita ser muy grande (es decir, para la mejora de la licuefacción). Estos son casos extremos. La mayoría de la lechada de compactación se realiza con tuberías a distancia entre 5 pies (1.5 m) y 7 pies (2.1 m).

d. Secuencia de inyección

El orden en que se inyectan las tuberías es importante para obtener los mejores resultados técnicos. Una secuencia primaria y secundaria de las tuberías permitirá una densificación inicial seguida de una densificación secundaria que está limitada por el trabajo anterior. Esto es deseable porque le da a la lechada secundaria algo contra lo que comprimir mientras hace su trabajo. La lechada terciaria generalmente no se considera necesaria siempre que el espacio secundario sea lo

suficientemente ajustado para las circunstancias. La lechada de compactación también se puede secuenciar hacia arriba o hacia abajo dentro de una sola tubería de lechada. El sistema más común es el rejuntado en el escenario o la inyección de abajo hacia arriba a medida que se retira la tubería. Es menos costoso y por lo general, tan efectivo como su contraparte. El rejuntado en la bajada inyecta una bombilla de lechada de compactación en el punto de inyección más superficial primero. Después del fraguado inicial, se avanza una tubería de lechada u orificio de lechada hasta la siguiente etapa inferior y se repite el proceso. El lugar más útil para el proceso de rejuntado donde existe un confinamiento mínimo de la superficie, donde se requiere una elevación de una estructura. El bulbo superior y la compactación resultante parecen proporcionar un mejor confinamiento para las etapas posteriores. Una variación de los dos sistemas utiliza “lechada en la etapa inferior” en la parte superior de la zona de tratamiento seguido de “lechada en la etapa superior” para todos los demás trabajos.

e. Presión de inyección

Sorprendentemente, la presión de lechada es generalmente una variable dependiente en lugar de una variable independiente en la ecuación de diseño.

El equipo de lechada de compaction grouting generalmente debe ser capaz de alcanzar 1200 psi (83 bar) en el punto de inyección. Las pérdidas de línea son significativas con lechada de baja presión y debe tenerse en cuenta al dimensionar la bomba. Las presiones de inyección, medidas en el punto de inyección, generalmente oscilan entre 100 psi (6.89 bar) y 400 psi (28 bar).

Es importante comprender que la consistencia de la lechada rígida provoca una rápida disipación de la presión en el suelo. Sin embargo, se debe tener precaución cuando se colocan grandes volúmenes de material en ubicaciones individuales en áreas extremadamente sueltas o vacías. La presión hidráulica de grandes masas de lechada sin fraguar, aunque es menor que un fluido de baja viscosidad, sigue siendo una fuerza digna de respeto. Los paneles de revestimiento rotos, los revestimientos de túneles de concreto triturados y las compras de bienes raíces no anticipadas son el legado de los operadores de bombas excesivamente celosos

En una lechada de compactación de rutina, el suelo se negará a tomar la lechada a una presión específica. El uso de una presión adicional significativa exprimirá el agua el agua de la lechada donde no exista un sello perfecto. Esto causara bloqueos en el sistema de entrega. La presión de rechazo habitual en la mayoría de los proyectos de suelos granulares es de 400 – 600 psi (28 – 41 bar). Con frecuencia, la presión de rechazo no se obtiene antes de que se observe un movimiento superficial.

f. Velocidad de inyección

La velocidad a la que se inyecta la lechada de compactación puede ser un parámetro más crítico que la presión de inyección, aunque los dos estén relacionados. Las velocidades de bombeo lentas del orden de 0.5 – 1.0 pies cúbicos (0.01 – 0.02 m³) por minuto se usa en suelos con poco drenaje y cerca de la superficie, Se utilizan velocidades medidas del orden de 1.0 – 4.0 pies cúbicos (0.02 – 0.11 m³) por minuto en suelos de drenaje libre o secos con cobertura razonable y velocidades de bombeo rápidas de 4 – 12 pies cúbicos (0.11 – 0.34 m³) o más en situaciones seguras anuladas o sueltas que implican una cobertura significativa.

g. Volumen de inyección

En las aplicaciones de densificación convencionales, el objetivo debe ser distribuir la lechada de compactación de manera uniforme a través de los estratos objetivos sin causar un movimiento superficial prematuro. Es mejor seleccionar un volumen objetivo estándar para cada etapa de inyección. Este volumen objetivo debe ajustarse a medida que avanza el programa. Un aumento en el volumen está garantizado si no se observa el movimiento hasta que la tubería este cerca de la superficie. Una disminución en el volumen es apropiada si se observa un tirón en las etapas profundas. Los volúmenes objetivos por etapas individuales deben estimarse durante el proceso de diseño. Deben ser una fracción del área afectada.

h. Esfuerzo de elevación

La elevación superficial y/o estructural es el factor limitante más común en compactación de lechada. Es un fenómeno que se puede observar en la mayoría de los proyectos de mejoramiento de suelos por este método. La elevación indica que las tensiones de compactación han excedido las tensiones limitantes y que la masa del suelo se está fracturando en lugar de compactar. Cualquier inyección adicional es prácticamente inútil. Por

esta razón, el diseño de la inyección debe requerir movimiento a la siguiente etapa una vez que se observa al levantamiento.

Antes de comenzar el bombeo, es importante establecer límites aceptables de levantamiento superficial o estructural. Si es posible, se debe establecer la elevación acumulativa lo suficientemente alto como para observar el impulso más pequeño posible en inyección múltiple.

i. Cálculos para diseño

El diseño teórico presentada por los ingenieros John H. Schmertmann y James F. Henry ambos miembros de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles ASCE, realizaron un estudio paramétrico que utiliza el método, así como su uso en un cálculo para el proyecto de Compaction Grouting.

La mejora de suelos mediante Compaction Grouting proporciona un método para reducir y tal vez eliminar el riesgo de daño estructural debido al colapso lento o repentino del tipo sumidero de huecos del subsuelo. Henry (1986), Schmertmann et al (1986), Welsh (1988) y Henry (1989) presentan una variedad de historias de casos que describen la aparente aplicación exitosa de la

lechada de compactación para este propósito. Algunos ingenieros-contratistas progresistas han comenzado a desarrollar métodos de diseño racionales, por ejemplo, Gambin (1991) para la reducción de asentamientos.

El alcance del documento incluye una descripción del método de diseño desarrollado, un estudio paramétrico que utiliza el método. También incluye una descripción de un programa de prueba de laboratorio único diseñado para proporcionar una confirmación preliminar de los nuevos conceptos de análisis de diseño y los valores para el estudio paramétrico.

En concepto Usando las Figuras 4 y 5, el concepto puede resumirse:

- Las inyecciones de alta presión con mortero de cemento de baja depresión forman un patrón geométrico de columnas de lechada en una capa con buen soporte.
- Inyecciones múltiples a intervalos de profundidad adecuados forman cada columna de lechada a una altura h . Cada uno ayuda a desplazar y compactar el suelo en el área s^2 entre columnas y aumenta la

presión lateral, denotada σ_h , y la fricción del suelo, denotada τ , en los límites de la columna/suelo. El aumento de la presión lateral eventualmente se disipa en parte a una fracción, denotado α de su valor inicial debido a la fluencia y otros efectos. El aumento en la densidad y la tensión aumenta la fuerza potencial de corte de la columna / suelo a un valor denotado T, y el rodamiento superior a un valor denotado R.

- La separación entre columnas s , la altura h y el diámetro promedio d se eligen en combinaciones adecuadas hasta que los suelos de sobrecarga puedan ser soportados por T y R. Ver la figura 2. Cualquier recargo, denotado q , genera soporte adicional de ΔT y ΔR en las columnas de lechada.
- La eliminación total o parcial de la carga de sobrecarga γz y el recargo q sobre los huecos al arquear las columnas de lechada también elimina todo o parte del riesgo de asentamiento en la superficie.

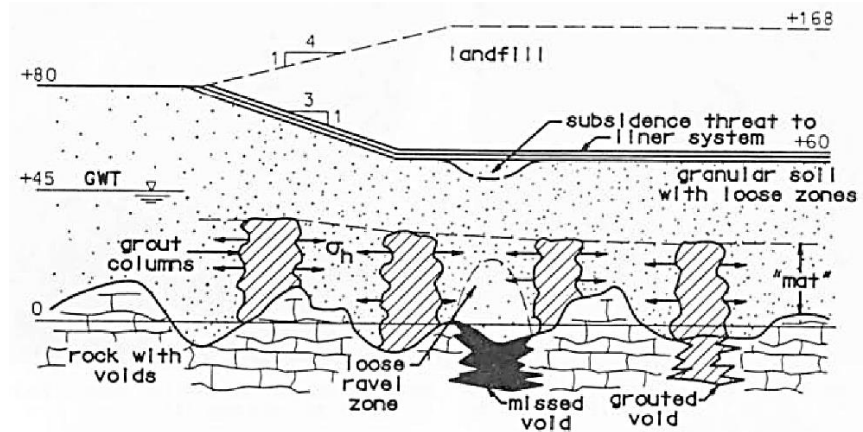


Ilustración 12. La inyección de compaction grouting evita el hundimiento inducido por vacíos

FUENTE: A Desing Theory For Compaction Grouting, J. Schmertmann, J. Henry, 1992, p. 225

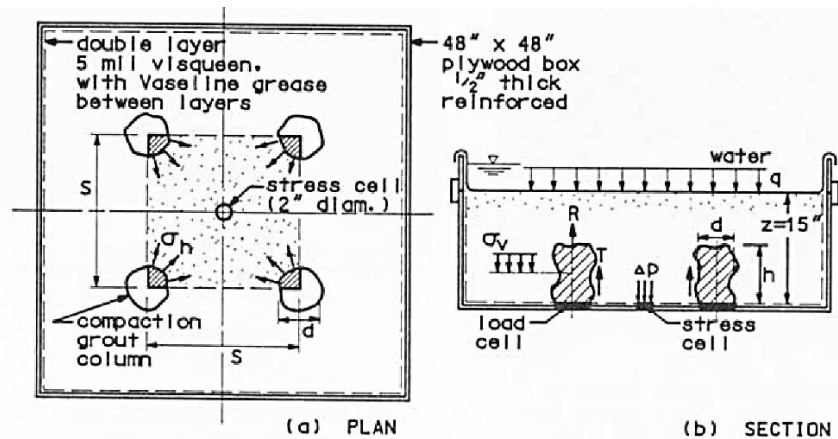


Ilustración 13. Caja de prueba de modelo experimental

FUENTE: A Desing Theory For Compaction Grouting, J. Schmertmann, J. Henry, 1992, p. 225

j. Estudio Paramétrico

Los autores utilizaron un programa de calculadora que incorpora las ecuaciones (1) a (13), configuraron variables adimensionales y luego produjeron un diseño de ejemplo.

El análisis del diseño apunta a lograr el factor de seguridad F , o alternativamente cuando $F < 1$, una relación de reducción de esfuerzos S_R . Se usan solo esfuerzos efectivos y tensiones. F proviene de una comparación de fuerzas verticales y S_R de una comparación de tensiones verticales.

La ecuación (1) expresa la fuerza vertical hacia abajo:

$$F_v \downarrow = (\gamma z + q)s^2 \text{-----} (1)$$

Las fuerzas verticales hacia arriba consisten en T y R más ΔT y ΔR de cualquier sobrecarga. Las siguientes ecuaciones (2) al (8) describen estas fuerzas.

$$T = \tau \pi d h \text{-----} (2)$$

$$\tau = \sigma_h \tan \phi_g \text{-----} (3)$$

$$\sigma_h = k \sigma_v \text{-----} (4)$$

$$\Delta T = K_o q \tan \phi_g \pi d h \text{-----} (5)$$

$$R = \frac{\sigma_{vc} \pi d^2}{4} \text{-----} (6)$$

$$\sigma_{vc} \approx \sigma_{hc} \text{-----}(7)$$

$$\Delta R = \frac{\theta q \pi d^2}{4} \text{-----}(8)$$

La ecuación (9) define el factor de seguridad

$$F = \frac{F_v \uparrow}{F_v \downarrow} = \frac{T + \Delta T + R + \Delta R}{(\gamma z + q)s^2} \text{-----}(9)$$

Cuando $F < 1$ se recomienda usar el factor de reducción de la tensión S_R descrita en la ecuación (10) que denota el esfuerzo normal vertical promedio que actúa en las bases de las columnas de grout.

$$S_R = \frac{\sigma_{despues\ grouting}}{\sigma_{antes\ grouting}} = \frac{[s^2(\gamma z + q) - (T + \Delta T + R + \Delta R)]}{(s^2 - \frac{\pi d^2}{4}) \gamma z + q} \text{-----}(10)$$

Esfuerzo horizontal σ_h : El uso normalizado de $K = \sigma_h / \sigma_v$ proporciona una forma conveniente y convencional de expresar el esfuerzo horizontal. Usando K_o y K_g para denotar este coeficiente antes y después de la inyección y α para denotar la fracción del aumento del esfuerzo límite durante la inyección en la que los ingenieros pueden confiar, después del curado de la lechada y la fluencia del suelo.

$$K = K_o + \alpha(K_g - K_o) \text{-----}(11)$$

Con base a pruebas y teorías los autores esperan que K_g varié entre 1.5 a 10, debería aumentar con la densidad y con la relación de desplazamiento horizontal del grout β , definido en la ecuación.

$$\beta = \frac{\pi d^2}{4s^2} (100\%) \text{-----} (12)$$

La siguiente ecuación define el esfuerzo de volumen de grout en general:

$$\varepsilon_v = \frac{\pi d^2 h}{4s^2 z} (100\%) = \beta \left(\frac{h}{z}\right) \text{-----} (13)$$

Tenga en cuenta que α en la ecuación (11) debe estar entre 0 y 1. Usando $\alpha=0.5$, $K_0=0.5$, y el rango esperado mencionado anteriormente en K_g , la Tabla 1 da valores de diseño sugeridos de K y $\tan\phi_g$, basados en resultados experimentales.

Tabla 3. Valores de diseño sugerido para K y $\tan\phi_g$

K sobre $\tan\phi_g$					
Suelo	$\beta = 5\%$	10%	15%	20%	25%
Muy suelto (contractante)	1.00	1.30	1.40	1.50	1.50
	0.60	0.65	0.68	0.70	0.70
Suelto (neutral)	1.50	2.00	2.30	2.50	2.60
	0.70	0.73	0.75	0.77	0.78
Medio denso (dilatante)	2.50	3.30	3.70	4.00	4.20
	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85

FUENTE: A Desing Theory For Compaction Grouting, J. Schmertmann, J. Henry, 1992, p. 225

Los autores utilizaron un programa de cálculo que incorpora las ecuaciones (1) al (13), estableciendo variables adimensionales y produjeron un ejemplo guía de diseño. Del estudio paramétrico realizado los autores ofrecen los siguientes comentarios.

- El volumen total de lechada (E_v) requerido a un espaciado de columna constante (s / z) para lograr un F dado (o S_R) disminuye al aumentar β . Vea el ejemplo $F = 1$ y $E_v = 3\%$ de comparación a en la Figura 6. Esto ocurre debido a que la Tabla 1 aumenta en K y $\tan\theta$ con β .
- El volumen total de lechada requerido disminuye aproximadamente de forma lineal con la disminución de espacio entre columnas - en constante F . Ver b en la Figura 6. Sin embargo, esto se produce a expensas de más columnas de lechada.
- En el mismo β , aumentar la altura de la columna de lechada a $h / z > 0.5$ produce muy poca mejora en F o S_R .
- Para un espacio y altura de columna dados, el volumen total de lechada E_v aumenta en proporción a F .

2.2.3.5 Materiales y Equipos

a. Materiales

La lechada generalmente este compuesto por una mezcla de arena limosa, cemento y agua para formar un mortero con una trabajabilidad de 1 – 3 pulgadas. Por lo general se usa cemento, pero no es un requisito y este se puede omitir. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p. 13-16)

Arena/Suelo

El componente principal de la mezcla de lechada de compactación es arena o un suelo arenoso con un 15 – 30% pasando el tamiz N° 200. Este material puede usarse con cemento como aditivo y por lo general se usa tres partes de arena por una parte de cemento.

Cemento

El cemento portland tipo I o II son los más usados en las mezclas según la necesidad de resistencia y la vida útil anticipada requerida para el proceso de mejoramiento del suelo.

Cenizas volantes (Fly Ash)

En la mayoría de los casos, las cenizas volantes son un sustituto deseable del cemento en un esfuerzo para

obtener un contenido apropiado de finos en la mezcla. La ceniza volante permite mucho más tiempo de trabajo antes del fraguado y cuesta menos que el cemento. Cuando está disponible se usa con frecuencia para reemplazar hasta en un 50% o más del contenido de cemento.

Bentonita

El uso de bentonita debe mantenerse a un mínimo absoluto en la mezcla. El uso excesivo resulta una consistencia más fluida. Normalmente, la bentonita compone menos del 3% del peso combinado de cemento y cenizas volantes y en casos extremadamente inusuales no debe de exceder el 5%.

Agregado grueso

El uso de gravilla y otros agregados pequeños y redondeados debajo de 0.5 pulgadas se han utilizado con éxito en aplicaciones con grandes bombas y líneas de lechada de 2 pulgadas de diámetro o más. También se puede usar roca angular como la piedra caliza triturada el cual funciona muy bien, pero generalmente requiere una ligera variación en el contenido de finos en la relación de la mezcla, y aumenta el desgaste de las mangueras, cilindros de bombas, etc.

b. Equipos

Se requiere tres piezas principales para realizar el mejoramiento por este método:

- Equipo para dosificar la mezcla.
- Equipo de bombeo para la mezcla.
- Equipo de inyección (tubo)

La tubería de inyección generalmente se instala con un equipo de perforación. Es importante que el tubo de inyección este en contacto directo con el suelo. De lo contrario, la lechada puede fluir alrededor de la tubería hacia la superficie del suelo o la presión de la lechada puede sacar la tubería del suelo. La bomba debe ser capaz de inyectar un mortero de bajo asentamiento a alta presión. La bomba de pistón debe ser capaz de alcanzar una presión de bombeo que a menudo se requiere hasta de 1000 psi (6.9 MPa). (Methods of Soft Ground Improvement, James D. Hussin - Foundation Engineering Handbook, sf, p.537).

2.2.3.6 Diseño de mezcla

El diseño de la mezcla de la lechada de compactación debe esforzarse por cumplir tres objetivos competitivos:

- Suficiente capacidad de bombeo para permitir la inyección de la lechada.
- La lechada debe permanecer como una masa en crecimiento en el suelo.
- Cualquier agua de sangrado debe poder disiparse en el suelo (es decir, no hay agua alrededor de la bombilla).

Estas tres consideraciones están controladas principalmente por la cantidad y las propiedades de partículas finas del tamaño inferior al 0.74 mm (equivalente al tamiz N° 200). La cantidad de agua en la mezcla de lechada y la gradación del agregado también son muy importante.

La mineralogía de los agregados utilizados en la mezcla también afectara el comportamiento de la lechada de compactación. Se ha descubierto que los agregados de piedra caliza requieren un contenido de finos menor para hacerlo bombeable. Por lo tanto, las lechadas con agregados de piedra caliza son generalmente más fáciles de controlar.

Como se indicó anteriormente, se debe tener cuidado al introducir aditivos, arcillas de alta plasticidad a la mezcla, ya que pueden causar un comportamiento como un fluido en el

suelo, lo que lleva a una pérdida de control que puede resultar en una hidrofractura. El efecto de los aditivos, aunque potencialmente muy útil para mejorar la capacidad de bombeo, aun no se entiende bien este comportamiento.

La cantidad de agua agregada a la mezcla debe ser la mínima necesaria para permitir que la lechada de compactación sea bombeable. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p. 13-14)

2.2.3.7 Verificación de la efectividad del método

Se puede utilizar una amplia variedad de métodos para medir directa e indirectamente el rendimiento de la lechada. Estos incluyen métodos mecánicos y geofísicos.

El enfoque de estos métodos es determinar la mejora de la densidad del suelo después de aplicar la inyección de lechada de compactación. Algunos métodos no son intrusivos y/o no destructivos y pueden ser usados sin perturbar la línea agrupada. Los métodos destructivos generalmente son indirectos y requieren la interpretación de la información. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p.76-79)

2.2.3.8 Evaluación de cambios de densidad

El mejoramiento de suelos por el método compaction grouting, aumentara la densidad del suelo. Los cambios de densidad de pueden medir comparando la densidad in situ antes y después de la inyección de lechada.

La lechada de compactación aumentara la densidad del suelo que rodea la masa de lechada inyectada.

Los métodos directos de determinación de densidad incluyen la prueba del cono de arena, la prueba de globo de goma, la prueba de cilindro y para suelos gruesos la prueba del método de manga. Todos estos métodos, excepto posiblemente la prueba del cilindro de accionamiento, se realizan en pozos de prueba. El aspecto más difícil de las pruebas de densidad debajo de la superficie del suelo es obtener una muestra de suelo no perturbada.

Los métodos indirectos para evaluar la densidad del suelo incluyen la prueba de penetración estándar (SPT), cono de prueba de penetración (CPT), dilatómetro (DMT), prueba de medidor de presión (PMT), prueba de densidad nuclear y métodos sísmicos. Se ha demostrado que los métodos sísmicos son efectivos. (Compaction Grouting Concensus Guide, Geo-Instituto ASCE, 2007, p.76-79).

2.2.4. Relaves

Los relaves mineros son un tipo de los residuos generados por la actividad minera donde es una mezcla de sólidos con agua produciéndose una pasta que es trasladado a tranques de relaves para su decantación.

Relave corresponde al residuo, mezcla de mineral con agua y otros compuestos, que queda como resultados de haber extraído los minerales sulfatados en el proceso de flotación. Este residuo, también conocido como cola, es transportado mediante canaletas o cañerías hasta lugares especialmente habilitados o tranques, donde es agua es recuperada o evaporada para quedar dispuesto finalmente como un depósito estratificado de materiales finos (arenas y limos). (Ministerio de Minería del Gobierno de Chile, 2018)

2.2.4.1 Origen del relave

Según la Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas de Chile Los relaves mineros son residuos provenientes de la actividad minera los explicaremos a continuación:

2.2.4.2 Residuos generados por la actividad minera

a. Residuos de extracción

En función de las características de los yacimientos, se hace necesario para su explotación remover grandes

cantidades de material, el cual debe posteriormente ser reubicado en el entorno del yacimiento o planta de procesamiento. Los residuos sólidos que se generan en esta etapa son:

- **Estéril o Lastre:** Se genera en grandes tonelajes, incluyen aquellos materiales sin valor económico, que solo han sido removidos del yacimiento y que a lo más han pasado por un proceso de chancado antes de su disposición. Estos residuos provenientes de todos aquellos sectores del yacimiento cuyo contenido de mineral valioso es muy bajo para hacer atractiva su recuperación, pero que de todas maneras es necesario remover para poder acceder a zonas más ricas del mismo. El estéril una vez removido del yacimiento se dispone formando características “tortas” de estéril en las cercanías de los yacimientos minero.
- **Minerales de baja ley:** El tonelaje de mineral de baja ley (mineral cuyo contenido de metal no hace rentable su procesamiento en la actualidad) varia de una faena a otra y son considerables las cantidades que se deben acopiar, para su probable procesamiento en un futuro.

- **Desmante de mina subterránea:** En la construcción de galerías, piques y rampas para acceder al yacimiento subterráneo y durante la explotación de él se genera materiales estériles que deben ser dispuestos ya sea en el interior de la mina o en el exterior en forma similar a la minería a cielo abierto.

b. Residuos de lixiviación

- **Ripios:** En este proceso el mineral chancado, con un tamaño aproximado de un cuarto de pulgada, se dispone formando una pila a la cual se le hace pasar un fluido lixivante durante un periodo de tiempo definido, (ácido sulfúrico en el caso de minerales de cobre y cianuro en el caso del oro). El cual solubiliza el metal de interés contenido en pila. Una vez extraído el metal valioso, el mineral “agotado” que queda recibe el nombre de ripio de lixiviación o de cianuración. Los ripios pueden ser compactados y sobre ellos construirse una nueva pila o bien pueden ser removidos y dispuestos finalmente en otro sitio. Para el depósito de los ripios de lixiviación se utilizan normalmente sitios preparados e impermeabilizados, con el objeto de evitar el escurrimiento de soluciones generalmente acidas. Estos residuos masivos mineros provenientes de las operaciones de extracción,

beneficio o procesamiento de minerales son considerados no peligrosos. (Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas de Chile, 2002, p 12)

c. Residuos de flotación

En el proceso de flotación, concentración de los minerales de cobre y oro, se producen residuos llamados relaves.

- **Relave:** Son los residuos que están compuestos por una suspensión fina de sólidos (mezcla de 50% sólido y 50% agua). Constituido fundamentalmente por el mismo material presente en el yacimiento, al cual se le ha extraído la fracción con mineral valioso. Los relaves son conducidos en forma de pulpa hacia los depósitos llamados tranques de relaves los que están diseñados para permitir la decantación de los sólidos en suspensión y dependiendo de la faena, se puede recircular la fase líquida (aguas sobre nadantes) al proceso o descartarla, ya sea a través de evaporación, evapotranspiración. (Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas de Chile, 2002, p 12)

d. Residuos de fundición

En los procesos de fusión y conversión se generan como desecho las escorias.

- **Escoria:** Es el residuo producido durante la etapa de fundición de los concentrados de cobre. Las escorias principalmente fijan el hierro y otros metales presentes en el concentrado, mediante la generación de compuestos estables con la sílice que se utiliza como fundente. Las escorias son retiradas desde los hornos y son dispuestas en vertederos. (Gestión de Residuos Industriales Sólidos Mineros y Buenas Prácticas de Chile, 2002, p 12)



Ilustración 14. Proceso de producción minera.

FUENTE: Minería de Todos, 2019

2.2.4.3 Tipos de depósitos de relaves

Existen varios tipos de depósitos de relaves, que varían según la cantidad de agua que acompaña al relave (es decir, la densidad del relave), y según la forma de contener la deposición. De esta forma existen los siguientes tipos.

a. Tranque de relave

Depósito en el cual el muro es construido por la fracción más gruesa del relave, compactado, proveniente de un hidrociclón (operación que separa sólidos gruesos de sólidos más finos, mediante impulsión del flujo de agua). La parte fina, denominada Lama, se deposita en la cubeta del depósito.

b. Embalse de relave

Es aquel depósito donde el muro de contención está construido de material de empréstito (tierra y rocas aledañas) y se encuentran impermeabilizado en el coronamiento y en su talud interno. También se llaman embalses de relaves aquellos depósitos ubicados en alguna depresión del terreno en que no se requiere construcción de un muro de contención.

c. Relave espesado

Depósitos en el que la superficie es previamente sometida a un proceso de sedimentación, en equipo denominado Espesador, que favorece la sedimentación de los sólidos (de manera similar a la limpieza de agua de ríos para hacer agua potable), con el objetivo de retirar parte importante del agua contenida, la que puede ser reutilizada para reducir el consumo hídrico de fuentes de agua limpia. El depósito de relave espesado se construye de forma tal que impide que el relave fluya a otras áreas distintas a las del sitio autorizado, y contar con un sistema de piscinas de recuperación de agua remanente que pudiese fluir fuera del depósito.

d. Relave filtrado

Es similar al espesado. Se trata de un depósito en que el material contiene aún menos agua, gracias al proceso de filtrado, para asegurar así una humedad menor de 20%. Esta filtración es también similar a la utilizada en agua potable.

e. Relave en pasta

Corresponden a una mezcla de agua con sólido, que contiene abundantes partículas finas y bajo contenido de

agua, de modo que la mezcla tenga una consistencia espesa, similar a una pulpa de alta densidad.

f. Otros tipos

Existen otros tipos de depósitos de relaves como por ejemplo los depósitos en minas subterráneas, en rajo abandonados, entre otros. (Servicio Nacional de Geología y Minería del Gobierno de Chile, 2019, p.2)

2.2.4.4 Propiedades físicas del relave

El comportamiento de los relaves va a venir determinado por sus propiedades y también por la naturaleza del depósito. La deposición de los relaves puede dar lugar a dos clases fundamentales de material: arenas depositada mediante mecanismos hidráulicos y limos depositados mediante procesos de sedimentación.

Las propiedades de los relaves arenosos suelen ser similares a los de los suelos naturales tamaño arena, mientras que la de los relaves limosos presenta un comportamiento más complejo.

Entre las propiedades de estos, destacaremos los siguientes:

a. Granulometría (ASTM C136)

Los residuos mineros tienen como características principales el tamaño de las partículas olidas porque va a determinar sus posibilidades de aprovechamiento y recuperación. La granulometría va depender de los procesos mineralúrgicos empleados para concentrar o extraer los minerales, por ejemplo, en el caso del carbón, la separación por gravedad lleva consigo estériles más gruesos que la flotación. En operaciones con minerales de cobre, donde la recuperación se hace por lixiviación en eras, los residuos tienen una granulometría gruesa, del tamaño de grano de una grava.

Por tanto, podemos decir que la granulometría de las partículas sólidas va a determinar el posible aprovechamiento o la calidad de los relaves para la construcción de una presa de residuos, por ejemplo, tal y como se muestra en los datos de la siguiente tabla.

Tabla 4. Granulometría de los relaves

<i>Granulometria de relaves</i>		
<i>Granulometria</i>	<i>% de paso la malla N° 200</i>	<i>Calidad</i>
Gruesos	0 - 15%	Buenos
Medios	15% - 50%	Generalmente buenos
Finos	50% - 80%	Cuestionables
Limos	100%	Almacenado por presas convencionales

FUENTE: Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015

En un tipo de descarga convencional de relaves, las partículas más gruesas o arenas se depositan rápidamente formando una playa junto al dique de la presa si es ahí donde se encuentra el punto de descarga, mientras que el resto de partículas fluyen como lamas (partículas interiores a 0.1 mm) hacia el interior de la presa. En la siguiente figura se muestra la disposición longitudinal de la sedimentación de los distintos tipos de relaves en función de su granulometría en la playa de una hipotética balsa o presa. (Manual del Manejo de Residuos Industriales Mineros, 2015, p.35, 36).

b. Plasticidad

Es la propiedad que permite al material sufrir deformaciones sin recuperación elástica perceptible y sin resquebrajarse ni desmenuzarse. También la podemos definir como capacidad que tienen ciertos materiales para cambiar de forma, bajo una carga constante, sin cambio apreciable de volumen.

La plasticidad de los relaves procedentes de las plantas de tratamiento de mineral viene dada en función del tipo de estéril y del porcentaje de finos que presenten. Esta plasticidad se determina por los llamados límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico), que nos sirve

para determinar la humedad para la cual un suelo pasa del estado líquido en plástico y de este al sólido. (Manual del Manejo de Residuos Industriales Mineros, 2015, p.38).

c. Permeabilidad

Es un concepto relativo. Un material se considera permeable cuando está situado entre otros menos permeables que él, por lo que podemos decir que todos los materiales son más o menos permeables. En este sentido podemos afirmar que el agua filtra a través de todos los materiales, con la única diferencia de la magnitud o intensidad. Aquí lo que podemos hablar es del grado de permeabilidad de cada material, que va a depender de la amplitud de los huecos o vacíos continuos que existan entre partículas.

Por lo tanto, la variación de la permeabilidad es función de la granulometría de los lodos, de su plasticidad, del modo de deposición y de su profundidad en el depósito. (Manual del Manejo de Residuos Industriales Mineros, 2015, p.40, 41).

Algunos valores típicos de permeabilidad de los residuos mineros se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Permeabilidad de los relaves

<i>Permeabilidad de relaves</i>	
<i>Materiales</i>	<i>Permeabilidad Media cm/s</i>
Arenas cicladas gruesas con menos del 15% de finos	10^{-2} - 10^{-3}
Arenas depositadas en la playa de la balsa con 15% - 30% de finos	10^{-3} - 10^{-4}
Relaves limosos no plasticos o con poca plasticidad	10^{-5} - 10^{-6}
Relaves limosos con alta plasticidad	10^{-7} - 10^{-8}

FUENTE: Manual de Residuos Industriales Mineros, 2015

d. Consolidación

En aquellos relaves que en un principio están constituidos por materiales sin consolidar vertidos en suspensión, las porosidades suelen presentar valores muy elevados. Por eso, cuando se realizan vertidos sucesivos y continuos de relaves, se origina un gradiente de presión debido al peso de estos, que hace que el agua escape hacia las superficies libres, con lo cual los lodos se consolidan, reduciendo así su porosidad.

Los residuos generados en los procesos de tratamiento de los minerales, frecuentemente denominados con el anglicismo “tailings”, están constituidos fundamentalmente por la ganga, es decir por los minerales que acompañan a los que son objeto de la exploración (mena) y de los que son separados por una

serie de tecinas. Adicionalmente, restos de los reactivos utilizados para el tratamiento quedan incorporados en mayor o menor medida a estos residuos, abarcando un amplio espectro de sustancias químicas de diferente comportamiento ambiental y muy distintas características toxicológicas (cal, aceite de pino, cianuros, etc.).

Los residuos de los procesos de tratamiento son fundamentalmente relaves y se disponen en presas o balsas. Son presas de relaves aquellos depósitos que, por estar situados en todo o en parte por encima de la cota de terreno circundante, requieren una estructura de dique para la contención de los relaves depositados.

Las balsas son aquellos depósitos que, por estar situados en su totalidad por debajo de la cota del terreno circundante, no requieren una estructura de dique para la contención de los relaves.

No obstante, según el grado de humedad original en los diferentes relaves producidos durante el tratamiento, parte de ellos pueden ser desecados y dispuestos a modo de escombreras de materiales finos.

Las presas y balsas pueden encontrarse en exploraciones metálicas, de carbón, en canteras o graveras. En este último caso, lo que se acumula en las balsas son materiales finos (limos) provenientes del lavado de las gravas o arenas objeto de la explotación. Por este motivo, no presentan problemas de transferencia de contaminantes al medio, si se exceptúa el incremento de turbidez en los cursos de agua a los que puedan llegar en caso de contención defectuosa en la balsa.

Las presas de residuos en las explotaciones de carbón contienen fundamentalmente materiales finos de las rocas entre las que se sitúan los filones (fragmentos de pizarras y cuarcitas), estando siempre presentes restos de carbones de mala calidad, piritas y azufre.

En cuanto a los lodos almacenados en las presas de explotaciones metálicas son evidentemente de composición muy variada según el yacimiento en cuestión y los métodos de tratamiento. (Manual del Manejo de Residuos Industriales Mineros, 2015, p.41-44).

2.2.4.5 Características químicas del relave

Las características químicas de los relaves mineros son ampliamente variables de un yacimiento a otro. Por lo que se puede explotar materiales con diferente geoquímica durante toda la actividad de la mina.

a. Relaves solidos

En los depósitos de minerales polimetálicos altamente sulfurados en el Perú, las diferencias en la gravedad específica de las partículas de minerales individuales pueden afectar la distribución de varios metales, incluyendo la de pirita, de acuerdo a las diferentes fracciones de tamaño de los relaves. Se notó que las partículas sulfurosas más pesadas eran separadas preferencialmente con las partículas más gruesas durante el procesamiento en la concentradora, en tal forma que ello ocasionaba la sobre molienda de los sulfuros a partículas mucho más finas. Esto, tiende a concentrar los minerales más pesados tales como galena y pirita en las partículas finas de los relaves como se muestra por comparación de las curvas de alimentación y rebose del clasificador. Este efecto de tamaño de partícula y densidad tiene influencia en la distribución granulométrica de la concentración de metal sólido dentro del depósito de relaves, y las propiedades estructurales

relacionadas con el tamaño de la partícula, tales como permeabilidad y la retención de humedad por largo tiempo, también pueden afectar preferencialmente la movilidad de cualquier especie metálica soluble, así como la generación y movilidad de productos de la oxidación de sulfuros. Otro resultado de este efecto del tamaño de la partícula puede ser la influencia que tiene sobre el contenido metálico de los sólidos ultrafinos que pueden mantenerse en suspensión en el agua de proceso de los relaves, como se discutirá en la siguiente sección. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 2019, p.13)

b. Efluentes líquidas de flotación

La primera consideración relacionada a los efluentes líquidos y su calidad, es el contenido de sólidos muy finos en suspensión el cual es usualmente medido como sólidos totales en suspensión (TSS) o menos frecuentemente como unidades de turbidez. Los niveles elevados de sólidos totales en suspensión TSS en los efluentes descargados en algunas minas en el Perú resultan de la retención por tiempo limitado y sedimentación en pequeños depósitos. Estos contenidos son más fáciles de reducir si se incrementa el tiempo de retención en los depósitos mencionados para este

propósito y se recircula el agua de proceso hacia la concentradora, eliminando del todo la descarga de agua de este depósito. Por otro lado, los floculantes (polímeros sintéticos) coagulantes (Fe, Al y sales) y reactivos químicos para ajustar el pH (cal) pueden ayudar a la reducción de las partículas suspendidas. La filtración a través de filtros de arena, que pueden utilizar las arenas de relaves cicloneados como medio filtrante, han sido también sugeridas como un medio para reducir las partículas ultrafinas en suspensión.

Los residuos de reactivos utilizados en flotación acompañan tanto a los relaves sólidos como a los líquidos descargados con los relaves. Los reactivos de flotación pueden ser cal, ditiofosfatos, xantatos, cromatos, sulfitos, sulfato de cobre, sulfato de zinc, ácidos grasos, alcoholes, aceites y cianuro entre otros, dependiendo del requerimiento metalúrgico específico de cada operación. Con la excepción del cianuro (que se discute por separado más abajo) la mayoría de los demás reactivos de flotación existen en formas no tóxicas para los humanos y la vida acuática. Generalmente se aplican en pequeñas concentraciones en las operaciones más eficientes; los reactivos orgánicos de flotación se

descomponen rápidamente y son rara vez responsables de algún impacto ambiental serio.

El proceso de flotación puede también liberar otros constituyentes en solución, dependiendo de la extensión en la cual éstos puedan estar presentes en el mineral y de su solubilidad. Esto incluye frecuentemente sulfatos y cloruros, pero a menudo dentro de límites aceptables para agua de bebida y usos acuáticos. Más importantes pueden ser los metales potencialmente tóxicos, tales como arsénico y selenio (sólo si están presente en el mineral) que pueden ser solubles cerca del pH neutro. Aún los niveles ligeramente elevados de cobre, plata, plomo, aluminio y zinc en solución pueden ser especialmente dañinos para los peces salmónidos, además del riesgo potencial de ser acumulados en los tejidos de los organismos marinos. Algunos de estos metales pueden ser tóxicos para el consumo humano en mayores concentraciones; otros metales como el cobalto, molibdeno, y níquel pueden afectar adversamente el crecimiento de las plantas o del ganado si están presentes en las aguas usadas para irrigación. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 2019, p.13)

c. Efluentes cianurados

Como uno de los pocos componentes conocidos que disuelven al oro y la plata, el cianuro de sodio es usado como lixiviante en la mayoría de las operaciones para beneficiar oro y plata, y muchas veces como un reactivo en los procesos de flotación. La química del cianuro es compleja pero bien conocida y aunque está fuera de los alcances de esta Guía, presentamos aquí una breve introducción a este tópico.

El cianuro en los efluentes de los relaves incluye cianuro libre (CN y HCN), así como formas complejas en asociación con varios metales que tiene variada solubilidad y toxicidad. El cianuro libre es químicamente inestable. Por lo tanto, a diferencia de muchos otros contaminantes, no persiste en el ambiente ni tampoco es bio-acumulable a través de la cadena alimenticia. En efecto, el cianuro está presente en muchos alimentos comestibles, tales como las almendras y los frijoles, y es realmente metabolizado por muchos organismos en concentraciones similares a aquéllas que se encuentran en algunos efluentes de relaves (Howe, 1984). (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 2019, p.15)

d. Drenaje acido (ARD) de relaves

Una discusión completa de los problemas de drenaje ácido (o ARD) está más allá de los alcances de esta Guía. Cuando ello ocurre, estos problemas afectan todos los residuos del proceso minero, incluyendo el agua de mina y los echaderos de desmonte, así como los relaves, y la estrategia de control del ARD para cualquiera de estos tipos de residuos no puede considerarse aisladamente. Sin embargo, se requiere algunos antecedentes sobre el tema del ARD para entender adecuadamente el manejo de los relaves, y en esta sección damos una introducción muy simplificada. En efecto, el planeamiento para el manejo de relaves no puede ser iniciado hasta que haya por lo menos una indicación de que los problemas de ARD puedan ocurrir o no.

El ARD se refiere a procesos por los cuales el pH del agua en contacto con los relaves puede disminuir severamente, dando como resultado la disolución y transporte de metales tóxicos disueltos tales como arsénico, plomo, cadmio, y un conjunto de otros, además un drástico incremento del contenido de los sulfatos. Es casi imposible detener completamente el proceso una vez que se ha iniciado, y los efectos de la acidificación pueden continuar por muchos siglos, así sucedió en el

distrito de Rio Tinto en España, explotado por los romanos, y en cuerpos mineralizados suecos trabajados poco después de la época de los Vikingos, hace 1000 años. El ARD puede ser el tema ambiental asociado al manejo de relaves potencialmente más dañino y difícil de tratar, y puede no ser evidente aún muchos años después del período de cierre de operaciones. Más que ningún otro asunto, el potencial para ARD es específico para cada cuerpo mineralizado y para sus condiciones físicas y climáticas; no hay reglas generales para predecirla, en cualquier depósito sin el auxilio de pruebas geoquímicas. Existen, sin embargo, varios requisitos para que este proceso ocurra.

La primera condición necesaria para el ARD es que los minerales sulfurados estén presentes en los relaves, principalmente pirita, pero también otras formas aún más reactivas tales como la pirrotita y la marcasita. Esto puede ser determinado frecuentemente en forma cualitativa a partir de la información geológica respecto al cuerpo mineralizado, pero otra señal puede ser la alta gravedad específica de los relaves. Aunque los relaves de los minerales metálicos están compuestos principalmente de minerales de silicato o carbonato con gravedad específica (Gs) de 2.65-2.85, ellos contienen al

menos pequeñas cantidades de metales no recuperados y hierro del proceso de molienda (barras de acero o bolas) que típicamente resultan en una gravedad en el rango de 2.8-2.9 para los minerales bajos en sulfuros. Por contraste, los relaves altos en sulfuros a menudo exceden considerablemente este rango, con una gravedad específica que a menudo se ubica sobre 3.5, por ejemplo, para el caso de los relaves polimetálicos peruanos que normalmente contienen de 10 a 60% de pirita.

En presencia de aire, la segunda condición, las superficies del mineral sulfurado se oxidan en una reacción compleja que involucra varios pasos químicos ayudados por bacterias, para formar ácido sulfúrico. Sin embargo, esta reacción por sí sola causará grandes problemas sólo si los relaves contienen cantidades insuficientes de otros minerales que consumen ácido (por ejemplo, carbonato de calcio) para neutralizar el ácido, lo cual es la tercera condición necesaria. La condición final es que los contaminantes producidos deben ser transportados de los depósitos de relaves hasta los terrenos receptores o aguas superficiales, usualmente por infiltración y drenaje. Considerando el conjunto de estas cuatro condiciones que son necesarias y

suficientes para que se presente el problema del ARD, existe la posibilidad de que no se presenten problemas serios si uno de ellos está ausente.

Cada uno de estos cuatro factores es altamente específico para cada cuerpo mineralizado y para el marco ambiental del depósito de relaves. Una prueba inicial del tipo indicativo para predecir los ARD, conocida como el balance ácido base o ABA (Acid-base accounting), se utiliza para determinar si existe suficiente cantidad de minerales que consuman ácidos para neutralizar la cantidad total de ácido producida en el largo plazo. Aún si esto fuera así, el ARD puede desarrollarse en el corto plazo si el ritmo de producción de ácido excede el ritmo de consumo de ácido en un momento dado y, en tal caso, es necesario correr pruebas del tipo cinético en celdas de humedad que simulen condiciones ambientales. (Guía Ambiental Para el Manejo de Relaves Mineros, 2019, p.16, 17, 18).

2.2.4.6 Tratamientos de relave

Según la EPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos la estabilización/solidificación es una tecnología probada para el tratamiento de desechos peligrosos. Las razones técnicas para la selección de

estabilización/solidificación como tecnología de remediación incluyen:

- Mejora el manejo y las características físicas de los desechos; por ejemplo, los lodos se procesan en sólidos.
- Reduce la transferencia o el lanzamiento de contaminantes contenidos al disminuir el área de superficie.
- Reduce la solubilidad de los contaminantes en los residuos tratados, generalmente por cambios químicos.
- Los residuos del tratamiento de desechos peligrosos mediante tecnologías físicas/químicas, biológicas o de incineración pueden tratarse adicionalmente mediante estabilización/solidificación.
- Debido a problemas de excavación, el tratamiento in situ mediante estabilización/solidificación es la única técnica de manejo viable en muchos casos.
- Las técnicas alternativas de tratamiento y eliminación de residuos peligrosos a menudo son económicamente prohibitivas

a. Estabilización y Solidificación

La solidificación y la estabilización son nombres genéricos aplicados a una amplia gama de tecnologías discretas que están estrechamente relacionados en que

ambos utilizan procesos químicos y/o físicos para reducir el potencial de impactos adversos en el medio ambiente por la eliminación de desechos radioactivos, peligrosos y mixtos

La estabilización se refiere a técnicas que reduce químicamente el potencial de peligro de un desecho convirtiendo los desechos contaminantes en formas menos solubles, móviles o tóxicas.

La solidificación se refiere a técnicas que encapsulan los desechos, formando un material sólido, y no implica necesariamente una interacción química entre los contaminantes y los aditivos solidificantes. El producto de la solidificación, a menudo conocido como la forma de desecho, puede ser un bloque monolítico, un material similar a la arcilla, una partícula granular o alguna otra forma física comúnmente considerada "sólida".

La solidificación aplicada a partículas de desechos finos, típicamente de 2mm o menos, se denomina microencapsulación y lo que se aplica a un gran bloque o contenedor de desechos se denomina macroencapsulación.

La solidificación se puede lograr mediante una reacción química entre los residuos y los reactivos de solidificación o mediante procesos mecánicos. La migración de contaminantes a menudo se restringe al disminuir el área de superficie expuesta a la lixiviación y/o al recubrir los desechos con materiales de baja permeabilidad el proceso combinado de solidificación/estabilización en desechos, suelos y lodos con agentes de tratamiento para inmovilizar, tanto física como químicamente los contaminantes peligrosos. Las tecnologías no se consideran técnicas destructivas; más bien, eliminan o impiden la movilidad de contaminantes. (EPA, Solidificación/Stabilisation Resource Guide, 1999, p. 7)

2.2.4.7 Procesos de Estabilización y Solidificación

Según el EPA Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos para los procesos de estabilización y solidificación se definen cuatro tecnologías, las cuales se agrupan como estabilización inorgánica/solidificación basada en cemento y puzolana; y estabilización orgánica/solidificación termoplástica y polimeración orgánica.

a. Estabilización Inorgánica

a.1. Estabilización/Solidificación a base de cemento

La estabilización/solidificación a base de cemento es un proceso en el que los materiales de desecho se mezclan con cemento portland. Se agrega agua a la mezcla para asegurar la reacción de hidratación necesaria para crear una matriz con el cemento. Los desechos se incorporan a la matriz de cemento y en algunos casos, sufren cambios físico-químicos que reducen aún más su movilidad en la matriz de residuos. Típicamente, se forman hidróxidos de metales, que son mucho menos solubles que otras especies iónicas de los metales. A menudo se agregan pequeñas cantidades de cenizas volantes, silicato de sodio, bentonita o aditivos afines al cemento para mejorar el procesamiento.

a.2. Estabilización/Solidificación a base de puzolana

La estabilización/solidificación puzolánica involucra materiales silicios y aluminosilicatos, que no muestran acción de cementación, sino que forman sustancias cementosas cuando se combina con cal o cemento y agua a temperatura ambiente. El mecanismo de contención primario es la captación física del contaminante en la matriz puzolánica.

Ejemplos de puzolanas comunes son cenizas volantes, piedra pómez, polvo de cal y escoria de horno alto. Las puzolanas contienen cantidades significativas de silicatos que distinguen de los materiales a base de cal. El producto final puede variar de un material blando de grano fino a un material cohesivo duro similar en apariencia al cemento. Las reacciones puzolánicas son generalmente mucho más lentas que las reacciones de cemento. Los materiales de desecho que se han estabilizado/solidificado con puzolana incluyen lodos de petróleo, lodos de revestimiento que contienen varios metales (aluminio, níquel, cobre, plomo, cromo y arsénico), ácidos residuales y creosota.

b. Estabilización Orgánica

b.1. Estabilización/Solidificación Termoplástica

La estabilización/solidificación termoplástica es un proceso de microencapsulación en el que los materiales de desecho no reaccionan químicamente con el material de encapsulación. En esta tecnología se utiliza un material termoplástico como es asfalto (betún) o el polietileno para unir los componentes de desecho en una masa estabilizada/solidificada. El aglutinante de asfalto se puede calentar antes de

mezclarlo con un material de desecho seco o el asfalto se puede aplicar como una mezcla fría. En este último, la compactación se usa para eliminar agua adicional de las partículas de residuos/agregados circundantes. El betún puede tener una aplicación comercial para estabilizar/solidificar suelos contaminados con petróleo y gasolina. En esta aplicación, el suelo contaminado con hidrocarburos se usa para diluir el betún, que luego se usa como material para pavimentar o parchar carreteras. La consistencia resultante variara dependiendo de la densidad del hidrocarburo mezclado con el betún y la cantidad de agregado en la mezcla. La encapsulación termoplástica también se puede aplicar a lodos de galvanoplastia, lodos de pintura y refinería que contienen metales orgánicos, cenizas de incinerados seco, polvo de filtro de tela y desechos radioactivos.

b.2. Macroencapsulación

La macroencapsulación es un proceso que coloca los desechos en un tambor de sobre envasado. Los desechos generalmente se estabilizan/solidifican y (a veces) se microencapsulan antes del tambor. Hubo un tiempo en que se creía que los líquidos podían

almacenarse en estos tambres debido a su excelente integridad y resistencia a los golpes. La prohibición de líquidos de los vertederos ha eliminado efectivamente esta opción. Los desechos típicos que los polímeros de protección ambiental consideran apropiadas para la macroencapsulación incluyen desechos nucleares de bajo nivel, lodos de galvanoplastia y lodos de depuración de carbón. Otros candidatos apropiados son materiales altamente concentrados o tóxicos como cenizas incineradas, PCB y dioxinas. El proceso de polímeros de protección ambiental estabiliza/solidifica químicamente un lodo con cal o cemento. Este material es luego aglomerado por un aglutinante de polibutadieno (que en realidad representa la microencapsulación). Los polímeros de protección ambiental eligieron el polibutadieno para la aglomeración debido a su alta tolerancia a una variedad de contaminantes y a la producción de productos resistentes. El polibutadieno aglomera los desechos mediante una reacción termoestable en un proceso de polimerización a temperaturas de 120° a 200°C.

Después del paso de aglomeración, la matriz de residuos se encapsula. La encapsulación se ha logrado con resina de polietileno. Los polímeros de protección ambiental han moldeado este material en algunos de sus productos aglomerados. También se ha dedicado mucho esfuerzo al desarrollo de un proceso de soldadura por rotación, que consta de cuatro pasos básicos:

Paso 1: Los tambores de sobreempaque de polietileno se llenan con desechos aglomerados y luego se transfieren al área de carga de la unidad de soldadura.

Paso 2: El operador activa el mecanismo de posicionamiento del tambor para colocar el tambor para soldar.

Paso 3: La tapa esta soldada al tambor giratorio.

Paso 4: El operador desbloquea el tambor y retira el material encapsulado.

Cuando se considera solo por sus méritos técnicos, la macroencapsulación parece ser una atractiva tecnología de estabilización/solidificación. Sin embargo, no se ha utilizado ampliamente y no se encuentra disponible.

b.3. Estabilización/solidificación de polimerización orgánica

La estabilización/solidificación de la polimerización orgánica se basa en la formación de polímeros para inmovilizar los constituyentes de interés. La urea formaldehído es el polímero orgánico más comúnmente utilizado para este propósito. La polimerización orgánica se han utilizado principalmente para estabilizar/solidificar desechos reactivos. Esta tecnología se ha aplicado de forma limitada a desechos peligrosos como cloruros orgánicos, fenoles, lodos de pintura, cianuros y arsénico. La polimerización también se puede aplicar a lodos de desulfurización de gases de combustión, lodos galvanoplastia, desechos de baterías de níquel/cadmio, lodos contaminados con kepone y desechos de productos de cloro que se han deshidratado y secado.

b.4. Estabilización/solidificación a base de arcilla

organofílica

Esta tecnología parece ser muy prometedora en términos de unión de desechos orgánicos. Investigaciones recientes indican que estos aglutinantes organofílicos realmente se unen con los desechos orgánicos, y cuando son expulsados, estas moléculas de desechos se descomponen en fragmentos más pequeños. Además, este proceso parece ser rentable en comparación con la

incineración. Debido a que esta tecnología también utiliza materiales cementosos, puede manejar desechos orgánicos e inorgánicos.

2.3. Definición de términos básicos

- **Mejoramiento de suelos:** consiste en modificar las características de un suelo y mejorarlos por acciones físicas.
- **Compaction Grouting:** método de mejoramiento de suelos mediante la inyección de morteros de baja movilidad.
- **Relave:** residuos generados por la actividad minera, donde es una mezcla de sólidos con agua produciéndose una pasta que es trasladado a tranques de relaves.
- **Estabilización:** La estabilización se refiere a técnicas que reduce químicamente el potencial de peligro de un desecho convirtiendo los desechos contaminantes en formas menos solubles, móviles o tóxicas.
- **Solidificación:** La solidificación se refiere a técnicas que encapsulan los desechos, formando un material sólido, y no implica necesariamente una interacción química entre los contaminantes y los aditivos solidificantes. El producto de la solidificación, a menudo conocido como la forma de desecho, puede ser un bloque monolítico, un material similar a la arcilla, una partícula granular o alguna otra forma física comúnmente considerada “sólida”.
- **Sulfatos:** Los sulfatos son sales del ácido sulfúrico, afectan a la durabilidad del concreto. Usualmente se encuentra en el suelo.

- **Potencial de Hidrogeno pH:** Es el término que indica la concentración de iones hidrogeno en una disolución. Se trata de una medida de la acidez de la disolución. El termino se define como el logaritmo de la concentración de iones hidrogeno, H^+ , cambiado de signo: $pH = -\log[H^+]$; donde $[H^+]$ es la concentración de iones hidrogeno en moles por litro. Debido a que los iones H^+ se asocian con las moléculas de agua para formar iones hidronio, H_3O^+ , el pH también se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidronio.
- **Resistencia a la compresión:** Es la capacidad de soportar cargas y esfuerzos, es una propiedad principal del concreto endurecido.
- **Densidad máxima seca:** Es la densidad de un material seco colocado lo más denso posibles en un molde normalizado. Por lo general se determina por ensayos de compactación Proctor.
- **Proctor modificado:** Es uno de los ensayos más utilizados en el estudio de compactación de suelos. Se rige por la norma ASTM D 1557.
- **Cono de arena:** Es un ensayo que proporciona un medio para comparar las densidades secas en obras en construcción, con las obtenidas en el laboratorio. Se rige por la norma ASTM D 1556
- **SUCS:** Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, es un sistema usado en la clasificación de suelos usados en ingeniería para describir la textura y el tamaño de las partículas de un suelo.
- **AASHTO:** American Association of State Highway and Transportation Officials (La Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes), es un órgano que establece normas, publica

especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos.

- **ASCE:** American Society of Civil Engineers (Sociedad Estadounidense de Ingenieros Civiles), es la sociedad más antigua de ingeniería de los Estados Unidos. Es el mayor editor de información relacionada con la ingeniería civil del mundo.
- **EPA:** Environmental Protection Agency United States (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos), es una agencia de los Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente aire, agua y suelo.

2.4. Formulación de Hipótesis

2.4.1. Hipótesis general

- El relave puede usarse para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

2.4.2. Hipótesis específicas

- El relave se puede estabilizar para usarse en el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting,
- Los rellenos para cimentación de la Urbanización Nuevo Smelter no cumple con el diseño según la Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones.
- La inyección de relave por el método Compaction Grouting mejora el suelo.

2.5. Identificación de Variables

2.5.1. Variable independiente

- Inyección de Relave

2.5.2. Variables dependientes

- Mejoramiento de suelos

2.6. Definición Operacional de variables e indicadores

Tabla 6. Variables e Indicadores

VARIABLE DE ESTUDIO	METODOLOGIA
<p>Variables Dependiente</p> <p>- Mejoramiento de suelo : La modificación de las características de un suelo débil o blando para mejorar sus propiedades.</p>	<p>GE ----- M1 ----- X ----- M2</p> <p>GC ----- M1 ----- - ----- M2</p>
<p>Variable Independiente</p> <p>- Inyección de Relave: Inyecciones de relave tratado por el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento para poder usar como lechada de compactación.</p>	<p>Donde:</p> <p>GE : Grupo Experimental.</p> <p>GC : Grupo de Control.</p> <p>X : Manejo de Variable Independiente.</p> <p>M1 : Pre prueba.</p> <p>M2 : Post prueba.</p>
<p>Indicadores</p> <p>1. Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) 2. Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) 3. Análisis químico al relave 4. Análisis físico al relave</p>	
<p>1. Análisis Granulométrico por Tamizado. 2. Clasificación SUCS de suelo. 3. Ensayos de Límites de Consistencia. 4. Ensayo de Contenido de Humedad. 5. Ensayo de Compactación - Proctor Modificado. 6. Ensayo de Densidad de Campo.</p>	
<p>1. Realizar un prototipo a escala para mejoramiento de suelos inyectando relave estabilizado por el método Compaction Grouting.</p>	

FUENTE: Elaboración Propia

CAPITULO III

METODOLOGÍA Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo de investigación

3.1.1. De acuerdo al fin que se persigue

Esta investigación es Aplicada: según Borja, (2012, p.10, 11) este tipo de investigación está más interesada en la aplicación inmediata sobre una problemática antes que en el desarrollo del conocimiento universal.

Para este proyecto la problemática principal está representada por el manejo de relaves mineros para mejoramiento de suelos por el método compaction grouting.

3.1.2. De acuerdo a los tipos de datos analizados

Esta investigación es Cuantitativa: según Borja, (2012, p. 11,12) este tipo de investigación plantea a través de la recolección y análisis de datos se puede contestar las preguntas de investigación y probar las hipótesis.

Para este proyecto se realizará la recolección y el análisis de datos de los relaves mineros para sustentar nuestra hipótesis respecto a su uso para mejoramiento de suelos por el método compaction grouting.

3.1.3. De acuerdo a la metodología para demostrar la hipótesis

Esta investigación es Experimental: según Borja, (2012, p.14, 15) este tipo de investigación plantea que la hipótesis se verifica mediante la manipulación de la variable independiente y produzca modificaciones en el comportamiento de la variable dependiente. También se determinará una relación causa – efecto de un fenómeno físico social.

Para nuestra investigación se manipulará al relave minero para determinar la influencia que este ejercerá en el mejoramiento de suelos por el método compaction grouting. Así mismo el manejo de estos residuos mineros como material de construcción teniendo un efecto positivo en el medio que lo rodea.

3.2. Métodos de investigación

La presente investigación tiene como método general al método científico y como método específico al método experimental el cual se detalla a continuación:

3.2.1. Método General

En la presente investigación como método general se usará la Método Científico. Según Valderrama (2002), el método científico medita de una manera razonada y aplicada una lógica inductiva o deductiva para contestar a los problemas que plantea la investigación

3.2.2. Método Específico

En la presente investigación como método específico se usará al Método Experimental.

El propósito del método experimental es investigar las posibles relaciones causa – efecto, exponiendo a uno o más grupos experimentales a acción de dos o más condiciones de tratamiento, comparando los resultados como uno o más grupos de control que no reciben tratamiento. La elección de los elementos del experimento debe obedecer a un criterio estadístico riguroso. (Ávila, 2001, p.48)

3.3. Diseño de investigación

En este proyecto se tiene un “Diseño de investigación experimental” y como diseño específico corresponde al “Diseño cuasi-experimental” donde se manipula de forma deliberada a la variable independiente para observar sus efectos en la variable dependiente. Borja (2012, p.28, 29)

La investigación responde al siguiente esquema:

GE	-----	M1	-----	X	-----	M2
GC	-----	M1	-----	-	-----	M2

Donde:

GE : Grupo Experimental.
GC : Grupo de Control.
X : Manejo de Variable Independiente.
M1 : Pre prueba.
M2 : Post prueba.

3.4. Población y muestra

3.4.1. Población

3.4.1.1 Descripción de la población

Los morteros estarán elaborados con cemento portland tipo I y cemento tipo V, el relave se muestreo de dos depósitos, de Quiulacocho y de Atacocho y para el mejoramiento del suelo se realizará modelos a escala.

3.4.1.2 Cuantificación de la población

Las probetas de mortero para rotura se realizaron tres por diseño y para cada día de rotura que corresponda, así mismo se realizó probetas para ensayos de análisis químico y autoclave.

Se realizó 3 modelos a escala para la inyección y verificación de mejoramiento del suelo.

3.4.2. Muestra

3.4.2.1 Descripción de la muestra

En esta investigación se realizó un muestreo no probabilístico, ya que la cantidad de muestras lo define el investigador basados en el Manual de Ensayo de Materiales del MTC, Guía del ASCE Sociedad Estadounidense de Ingenieros civiles, así como en los antecedentes y las referencias.

Los modelos a escala se realizaron 3 por cada tipo de relave.

Tabla 7. Numero de muestras para ensayo de resistencia a la compresión

Ensayo de Resistencia		
Ítems	Relave Quiulacocha	
	Diseño 1	Diseño 2
	Relave/Cemento Tipo I	Relave/Cemento Tipo HR/MH/S
5 días	3	3
7 días	3	3
14 días	3	3
21 días	3	3
28 días	3	3
56 días	3	3
90 días	3	3
Sumatoria	21	21
Total	42	

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 8. Numero de muestras para análisis químico- Potencial de Hidrogeno

Ensayo para Análisis Químico		
Análisis pH		
Ítems	Relave Quiulacocha	
	Diseño 1	Diseño 2
	Relave/Cemento Tipo I	Relave/Cemento Tipo HR/MH/S
28 días	1	1
56 días	1	1
90 días	1	1
Sumatoria	3	3
Subtotal	6	

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 9. Numero de muestras para análisis químico- Contenido de sulfatos

Ensayo para Análisis Químico		
Contenido de Sulfatos		
Ítems	Relave Quiulacocha	
	Diseño 1 Relave/Cemento Tipo I	Diseño 2 Relave/Cemento Tipo HR/MH/S
28 días	1	1
56 días	1	1
90 días	1	1
Sumatoria	3	3
Subtotal	6	

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 10. Numero de muestras modelo diseño experimental Compaction Grouting

Ensayo Compaction Grouting	
Ítems	Modelo a escala
Diseño 1- R/T I	3
Diseño 2- R/T HR/MH/S	3
Sumatoria	6
Subtotal	6

FUENTE: Elaboración propia

3.4.2.2 Método de muestreo

Se recogió muestras del depósito de relaves de Quiulacocha y Atacocha con las siguientes características:

- ✓ Investigación preliminar de la fuente potencial de abastecimiento.
- ✓ Revisión de la información topográfica y geológica de la zona.
- ✓ Análisis de información existente.

- ✓ Se realizó calicatas para la toma de muestras
- ✓ Se recolecto muestras
- ✓ Se realizó ensayo en campo

Para el mejoramiento de suelo por el método compaction grouting se realizará lo siguiente

- ✓ Investigación preliminar de la zona
- ✓ Identificación del problema
- ✓ Realizar estudios geotécnicos específicos

3.5. Técnicas de instrumentación de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

Las técnicas a usar para la presente investigación son:

- ✓ La observación, Se plasmará en formatos adecuados la recolección de información de esfuerzos a la compresión de las probetas de concreto.
- ✓ El análisis documental, se realizará de forma analítica e interpretativa de acuerdo a la información que está a nuestro alcance para extraer lo necesario.
- ✓ Se seguirá las técnicas especificadas en la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), Normas Técnicas Peruanas (NTP) y American Concrete Institute (ACI).

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Los equipos e instrumentos a usar en la presente investigación para la recolección de datos son:

- ✓ Equipos para los diferentes ensayos a realizar según la ASTM, NTP y la ACI.
- ✓ Balanza calibrada.
- ✓ Modelo a escala para mejoramiento de suelo.
- ✓ Cuaderno de datos.
- ✓ Fichas técnicas de observación y control de laboratorio.
- ✓ Fichas de ensayos.
- ✓ Fichas de resúmenes textuales, comentarios bibliográficos

3.6. Técnicas de procesamiento de análisis de datos

3.6.1. Técnicas para el procesamiento de datos

Mediante la consistencia. Según Valderrama (2002), la utilización de esta técnica nos va a permitir depurar los datos innecesarios o falsos.

Clasificación de la información. Según Valderrama (2002), es una etapa básica en el tratamiento de datos. Se efectuará con la finalidad de agrupar datos mediante la distribución de frecuencias de las variables independientes y dependientes.

Tabulación de Datos. Según Valderrama (2002), la tabulación se efectuará agrupando datos de categorías y dimensiones, es decir anotaremos en una categoría o distribución el número de repeticiones hasta completar el total de la muestra. Después de esta tabulación se hará uso de programas estadísticos.

3.6.2. Técnicas para el análisis de datos

Para la presente investigación el análisis de datos será cuantitativo, ya que teniendo en cuenta que tanto nuestra variable independiente como la dependiente son cuantitativas llevaremos a cabo la codificación y la elaboración de la base de datos para ambas, así poder agilizar y garantizar su interpretación. Para ello emplearemos el programa Excel 2016.

3.7. Tratamiento estadístico

3.7.1. Estadísticos Descriptivos Cuantitativos

Para el procesamiento de datos se hará mediante el uso de la estadística descriptiva empleando:

- ✓ **Medias de tendencia central.** Media, mediana y moda.
- ✓ **Medidas de variabilidad.** Rango, desviación estándar, varianza y coeficiente de variabilidad.
- ✓ **Medidas de asimetría y curtosis.**
- ✓ **Gráficos.** Histograma, polígono de frecuencia y la ojiva.

3.7.2. Estadísticos Inferenciales

Para el procesamiento de datos se hará mediante el uso de la estadística inferencial empleando:

- ✓ **Prueba de comparación de medias.** Se utiliza la prueba T para un tamaño de muestra menor de 30; si la muestra es mayor de 30, se emplea la puntuación Z. En ambas pruebas se utiliza las zonas de aceptación o rechazo en la campana de Gauss, lo que permite establecer si se acepta o no la hipótesis.

- ✓ **Coefficiente de correlación Pearson (R).** Para conocer los niveles o grados de correlación lineal (mayor "X", mayor "Y"; menor "X", menor "Y", etc.).

- ✓ **Regresión lineal simple.** Se utiliza para estimar el efecto de una variable sobre otra. Está asociada con el coeficiente "r" de Pearson. Brinda la oportunidad de predecir las puntuaciones de una variable, tomando las puntuaciones de la otra variable. Entre mayor sea la correlación entre las variables (covariación), mayor capacidad de predicción.

3.8. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación

3.8.1. Selección, validación de los Instrumentos de investigación

Los instrumentos de investigación de la tesis se basan en la Norma Técnica E 050 – Suelos y Cimentacion, Solidification/Stabilitation Resourse Guide EPA/542 – B – 99 – 002 y la Norma ASTM C 109.

3.8.2. Confiabilidad de los instrumentos de investigación

La confiabilidad de los Instrumentos de investigación de la tesis se basa tanto en las Normas Técnica Peruana y las Normas Internacionales.

3.9. Orientación ética

La tesis para la obtención del grado profesional tiene como orientación ética la investigación y demostración que los relaves estabilizados pueden ser usados para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

Los ensayos realizados en el Laboratorio de Ingeniería Civil dan como resultado que mediante un tratamiento de estabilización y solidificación del relave puede ser usado para la inyección de lechada en suelos granulares inestables.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Descripción del trabajo de campo

4.1.1. Recolección de muestras de la Relavera Quiulacocha

Para la recolección de relave se seleccionó la Relavera de Quiulacocha por su ubicación y fácil extracción de muestras.



Ilustración 15. Foto del Depósito de Relaves de Quiulacocha.

FUENTE: Elaboración propia.

a. Ubicación

Departamento : Pasco

Provincia : Pasco

Distrito : Simón Bolívar

Localidad : C.P. Quiulacocha

b. Origen

El relave acumulado en la localidad de Quiulacocha es originado por Proceso de Flotación de polimetales.

c. Tipo de Deposito

Es un tipo de depósito de Relave Espesado.

d. Área

El área del depósito de relaves de Quiulacocha es de 79.38 Ha y un estanque de aguas acidas de 37.46 Ha.

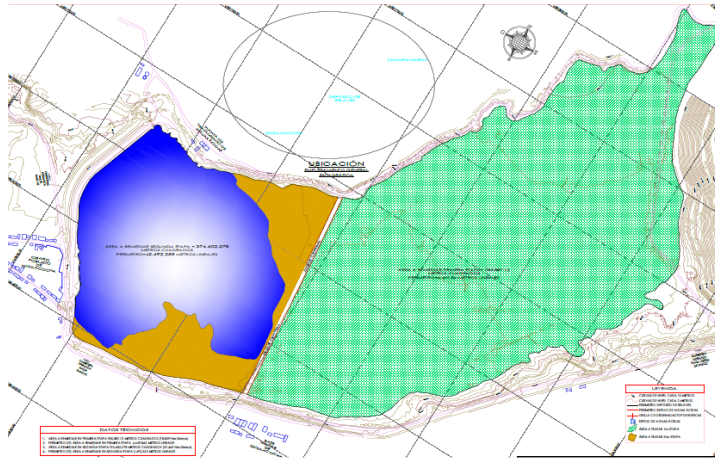


Ilustración 16. Plano del depósito de relaves de Quiulacocha.

FUENTE: Propuesta de tratamiento del depósito de relaves de Quiulacocha-Pasco para su remediación ambiental, basada en experiencias exitosas en empresas mineras, Ledesma Velita, Wenceslao, 2018, p. 94

4.1.2. Recolección de muestras de la Urbanización Nuevo Smelter

Para la recolección de muestras a ser usado en el prototipo a escala se seleccionó se realizó previamente una investigación geotécnica a la Urbanización Nuevo Smelter, para determinar si cumple con las características deseadas para la aplicación del proyecto de investigación.

La investigación geotécnica se estableció mediante un estudio según la Norma E 050 - Suelos y Cimentaciones.



Ilustración 17. Imagen satelital de la Urbanización Nuevo Smelter

FUENTE: Google Maps

a. Ubicación

Departamento : Pasco
Provincia : Pasco
Distrito : Tinyahuarco
Localidad : Urb. Nuevo Smelter

4.1.3. Investigación geotécnica de la Urbanización Nuevo Smelter

Como parte de la investigación se ha delimitado para la evaluación geotécnica un área de 1 hectáreas de la Urbanización Nuevo Smelter.

4.1.3.1 Excavación de Calicatas

Según la Norma E-050 – Suelos y Cimentaciones, el Artículo 11 detalla el “Programa de Investigación” para el estudio de suelos que se aplicara en la Urbanización Nuevo Smelter.

a. Condiciones de Frontera

- a.1. La zona es un relleno realizado por la empresa Minera El Brocal para el traslado del Centro Poblado Smelter.
- a.2. Existe edificaciones construidas por los comuneros de la Comunidad Campesina Nuevo Smelter que presentan anomalías como grietas, desniveles, asentamientos.
- a.3. El tipo de edificación existente en la Comunidad Campesina Nuevo Smelter son viviendas de Pórticos y/o Muros de Concreto y Muros Portantes de Albañilería de 3 pisos como máximo.

Tabla 11. Tipo de Edificación

TABLA N° 1 TIPO DE EDIFICACIÓN					
CLASE DE ESTRUCTURA	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS* (m)	NÚMERO DE PISOS (Incluidos los sótanos)			
		≤ 3	4 a 8	9 a 12	> 12
APORTICADA DE ACERO	< 12	C	C	C	B
PORTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	< 10	C	C	B	A
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA	< 12	B	A	---	---
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	A	---	---	---
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	A	A	A	A
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	B	A	A	A
<ul style="list-style-type: none"> • Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior. 					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES		≤ 9 m de altura	> 9 m de altura		
		B	A		

FUENTE: Norma E 050, 2019, p.5

- a.4. El número de plantas de los edificios existentes es de 2 pisos como máximo y se encuentra ubicados a menos de 100 metros.

Tabla 12. Distancias máximas y mínimas entre edificaciones de la
Urbanización Nuevo Smelter

<i>Distancias maximas y minimas entre edificaciones</i>		
<i>Calicatas</i>	<i>dmin</i>	<i>dmax</i>
<i>C - 1</i>	25 m	120 m
<i>C - 2</i>	35 m	80 m
<i>C - 3</i>	26 m	125 m

FUENTE: Elaboración propia

- a.5. Las cimentaciones de los edificios existentes situados a menos de 100 metros son del tipo superficial.
- a.6. Las cimentaciones de las viviendas existentes profundizan entre 1.50 – 2.00 metros y de las edificaciones de mayor importancia como centros educativos, municipalidad, posta medica tienen profundidades mayores a 3.00 metros.

Tabla 13. Profundidad de cimentaciones de las edificaciones existentes de
la Urbanización Nuevo Smelter

<i>Profundidades maximas y minimas de las edificaciones existentes</i>		
<i>Calicatas</i>	<i>Dfmin</i>	<i>Dfmax</i>
C - 1	1.50 m	1.50 m
C - 2	1.30 m	2.00 m
C - 3	1.30 m	2.00 m

FUENTE: Elaboración propia

4.1.3.2 Numero “n” de puntos de investigación

El número de puntos de investigación se determina según la Tabla N° 06 de la Norma E-050 – Suelos y Cimentaciones.

Tabla 14. Número de Puntos de Investigación

TABLA N° 6 NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACION	
Tipo de edificación	Número de <i>puntos de investigación</i> (n)
A	1 cada 225 m ²
B	1 cada 450 m ²
C	1 cada 800 m ²
Urbanizaciones para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada Ha. de terreno habilitado

(n) nunca será menor de 3.

Activar¹
Ver C.A.P.E.

FUENTE: Norma E 050, 2019, p. 14

La investigación es en la Urbanización Nuevo Smelter y según la tabla corresponde realizar 3 puntos por hectárea.

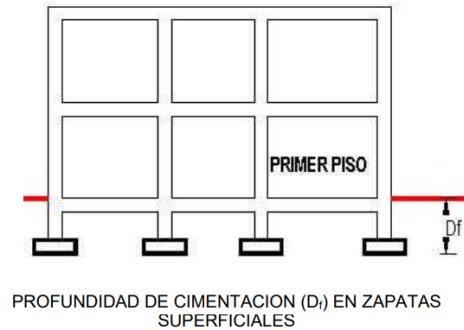
a. Profundidad “p” mínima para alcanzar en cada punto de investigación

Las edificaciones existentes de la Urbanización Nuevo Smelter son en su mayoría viviendas sin sótano por lo que la profundidad se determinara según el ítem “c-1” del artículo 11.2 de la Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones.

b. Cimentaciones Superficiales

Edificios sin Sótano

FIGURA N° 2 (C1)



$$p = D_f + z$$

Donde

D_f = En una edificación sin sótano, es la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el fondo de la cimentación.

$z = 1.5B$, siendo B el ancho de la cimentación prevista de mayor área.

Para la investigación se consideran los siguientes datos:

$$D_f = 1.50 \text{ m}$$

$$B = 0.80 \text{ m}$$

$$\rightarrow p = 2.7 \text{ m}$$

Se considerará para la investigación una profundidad de excavación de 3m.

4.1.3.3 Distribución de los puntos de investigación

La investigación está delimitando un área de investigación de 1 hectárea donde se distribuirá los puntos de investigación como se muestra en la imagen



Ilustración 18. Delimitación de área en la Urbanización Nuevo Smelter para ubicación de calicatas

FUENTE: Google Maps

Tabla 15. Coordenadas de las calicatas realizadas en la Urbanización

Nuevo Smelter

<i>Ubicación de calicatas</i>		
<i>Calicatas</i>	<i>Coordenadas</i>	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
<i>C - 1</i>	362081.9	8809256.2
<i>C - 2</i>	362077.1	8809213.3
<i>C - 3</i>	362070.1	8809158.8

FUENTE: Elaboración propia

4.1.3.4 Número y tipos de muestras a extraer

Se extrajo las muestras el material de relleno colocado en la Urbanización Nuevo Smelter. También se realizará ensayos In situ y Ensayos de Laboratorio.

4.1.3.5 Ensayos In situ en la Urbanización Nuevo Smelter

Durante la ejecución de calicatas se realizó ensayos de densidad con cono de arena. Las muestras se tomaron cada medio metro de excavación.

a. Ensayos de Laboratorio de las muestras de la Urbanización Nuevo Smelter

Se realizó ensayos de laboratorio a las muestras de relleno tomadas en las calicatas realizadas en la Urbanización Nuevo Smelter.

Los ensayos realizados a las muestras son:

- Proctor modificado
- Análisis Granulométrico
- Clasificación SUCS
- Índice de plasticidad
- Perfil Estratigráfico

4.1.3.6 Identificación del problema

Según el Artículo 21 de la Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones, se detalla la Cimentación sobre Rellenos. De los cuales la Urbanización de Nuevo Smelter no cumple:

a. Características del Relleno de la Urbanización Nuevo Smelter

a.1. Por su naturaleza:

El relleno de la Urbanización Nuevo Smelter es un material seleccionado ya que cumple con la condición (a) del Artículo 21 de la Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones, cuyas características se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 16. Característica del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter – Por su naturaleza

<i>Por su naturaleza</i>			
<i>Características según el Artículo 21 de la Norma E 050 - Suelos y Cimentaciones</i>		<i>Características del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter</i>	
<i>Tamaño máximo de partícula</i>	<i>% Retenido en la malla 3/4</i>	<i>Tamaño máximo de partícula</i>	<i>% retenido en la malla 3/4</i>
3"	< 30	1 1/2"	24.47

FUENTE: Elaboración propia

a.2. Por su condición de colocación:

Son rellenos no controlados ya que no cumplen con el artículo 21.1 de la Norma E 050 – Suelos y Cimentaciones, cuyas características se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 17. Característica del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter – Por su colocación

<i>Por su condición de colocación</i>			
<i>Características según el Artículo 21.1 de la Norma E 050 - Suelos y Cimentaciones</i>		<i>Características del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter</i>	
<i>Densidad por cada 0.50 m</i>		<i>Densidad por cada 0.50 m</i>	
<i>> 12% finos</i>	<i>≤ 12% finos</i>	<i>> 12% finos</i>	<i>< 12% finos</i>
90% de la densidad máxima seca por metodo de ensayo Proctor Modificado	95% de la densidad máxima seca por metodo de ensayo Proctor Modificado		32.5% de la densidad máxima seca por metodo de ensayo Proctor Modificado

FUENTE: Elaboración propia

Se puede determinar que el material de relleno colocado en la Urbanización Nuevo Smelter no se colocó de manera adecuada. De los ensayos con cono de arena se puede se pudo determinar que la densidad seca promedio es el 32.5% de la densidad máxima seca. Este problema puede ocasionar un asentamiento inmediato.

4.2. Presentación de análisis e interpretación de resultados

4.2.1. Propiedades físicas del Relave

4.2.1.1 Granulometría

Se realizó el análisis granulométrico en el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión

Tabla 18. Distribución Granulométrica del Relave del depósito de Quiulacocha

Distribucion Ganulometria del Relave del deposito de Quiulacocha					
N° Malla	Abertura (mm)	Peso (kg)	% Peso	% Acumulado Retenico	%Acumulado Pasante
3/8	9.5	0.00	0%	0%	100%
4	4.75	0.05	4%	4%	96%
8	2.36	0.19	12%	16%	84%
16	1.18	0.15	10%	26%	74%
30	0.60	0.11	7%	33%	67%
50	0.30	0.08	5%	39%	61%
100	0.15	0.06	4%	42%	58%
200	0.08	0.35	23%	65%	35%
Cazuela		0.52	35%	100%	0%
		1.50			

FUENTE: Elaboración propia

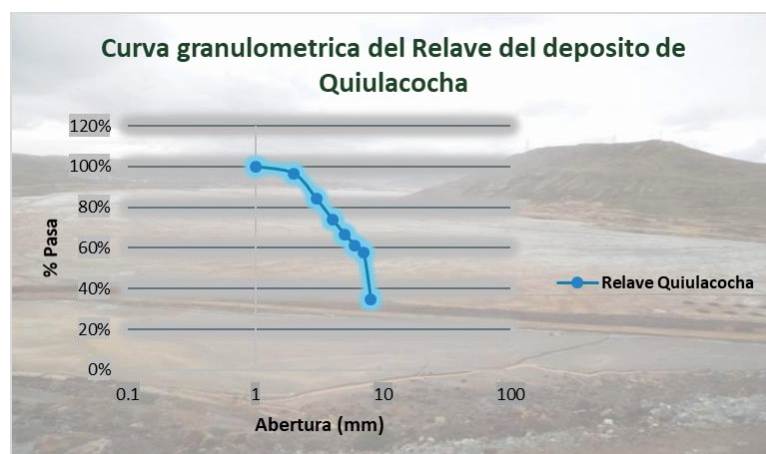


Ilustración 19. Curva granulométrica del relave del depósito de Quiulacocha

FUENTE: Elaboración propia

4.2.1.2 Análisis químico del Relave

a. Contenido de metales presentes en el Relave del depósito de Quiulacocha

Tabla 19. Contenido de metales presentes en el Relave del depósito Quiulacocha

Contenido de metales presentes en el Relave del depósito Quiulacocha							
Elementos	Fe	Cu	Pb	Zn	Mn	As	Insolubles
%	23.42	0.15	0.05	2.42	0.007	0.11	37.17

FUENTE: PCPAM Excelsior y Quiulacocha. 2006

b. Análisis de pH

La muestra se analizó en el Laboratorio Químico FIC de la Universidad Nacional de Ingeniería el cual mostro el siguiente resultado.

Tabla 20. pH del relave del depósito Quiulacocha

Potencial de Hidrogeno pH	
Muestra	pH
Relave Quiulacocha	2.700

FUENTE: Resultados Laboratorio químico FIC - UNI, 2019

c. Contenido de Sulfatos, Cloruros y Sales solubles

La muestra se analizó en el Laboratorio Químico FIC de la Universidad Nacional de Ingeniería el cual mostro el siguiente resultado.

Tabla 21. Análisis químico del Relave del depósito Quiulacocha.

<i>Análisis Químico de Relave del depósito Quiulacocha</i>		
	<i>Cloruros</i>	<i>Sulfatos</i>
%	0.068	35.488
ppm	678.000	354876.000

FUENTE: Resultados Laboratorio químico FIC - UNI, 2019.

Del análisis se puede determinar que:

Cloruros: como se observa en la tabla el relave tiene una cantidad insignificante de cloruros.

Sulfatos: como se observa el relave muestra un alto contenido en sulfatos que dependiendo de la composición de del relave este puede tener propiedades expansivas.

d. Reactividad – Alkali

Se realizó este ensayo para determinar el comportamiento del relave con los álcalis de cemento, ya que de producirse esta reacción se produciría compuestos expansivos.

Tabla 22. Análisis de Reactividad potencial álcalis del relave del depósito Quiulacocha

<i>Reactividad potencial Alcalis -Silice</i>		
	<i>Silice Disuelta</i>	<i>Reduccion Alcalinidad</i>
Milimol/L	20.630	448.750

FUENTE: Resultados Laboratorio químico FIC, 2019

Del análisis se determinó que la muestra del Relave del depósito de relaves de Quiulacocha es “Inocuo” (no hace daño ni es perjudicial).

4.2.2. Tratamiento del relave

Según la Solidification/Stabilitation Resource Guide de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) que orienta para selección y manejo de tecnologías de solidificación/estabilización proporcionando información de acuerdo a las necesidades del usuario.

Para determinar una tecnología de estabilización/solidificación se debe seguir los siguientes pasos:

Paso 1 Revisar la Matriz de Recursos de Estabilización/Solidificación de la Guía que esta enumerado e identifica el tipo de información de las tecnologías por cada documento.

Tabla 23. Matriz de Recursos de Estabilización/Solidificación

SOLIDIFICATION/STABILIZATION TECHNOLOGY RESOURCE MATRIX															
Abstract Number	Document Title Document Ordering No.	Topics Addressed*	TECHNOLOGY TYPE				MEDIA			CONTAMINANTS					Source/Originating Office/Author
			Es Situ	In Situ	Additive and Binder Reagents		Soil	Sludges	Industrial Wastes	Inorganic		Organic			
					Inorganic	Organic				Metals	Cyanides or Arsenites	Radioactive wastes	SVOCs	VOCs	
GUIDANCE AND POLICY DOCUMENTS															
1	Guide Specification for Construction, Solidification/Stabilization (S/S) of Contaminated Material. USACE Document No. CECS-02160	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Department of the Army, USACE (1998).	
2	Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Wastes. EPA Document No. EPA/540/2-86/001	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	EPA-HWERL, ORD (1986).	
3	Innovative Site Remediation Technology: Design and Application, Volume 4, Stabilization/Solidification. EPA Document No. EPA 542-B-97-007	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	EPA-OSWER/AEE (1997).	
4	Innovative Site Remediation Technology: Volume 4, Solidification/Stabilization. EPA Document No. EPA 542-B-94-001	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	EPA-OSWER/AEE (1994).	
5	Stabilization and Solidification of Hazardous Wastes.	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Barth, E. and others. (1990). <i>Pollution Technology Review</i> No. 136.	
6	Stabilization/Solidification of CERCLA and RCRA Wastes: Physical Tests, Chemical Testing Procedures, Technology Screening, and Field Activities. EPA Document No. EPA/625/6-89/022	[1]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	EPA-CERL RREL (1989).	
GUIDANCE AND POLICY DOCUMENTS (continued)															
7	Statutory Interpretive Guidance on the Placement of Bulk Liquid Hazardous Waste in Landfill. OSWER Policy Directive No. 9487.00-2A	[1] [2]	*					*	*	*	*	*	*	EPA-OSWER/OSW (1986).	
8	Technical Resource Document: Solidification/Stabilization and Its Application to Waste Materials. EPA Document No. EPA/530/R-93/012 NTIS Document No. PB93-237535	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	EPA-RREL, ORD (1993).	
9	Treatability Studies for Solidification/Stabilization of Contaminated Material. USACE Technical Letter No. 1110-1-158	[1] [2]	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	Department of the Army, USACE (1995).	

FUENTE: Solidification/Stabilization Resource Guide, Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, 1999, p. 9-10

Paso 2 Selecciona los documentos que parecen ajustarse a sus necesidades según la información de la matriz.

Los relaves son desechos peligrosos que se eliminan en tierra por ello se selecciona Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Wastes (Manual para Estabilización/Solidificación de desechos peligrosos)

Paso 3 Verifique el número de identificación del resumen.

Su número de identificación es el (2).

Paso 4 Revise el resumen que corresponde al documento en el que esté interesado para confirmar que el documento se ajuste a sus necesidades.

En su resumen detalla lo siguiente: Este manual está destinado a diseñadores y revisores de planes de acción correctivos en sitios de eliminación de desechos peligrosos. El manual proporciona información y orientación necesarias para juzgar la viabilidad de la tecnología de estabilización / solidificación en el control de la migración de contaminantes de desechos peligrosos eliminados en tierra. El documento describe reactivos y metodologías que han sido útiles en la estabilización / solidificación de desechos peligrosos; Dicha información es útil para las empresas industriales y de ingeniería que trabajan con el manejo y la eliminación de residuos peligrosos, así como para las agencias reguladoras y los grupos ambientales que necesitan evaluar la viabilidad de las soluciones

técnicas propuestas en los sitios que requieren medidas correctivas [1], [2].

Paso 5 Si el documento parece ser apropiado, anote el número de documento presentado debajo del resumen.

Numero de documento: **EPA Document No.: EPA/540/2-86/001**

4.2.2.1 Proceso de estabilización y solidificación

De acuerdo al Solidification/Stabilization Resource Guide de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) se seleccionó al Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Wastes (Manual para Estabilización/Solidificación de desechos peligrosos) para tratamiento del relave.

El Manual de Estabilización/Solidificación de Residuos Peligrosos tiene dos métodos de estabilización, el primero para Residuos Inorgánicos y el segundo para Residuo Orgánicos. La siguiente tabla nos permite seleccionar el método compatible de acuerdo al tipo de residuo.

Tabla 24. *Compatibilidad de categorías de residuos de residuos tratados con diferentes técnicas de estabilización/solidificación*

Compatibilidad de categorías de residuos seleccionadas con diferentes técnicas de estabilización/solidificación				
Componente de residuos	A base de cemento	A base de puzolana	Microencapsulación termoplástica	Encapsulación de superficie
Orgánicos				
Disolventes y aceites orgánicos	Puede impedir el fraguado, puede escapar como vapor	Puede impedir el fraguado, puede escapar como vapor	Los orgánicos pueden evaporarse al calentar	Primero debe ser absorbido en una matriz sólida
Sólidos orgánicos	Bueno, a menudo aumenta la durabilidad	Bueno, a menudo aumenta la durabilidad	Posible uso como agente de enlace en este sistema	Muchos materiales de encapsulación compatibles son de plástico
Inorgánicos				
Desechos ácidos	El cemento neutralizará los ácidos	Compatible, neutralizará los ácidos	Puede ser neutralizado antes de la incorporación	Puede ser neutralizado antes de la incorporación
Oxidantes	Compatible	Compatible	Puede causar ruptura de la matriz, el fuego	Puede causar el deterioro de los materiales de encapsulación
Sulfatos	Puede retrasar el fraguado y provocar desprendimiento a menos que se use cemento especial	Compatible	Puede deshidratarse y rehidratarse causando división	Compatible
Haluros	Se lixivia fácilmente del cemento, puede retrasar el fraguado	Puede retrasar el fraguado, la mayoría se lixivia fácilmente	Puede deshidratarse y rehidratarse	Compatible
Metales pesados	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible
Materiales radioactivos	Compatible	Compatible	Compatible	Compatible

FUENTE: Handbook for Stabilization/Solidification of Hazardous Wastes, J. Cullinane, Jr. Larry, P. Malone, 1986, p. 41

El Relave del depósito de Quiulacocha es un residuo Inorgánico con alto contenido de metales pesado y debido al proceso de flotación contiene un alto contenido en sulfatos. Según la tabla 2-7 del Manual para Estabilización/Solidificación de Desechos Peligrosos se seleccionó el tratamiento de estabilización y solidificación del relave mediante Cemento Portland.

Para la investigación se realizó el tratamiento de estabilización y solidificación con dos tipos de cemento (Tipo I y Tipo HR/MH/S).

4.2.2.2 Diseño de Mezcla

La estabilización a base de cemento es un proceso viable para tratar muchos desechos potencialmente peligrosos, particularmente los que contienen elementos metálicos y metaloides.

En la estabilización del cemento, el agua en los desechos reacciona químicamente con el cemento para formar silicatos de calcio hidratados y compuestos de aluminato, mientras que los sólidos actúan como agregados para formar un concreto. Una pasta cementada rica en portlandita establece condiciones de pH y actividad de calcio favorables para la inhibición de la oxidación de arsenopirita.

En el proceso de estabilización y solidificación de relave de esta investigación se utilizó un 20% de cemento tanto para el Tipo I como para el cemento Tipo HR/MH/S.

a. Materiales



a.1. Cemento Portland

Cemento hidráulico producido mediante la pulverización del clinker compuesto esencialmente de silicatos de calcio hidráulicos y que contiene generalmente sulfato de calcio y eventualmente caliza como adición durante la molienda.

Cemento Tipo I

Características:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334.009 y la Norma Técnica Americana ASTM C-150.
- Producto obtenido de la molienda conjunta de clinker y yeso.
- Bajo contenido de álcalis (*)

Ventajas

- Proporciona una mayor resistencia a la compresión a mayor edad del concreto, reportándose en ensayos de mortero que a 90 días superan los 480 Kg/cm².

Usos y Aplicaciones

- Se recomienda para estructuras y acabados de edificaciones en general, estructuras industriales, conjuntos habitacionales, puentes, y todas aquellas obras que se construyan sobre terrenos con contenido menor de 150 ppm de sulfato soluble en agua.
(Cemento Andino Tipo I, 2019, p. 1 - 2)

Cemento Portland Tipo HS/MH/R

Características:

- Cumple con la Norma Técnica Peruana (NTP) 334.082 y la Norma Técnica Americana ASTM C-1157.
- Producto obtenido de la molienda conjunta de clínker, yeso y adiciones de alto desempeño.

Ventajas:

- Resistente a la humedad y al salitre.
- Alto desempeño con agregados álcali reactivo.
- Contiene adiciones impermeabilizantes.
- Alta resistencia y durabilidad en el tiempo.
- Excelente trabajabilidad.

- Moderado calor de hidratación, ideal para climas cálidos.

Usos y aplicaciones

- Para estructuras sólidas y obras de construcción civil que requieran propiedades resistentes al Salitre, la Humedad y los agregados de baja calidad.
- Estructuras, canales, alcantarillado en contacto con suelos ácidos y/o aguas subterráneas, de exposición severa del orden de 1,500 a 10,000 ppm de sulfatos solubles de agua.
- Obras portuarias expuestas a la acción de aguas marinas, sobre suelos salinos y húmedos, en piscinas y acueductos, tubos de alcantarillados, canales y edificios que deberán soportar ciertos ataques químicos. (Cemento Andino Tipo HR/MH/S, 2019, p. 1 - 2)

4.2.2.3 Preparación de morteros de relave/cemento según diseño

Para la evaluación de la resistencia a la compresión se usó la Norma ASTM C109 “Método de Ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de mortero de cemento hidráulico usando especímenes cúbicos de 50 mm (2 pulg.) de lado”.

a. Materiales

- Balanza
- Probeta Graduada
- Moldes de Espécimen
- Tazón
- Paleta
- Apeonador
- Espátula

b. Diseño 1 – Cemento Tipo I

La dosificación de los materiales para el grout se realizó de la siguiente manera.

Tabla 25. Dosificación de Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I

<i>Diseño 1 - Relave/Cemento Tipo I</i>			
<i>Materiales</i>	<i>Unidades</i>	<i>Numero de Especimenes (2''x2''x2'')</i>	
		<i>3</i>	<i>15</i>
Cemento	gr	200	1000
Relave	gr	800	4000
Agua	ml	300	1500

FUENTE: Elaboración propia

c. Diseño 2 – Cemento Tipo HS/MH/R

La dosificación de los materiales para el grout se realizó de la siguiente manera.

Tabla 26. Dosificación de Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S

Diseño 2 - Relave/Cemento Tipo HS/MH/R			
Material	Unidades	Numero de Especimenes (2"x2"x2")	
		3	15
Cemento	gr	200	1000
Relave	gr	800	4000
Agua	ml	300	1500

FUENTE: Elaboración propia

d. Procedimiento para preparación de los morteros

Paso 1. Se seca el relave a temperatura ambiente.



Paso 2. Las muestras deben estar secas hasta que tenga un peso constante.



Paso 3. Se pesa las muestras de relave y el cemento para realizar la mezcla según el diseño.





Paso 4. Se mezcla el relave con en cemento y el agua.



Paso 5. Se vierte una primera capa de 1 pulgada aproximadamente en los compartimientos del molde. Se apisona la mezcla en cada compartimiento cubico 32 veces en 10 segundos en 4 rondas, cada ronda se hizo de manera perpendicular respecto a la anterior y debe consistió en 8 golpes adjuntos sobre la superficie de la mezcla.



Paso 6. Luego del apisonado de la primera capa se completa los compartimientos del molde y se vuelve a apisonar como en la primera capa.

Paso 7. Nivelar el mortero y retirar el exceso con una espátula.



Paso 8. Se deja fraguar mínimo 2 días

Paso 9. Se desencofro y se curó con un aditivo curador



4.2.3. Resultados del Tratamiento de Relaves

Los resultados del tratamiento de Relave del Depósito de Quiulacocha se hicieron por el método de Estabilización/Solidificación de Residuos Peligrosos y se evaluó de acuerdo al mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

4.2.3.1 Resultados de Resistencia a la Compresión

La resistencia a la compresión que debe alcanzar la pasta para mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting debe ser de 20 kg/cm². Para la investigación se evaluó 30 morteros de los cuales, 15 morteros según el Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I y los 15 restantes según el Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S. Los ensayos se realizaron a los 5, 7, 14, 21, 28, 56, 90 días.

Los resultados se pueden observar en las siguientes tablas y gráficos.

Tabla 27. Resultados de la resistencia a la compresión según los diseños propuestos

Edad (Días)	Resistencia a la Compresion (kg/cm ²)	
	Diseño 1	Diseño 2
	Relave/Cemento Tipo I	Relave/Cemento Tipo HR/MH/S
0	0.00	0.00
5	7.91	6.57
7	12.30	7.61
14	20.71	12.37
21	27.15	15.21
28	22.44	15.07
56	22.65	17.11
90	22.96	17.31

FUENTE: Elaboración propia.

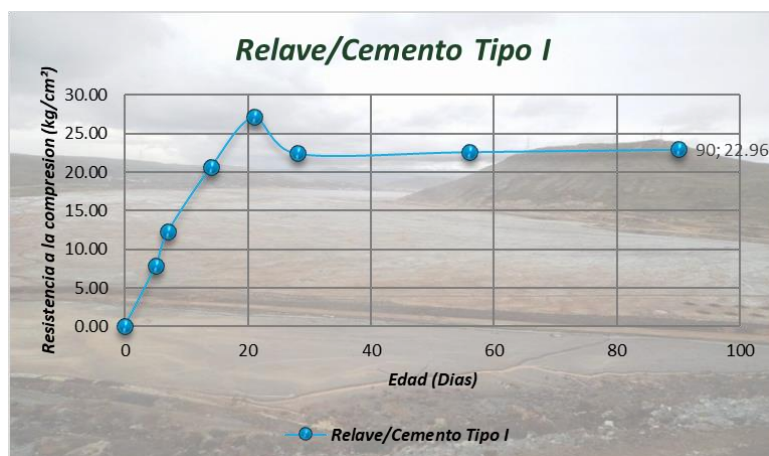


Ilustración 20. Resistencia a la compresión vs. Tiempo – Diseño 1 –

Relave/Cemento Tipo I

FUENTE: Elaboración propia.

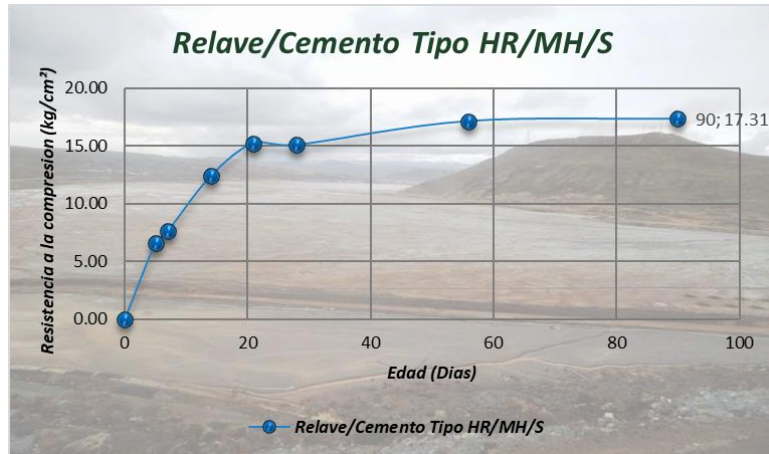


Ilustración 21. Resistencia a la compresión vs. Tiempo – Diseño 2 –
Relave/Cemento Tipo HR/MH/S

FUENTE: Elaboración propia.

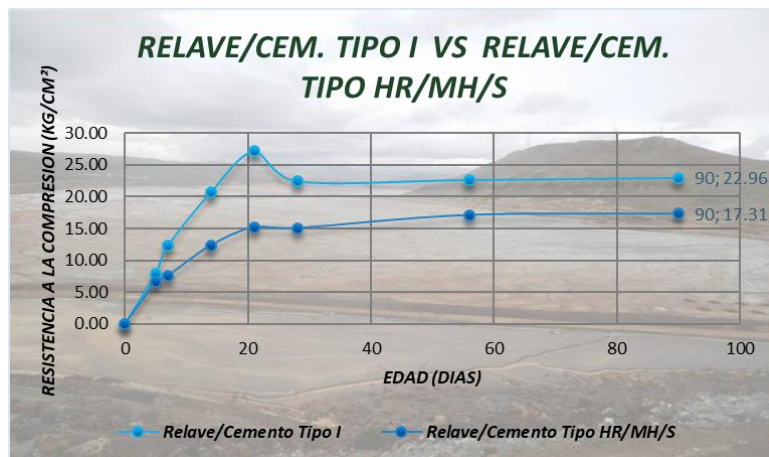


Ilustración 22. Resistencia a la compresión vs. Tiempo: Diseño 1 vs Diseño
2

FUENTE: Elaboración propia.

De los resultados se puede observar que el 20% de cemento es suficiente para alcanzar la resistencia necesaria para realizar el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

Se puede observar que el Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I alcanza mayores resistencias a diferencia del Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S.

4.2.3.2 Resultados del Análisis Químico

a. Análisis del pH

El análisis del pH evalúa la generación de ácidos producidos por la oxidación de los relaves sulfídicos en ambientes húmedos. Para la investigación se realizó 6 morteros, de los cuales, 3 morteros del Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I y los 3 restantes con el Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S. El proceso de curado de las muestras se realizó los primeros 7 días con Aditivo para Curado y se realizó la evaluación en periodos de 28, 56, 90 días.

Los resultados del análisis del pH se pueden observar en la siguiente tabla y gráficos.

Tabla 28. Resultados del Análisis de pH según los diseños propuestos

<i>Edad (Días)</i>	<i>Análisis del pH</i>	
	<i>Diseño 1</i>	<i>Diseño 2</i>
	<i>Relave/Cemento Tipo I</i>	<i>Relave/Cemento Tipo HR/MH/S</i>
0	2.70	2.70
28	5.10	4.80
56	7.60	6.80
90	9.10	8.30

FUENTE: Elaboración propia.

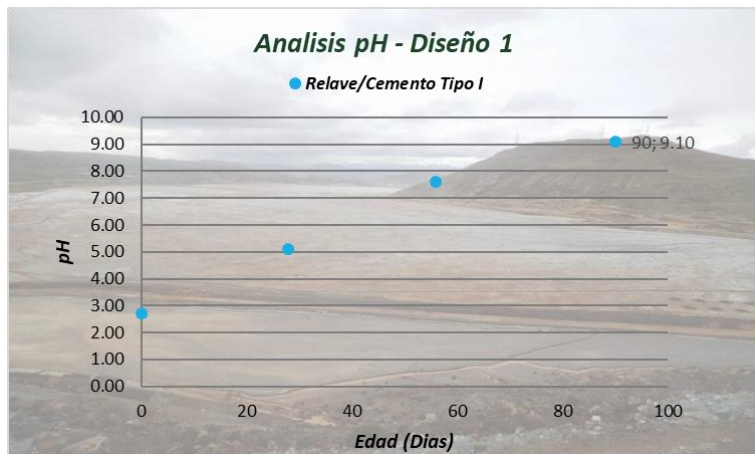


Ilustración 23. Análisis de pH – Diseño 1

FUENTE: Elaboración propia.

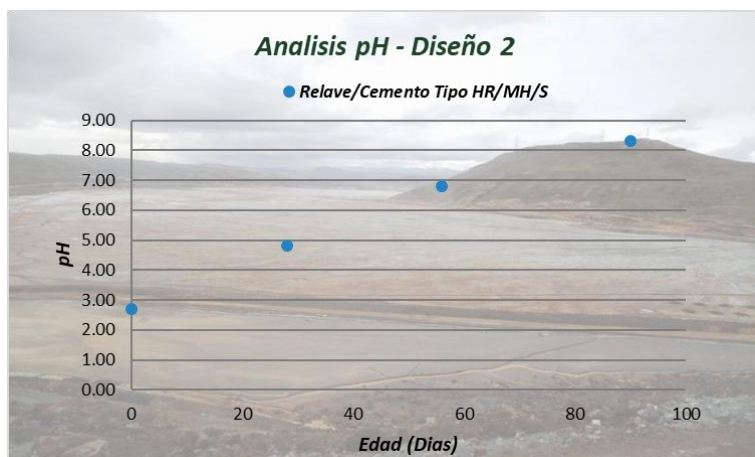


Ilustración 24. Análisis de pH – Diseño 2

FUENTE: Elaboración propia.

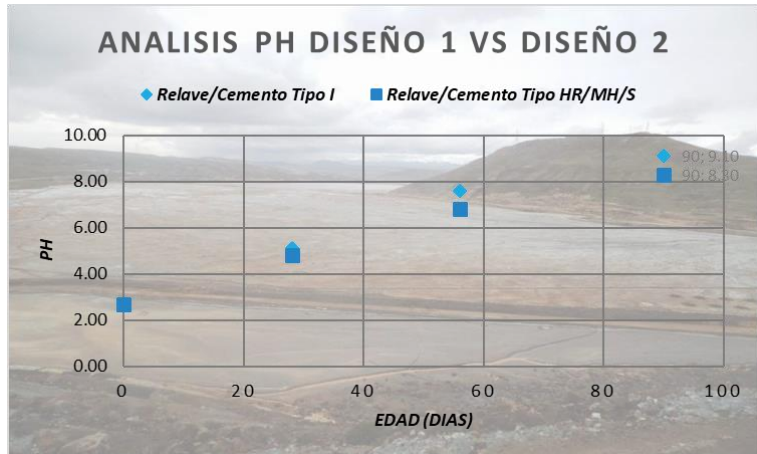


Ilustración 25. Análisis de pH – Diseño 1 vs Diseño 2

FUENTE: Elaboración propia.

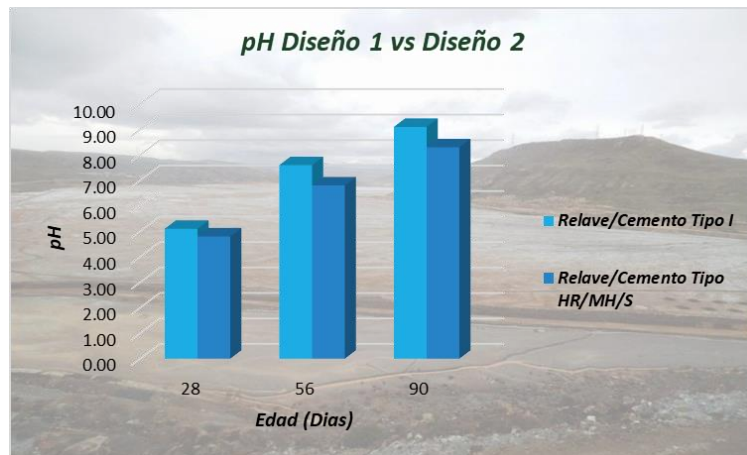


Ilustración 26. Diagrama de barras del análisis de pH – Diseño 1 vs Diseño

2

FUENTE: Elaboración propia.

Se puede observar en el cuadro comparativo que el pH para ambos casos va cambiando en el tiempo, pasando de ácido hasta un punto neutral y llegando finalmente al básico a los 90 días de la evaluación.

b. Análisis del Contenido de Sulfatos

El análisis del contenido de sulfatos se realizó para verificar su comportamiento con el cemento en un periodo de 28, 56, 90 días. Se evaluaron 6 muestras de mortero, de los cuales 3 son muestras con el Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I y los 3 restantes se realizaron con el Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S.

Tabla 29. Resultados del Contenido de Sulfatos según los diseños propuestos

<i>Edad (Días)</i>	<i>Contenido de Sulfatos</i>			
	<i>Diseño 1</i>		<i>Diseño 2</i>	
	<i>Relave/Cemento Tipo I</i>		<i>Relave/Cemento Tipo HR/MH/S</i>	
	<i>%</i>	<i>ppm</i>	<i>%</i>	<i>ppm</i>
28	5.43	54308.00	6.87	68723.00
56	2.60	25964.00	3.65	36495.00
90	0.58	5789.00	0.98	9753.00
120	0.09	946.00	0.14	1426.00

FUENTE: Elaboración propia.

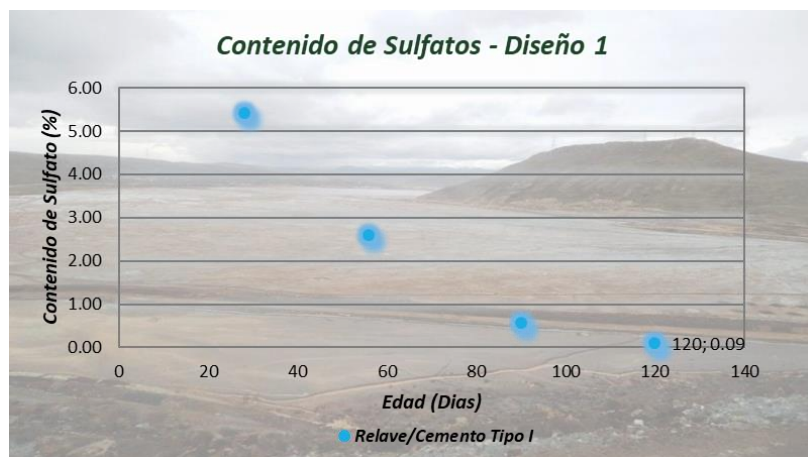


Ilustración 27. Contenido de Sulfatos – Diseño 1

FUENTE: Elaboración propia.

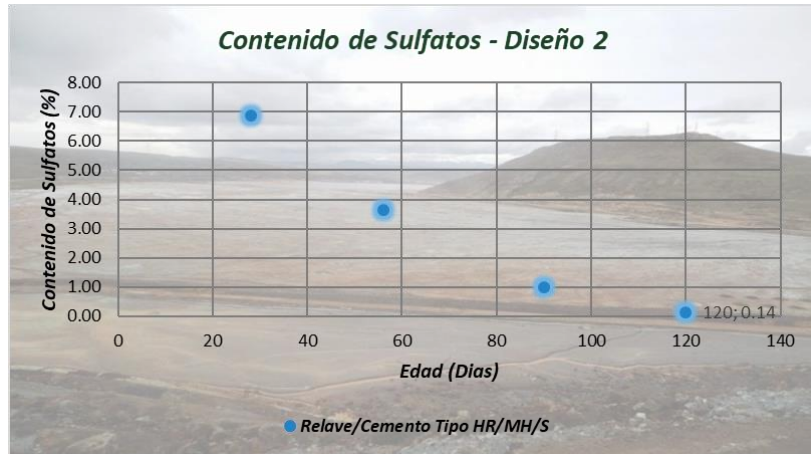


Ilustración 28. Contenido de Sulfatos – Diseño 2

FUENTE: Elaboración propia.

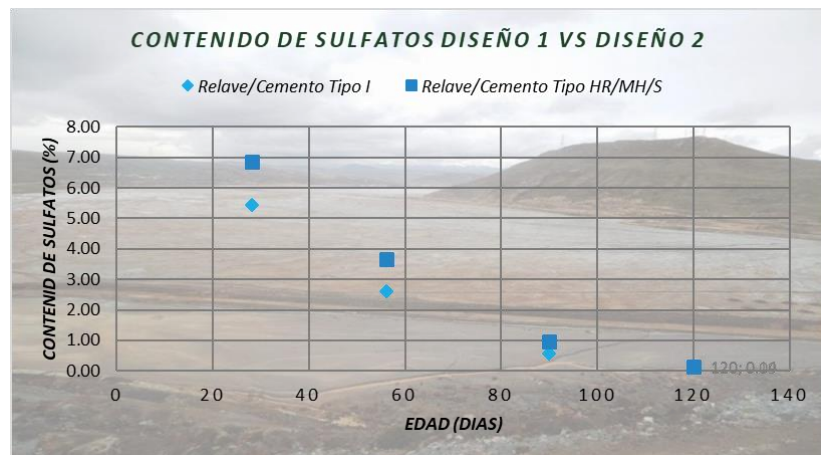


Ilustración 29. Contenido de Sulfatos – Diseño 1 vs Diseño 2

FUENTE: Elaboración propia.

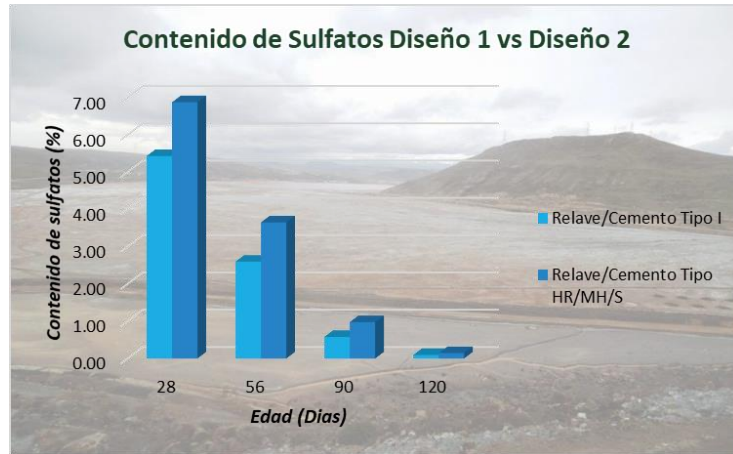


Ilustración 30. Diagrama de barras del contenido de sulfatos – Diseño 1 vs Diseño 2

FUENTE: Elaboración propia.

Debido al proceso de concentración de minerales el relave del depósito de Quiulacocha tiene un alto contenido de sulfatos. La estabilización y solidificación en base con cemento Tipo I y Tipo HR/MH/S mezclado con el relave muestra un comportamiento decreciente en el tiempo.

El tratamiento del Relave del depósito Quiulacocha con cemento Tipo I muestra un comportamiento decreciente, llegando en el día 90 con 0.09%. El tratamiento con Cemento Tipo HR/MH/S también tuvo un comportamiento decreciente, llegando a los 90 días con 0.14%.

4.2.4. Resultados de la Evaluación del Suelo

4.2.4.1 Resultados de los ensayos In situ

Las calicatas realizadas en la Urbanización Nuevo Smelter se realizó los ensayos de densidad relativa con el Cono de Arena y también se extrajo muestras alteradas para su análisis.

a. Densidad de Campo con Cono de Arena

Se realizó los ensayos a cada medio metro de profundidad obteniendo los resultados según la tabla.

Tabla 30. Resultados de la densidad en campo con Cono de Arena

<i>Ensayos de Densidad con Cono de Arena en la Urbanización Nuevo Smelter</i>				
<i>Calicata</i>	<i>Profundidad</i>	<i>Densidad Seca</i>	<i>Grado de Compatacion</i>	<i>Descripcion</i>
<i>C - 1</i>	0.50 m	0.67	29.22%	suelto
	1.00 m	0.82	35.51%	medio
	1.50 m	0.78	33.99%	suelto
	2.00 m	0.81	35.31%	medio
	2.50 m	0.64	27.59%	suelto
	3.00 m	0.73	31.58%	suelto
<i>C - 2</i>	1.00 m	0.74	32.35%	suelto
	2.00 m	0.90	39.20%	medio
<i>C - 3</i>	1.00 m	0.69	30.00%	suelto
	2.00 m	0.59	25.81%	suelto

FUENTE: Certificados del Laboratorio PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

4.2.4.2 Resultados de los Ensayos de Laboratorio

Los ensayos se realizaron en el laboratorio PROCONSER “SEBASTIAN” S.C.R.L.

a. Ensayo Proctor Modificado

Tabla 31. Resultados de Densidad Máxima Suelta con ensayo Proctor

Modificado

<i>Ensayo Proctor Modificado</i>	<i>γ_{dmax}</i>
<i>Densidad máxima seca del material de relleno de la Urbanización Nuevo Smelter</i>	2.302

FUENTE: Certificados del Laboratorio PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

b. Clasificación SUCS

De los ensayos realizados en el Laboratorio se tiene como resultado que el material colocado como relleno en la Urbanización Nuevo Smelter es según la clasificación SUCS una “GRAVA BIEN GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA”

Tabla 32. Clasificación (S.U.C.S.)

<i>Clasificación (S.U.C.S.)</i>	
<i>Grava bien graduada con arcilla y arena</i>	GW - GC

FUENTE: Certificados del Laboratorio PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

c. Granulometría

De los ensayos realizados en el Laboratorio se obtuvo la siguiente curva granulométrica.

Tabla 33. Resultados de Análisis Granulométrico

<i>Análisis Granulométrico</i>	<i>%</i>
<i>% de Gravas</i>	59.30
<i>% de Arena</i>	33.51
<i>% de Finos</i>	7.20

FUENTE: Certificados del Laboratorio PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

d. Índice de Plasticidad

De los ensayos realizados en el Laboratorio se tiene como resultado que

Tabla 34. Índice de Plasticidad

<i>Índice de Plasticidad</i>	
<i>Límite líquido</i>	21.99
<i>Límite plástico</i>	19.85
<i>Índice de Plasticidad</i>	2.14

FUENTE: Certificados del Laboratorio PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

e. Perfil estratigráfico

Tabla 35. Perfil estratigráfico de la Calicata 1 (C-1)

<i>Calicata 1 (C - 1)</i>					
<i>Profundidad</i>	<i>Material</i>	<i>Divisiones mayores</i>			<i>Clasificación SUCS</i>
1.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
2.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
3.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 36. Perfil estratigráfico de la Calicata 2 (C-2)

Calicata 2 (C - 2)					
Profundidad	Material	Divisiones mayores			Clasificación SUCS
1.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
2.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
2.70 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 37. Perfil estratigráfico de la Calicata 3 (C-3)

Calicata 3 (C - 3)					
Profundidad	Material	Divisiones mayores			Clasificación SUCS
1.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
2.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC
3.00 m	Relleno	Gravas	Gravas limpias	Graba bien graduada con arcilla y arena	GW - GC

FUENTE: Elaboración propia

4.2.5. Resultados del Mejoramiento del suelo en el Prototipo a Escala

La investigación se diseñó para determinar el mejoramiento de suelos con relave del depósito Quiulacocha por el método Compaction Grouting. Para sustentar la hipótesis se tomó como muestra el material de relleno de la Urbanización Nuevo Smelter.

4.2.5.1 Resultados del diseño Compaction Grouting

Para el mejoramiento del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter se realizó un diseño teórico inicial por el método

Compaction Grouting donde se obtuvo los siguientes resultados del ANEXO 10.

4.2.5.2 Resultados del procedimiento Experimental en el Prototipo a Escala

Para el mejoramiento del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter se realizó pruebas experimentales con un prototipo a escala donde se modelo el suelo de muestra y se inyectó el relave según al diseño teórico y obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 38. Cuadro de comparación de mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting Diseñado vs Ejecutado del Diseño 1

INYECCION DE GROUT DE RELAVE/CEMENTO TIPO I						
Cuadro de comparacion de mejoramiento de suelos por el metodo Compaction Grouting Diseñado vs. Ejecutado						
Elementos determinados	Simbolos	Unidades	Diseñado	Ejecutado		
				Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Espacio lateral entre las columnas de grout	s	in	10.00	10.00	10.00	10.00
Profundidad del suelo	z	in	15.00	15.00	15.00	15.00
Altura de columnas de grout	h	in	10.01	9.00	9.88	9.93
Promedio de diametro de las columnas de grout	d	in	3.00	3.33	3.15	3.13
Promedio de h/z	h/z		0.67	0.60	0.66	0.66
Promedio de h/s	h/s		1.00	0.90	0.99	0.99
Volumen de inyeccion	vol	in ³	282.89	312.59	307.83	304.50
Relacion de desplazamiento horizontal del grout	β	%	7.07	8.68	7.79	7.67
Es fuerzo de volumen del grout	ϵ_v	%	4.71	5.21	5.13	5.07
Relacion de efectividad de carga, carga adicional	Ra		1.00	1.10	1.10	1.06
Factor de reduccion de esfuerzo durante q	ρ		1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de seguridad de las columnas de grout, sobrecargas y cualquier carga adicional	F		1.08	0.71	0.70	0.72

FUENTE: Elaboración propia.

Tabla 39. Cuadro de comparación de mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting Diseñado vs Ejecutado del Diseño 2

INYECCION DE GROUT DE RELAVE/CEMENTO TIPO HR/MH/S						
Cuadro de comparacion de mejoramiento de suelos por el metodo Compaction Grouting Diseñado vs. Ejecutado						
Elementos determinados	Simbolos	Unidades	Diseñado	Ejecutado		
				Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3
Espacio lateral entre las columnas de grout	s	in	10.00	10.00	10.00	10.00
Profundidad del suelo	z	in	15.00	15.00	15.00	15.00
Altura de columnas de grout	h	in	10.01	8.35	3.13	9.93
Promedio de diametro de las columnas de grout	d	in	3.00	3.45	3.13	3.15
Promedio de h/z	h/z		0.67	0.56	0.66	0.66
Promedio de h/s	h/s		1.00	0.84	0.99	0.99
Volumen de inyeccion	vol	p3	282.89	312.23	304.50	309.39
Relacion de desplazamiento horizontal del grout	β	%	7.07	9.35	7.67	7.79
Esfuerzo de volumen del grout	ϵ_v	%	4.71	5.20	5.07	5.16
Relacion de efectividad de carga, carga adicional	Ra		1.00	5.20	5.07	5.16
Factor de reduccion de esfuerzo durante q	ρ		1.00	1.00	1.00	1.00
Factor de seguridad de las columnas de grout, sobrecargas y cualquier carga adicional	F		1.08	0.71	0.72	0.72

FUENTE: Elaboración propia.

4.2.5.3 Aplicación de inyección de relave para mejoramiento de suelo por el método Compaction Grouting.

La aplicación de la inyección se realizará en un prototipo a escala de acuerdo al método de diseño

a. Inyección de relave en un prototipo a escala

La inyección se hizo de acuerdo al modelo realizado por Jhon H. Schmertman, James F. Henry ambos autores del Diseño Teórico Compaction Grouting reconocido por la Asociación Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

b. Diseño de Inyección Compaction Grouting

Se realizó el diseño para mejoramiento de los suelos por el método Compaction Grouting el cual se adjuntó en los anexos.

c. Modelo del Prototipo

Se hizo cajas de madera contrachapada de 1/2" de 65x65x50 cm donde se modelo el relleno de la Urbanización Nuevo Smelter. Se detalla el modelo en la siguiente imagen.

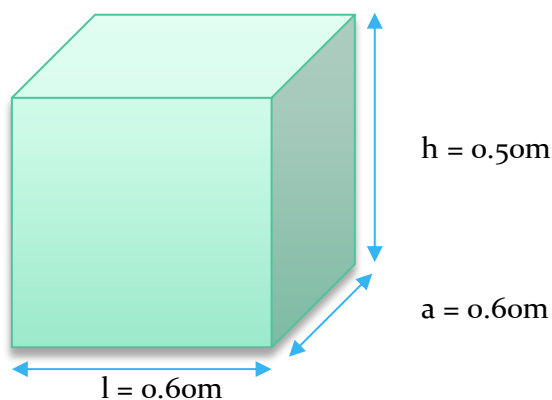


Ilustración 31. Medidas del prototipo a escala

FUENTE: Elaboración propia.

d. Secuencia Experimental

Paso 1. Se configuro las celdas de carga al fondo de las cajas en un patrón según el diseño y se verifico que funcione correctamente.



Paso 2. Se realiza el tarado en la base para poder realizar la medición de esfuerzos.



Paso 3. Se forro con una bolsa de plástico para evitar la fricción en la base del suelo con la madera



Paso 4. Se llenó 15" del material de relleno, se modelo de acuerdo al existente en la urbanización Nuevo Smelter.



Paso 5. Se realizó la mezcla de acuerdo a los diseños propuestos en la investigación.



Paso 6. Se inyecta 4 columnas de grouts de relave hasta la altura y diámetro según el diseño teórico.



Paso 7. Se inyecta 4 columnas de morteros de relave hasta la altura y diámetro según el diseño teórico.



Paso 8. Se excava una parte hasta exponer las columnas para realizar mediciones a los grouts

de relave y verificar su forma de cada una de las columnas.



Paso 9. Se comparó las lecturas incrementadas de las celdas de carga con las lecturas iniciales para

determinar la efectividad de la inyección del mejoramiento del suelo por el método Compaction Grouting.

Paso 10. Medición de la densidad en suelo mejorado. Se realizó la prueba con el cono de arena antes de realizar la inyección del relave y después de la inyección de la mezcla con los diseños realizados en la investigación. De los cuales se obtuvo los siguientes resultados.





4.3. Prueba de Hipótesis

4.3.1. Hipótesis general planteada

El relave puede usarse para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting.

4.3.2. Prueba de hipótesis general planteado

Se seleccionó la Urbanización Smelter Nuevo para realizar las pruebas de inyección con relave de los diferentes diseños planteados.

De la medición inicial de diseño se obtuvo una densidad de campo del 35%, y una vez realizada la inyección en los prototipos

modelados, se puede observar un mejoramiento como se muestra en la tabla y plasmada en la gráfica de barras.

Tabla 40. Medición de la densidad en el suelo mejorado con Cono de Arena

<i>Mejoramiento de la densidad del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter</i>		
<i>Densidad (%)</i>		
<i>Relleno Existente</i>	<i>Diseño experimental en prototipo</i>	
	<i>Relave/Cemento Tipo I</i>	<i>Relave/Cemento Tipo HR/MH/S</i>
35%	68%	65%

FUENTE: Elaboración propia.

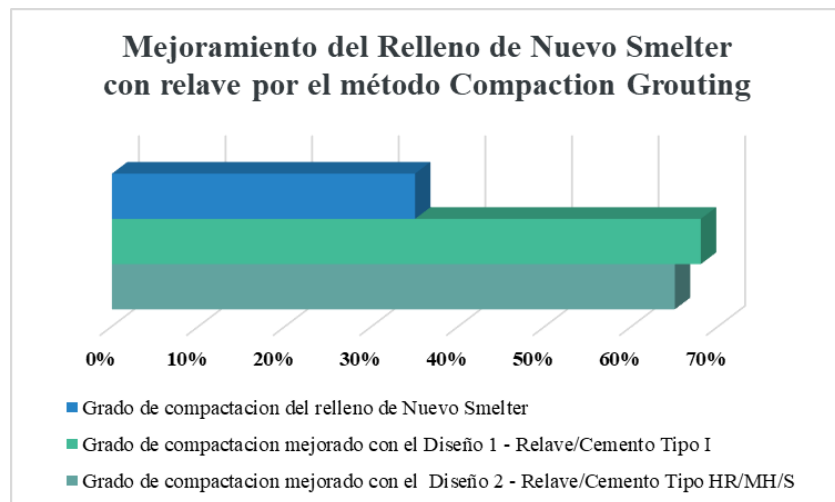


Ilustración 32. Grafica de barras del mejoramiento con relave de la densidad del relleno de la Urbanización Nuevo Smelter por el método Compaction Grouting

FUENTE: Elaboración propia.

4.4. Discusión de resultados

4.4.1. Discusión 1: Tratamiento de Relaves

El tratamiento del relave del depósito de Quiulacocha se hizo de acuerdo al Manual para Solidificación/Estabilización de desechos peligrosos EPA/540/2-86/001 donde se usó el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento.

Para la investigación, de acuerdo al análisis químico del relave del depósito de Quiulacocha se hizo 2 diseños con diferentes tipos de cemento, para el primero se usó cemento portland Tipo I y para el segundo se usó cemento portland Tipo HR/MH/S. El uso de cemento para tratamiento de relaves con alto contenido de sulfatos también fue realizado por Amjad Taring y Moncef Nehdi (2007) de la Universidad de Ontario Occidental, Canadá, que usaron cemento portland Tipo I y cemento portland Tipo HR/MH/S.

Los diseños para la investigación se realizaron con un 20% de cemento del volumen total de la mezcla y el uso que se le quiere dar a este material es para el mejoramiento de suelos con inyecciones de mortero de baja movilidad. Se quiere alcanzar resistencias a la compresión superiores a 15 kg/cm². A diferencia de los autores de la Universidad de Ontario Occidental que su estudio se basa para el uso de relleno para labores de minería y realizaron diseños con 4% y 6% de cemento del volumen total de la mezcla.

De la evaluación de resultados se coincide con los autores Amjad Tariq y Moncef Nehdi que se debe realizar ensayos de Resistencia a la Compresión y análisis químicos como el pH y contenido de sulfatos.

De la resistencia a la compresión de las probetas según el diseño de esta investigación muestra un comportamiento creciente hasta el día 21 y en el día 28 presenta una caída para después llegar con una resistencia estable hasta los 90 días. La resistencia a la compresión de las probetas según el diseño de los autores ya mencionado muestra un comportamiento creciente hasta el día 90 y luego muestra una caída en el día 180. Se coincide con los autores Amjad Tariq y Moncef Nehdi que las caídas en la resistencia de ambas investigaciones se deben al alto contenido de sulfatos.

Del análisis de pH los resultados obtenidos en esta investigación son diferentes al de los autores Amjad Tariq y Moncef Nehdi, y esto se debe al proceso de curado de las probetas. Las probetas de los autores de la Universidad de Ontario Occidental se mantuvieron con una temperatura de 25°C y con una humedad del 100%, mientras que para esta investigación para el análisis de pH las probetas se mantuvieron a una temperatura ambiente y con una humedad 0%. Es por ello que el comportamiento del pH de la investigación pasa de un estado ácido de 2.7 hasta un estado básico de 7 – 9 según el

diseño. Los autores según su investigación muestran un estado ácido de 4 hasta llegar a un estado ácido de 2.5.

Del análisis de contenido de sulfatos los valores obtenidos en la investigación son diferentes al de los autores ya mencionados y como ya lo explicamos, esto se debe al método de curado de las probetas. La investigación muestra un comportamiento decreciente en el en el tiempo iniciando con valores de 5% y llegando al día 90 con un valor de 0.09% y 0.14 según el diseño. Los autores ya mencionados muestran resultados iniciales de 0.08% y llegando al día 180 con 0.18%.

De acuerdo al uso que se le quiere dar al relave, ya sea para el mejoramiento de suelos o relleno en labores de minería es necesario estabilizar/solidificar a este residuo. La investigación se puede concluir que el relave del depósito de Quiulacocha alcanza resistencias adecuadas, el pH es óptimo ya que se logró basificar al material y el contenido de sulfatos ha mostrado un comportamiento decreciente en el tiempo. Se puede aceptar la hipótesis que con un tratamiento adecuado el relave puede usarse para el mejoramiento de suelos.

CONCLUSIONES

- El relave del depósito de Quiulacocha es un residuo del procesamiento de minerales polimetálicos por flotación, con un 35% de contenido de sulfatos, y tiene un pH ácido de 2.7 y que el porcentaje que pasa la malla N° 200 es el 35%.
- El tratamiento adecuado para el relave del depósito de Quiulacocha según El Manual de Estabilización/Solidificación de Residuos Peligrosos de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos - EPA es por el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento.
- Para la investigación se realizó 2 diseños de tratamiento, para el primero se usó un 20% de cemento portland Tipo I y para el segundo se usó un 20% de cemento portland Tipo HR/MH/S. debido al alto contenido de sulfatos.
- El Diseño 1 – Relave/Cemento Tipo I alcanzó una resistencia a la compresión de 22.96 kg/cm² a los 90 días, así como su pH pasó de un estado ácido de 2.73 a un estado básico de 9.3 y el contenido de sulfatos a los 28 días inicio dio un resultado de 5.43% presentando un comportamiento decreciente en el tiempo llegó a los 90 días con un resultado de 0.09%

- El Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo/MH/S alcanzo una resistencia a la compresión de 17.31 kg/cm² a los 90 días, así como su pH paso de un estado acido de 2.73 a un estado básico de 8.9 y el contenido de sulfatos a los 28 días inicio dio un resultado de 6.87% presentando un comportamiento decreciente en el tiempo llego a los 90 días con un resultado de 0.14%
- La investigación concluye que el tratamiento del relave del depósito de Quiulacocha por el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento se acepta. Los diseños con un 20% del cemento tanto Tipo I como el Tipo HR/MH/S mostraron un comportamiento de la resistencia, el pH paso de un estado acido a un estado básico y el contenido de sulfatos tuvo un comportamiento decreciente en el tiempo hasta lograr valores adecuados.
- El material de relleno para cimentación colocado en la Urbanización Nuevo Smelter, según los resultados de los ensayos in situ y los de laboratorio no cumple con la Norma E 050. La densidad en campo es de 30% de la densidad máxima seca, cuando según el Artículo 21 debe tener una densidad del 95% de la densidad máxima seca en capas de 0.50 m.
- El relleno de la Urbanización Nuevo Smelter según la clasificación Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS es una GRAVA BIEN GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA con un porcentaje de finos del 7.2%. Por consiguiente, el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting se puede aplicar en esta zona.

- El mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouting según la Guía de Consenso Compaction Grouting del Geo – Institute of the ASCE se requiere resistencias máximas para los morteros de 20 kg/cm². Los resultados de resistencia a la compresión del Diseños 1 – Relave/Cemento Tipo I supero este margen y el Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S alcanzo una resistencia aceptable.
- Los resultados de la inyección de morteros de relave de baja movilidad al material de relleno de la Urbanización Nuevo Smelter, con el diseño 1- Relave/Cemento Tipo I mostro una densificación de 68% de la densidad máxima seca y el Diseño 2 – Relave/Cemento Tipo HR/MH/S mostro una densificación de 65% de la densidad máxima seca. Se puede concluir que el relave del depósito Quiulacocha con un 20% de cemento puede densificar suelos granulares por el método Compaction Grouting.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar análisis químicos como el contenido de metales pesados, pH, contenido de sulfatos de los relaves para poder determinar un método de tratamiento.
- En desechos inorgánicos como los relaves es recomendable el método de tratamiento de Estabilización/Solidificación con cemento, ya que este aglutinante inmovilizara en una matriz cementante al desecho toxico.
- La relación agua cemento debe ser la más baja posible para que el mortero alcance mejores resistencias.
- Se recomienda utilizar el método Compaction Grouting para mejoramiento de la densidad en suelos granulares, donde se obtiene una mayor efectividad.
- Se debe dejar fraguar a los morteros por lo menos 2 días, debido al contenido de pirita o sulfuro de hierro FeS_2 presente el relave. Este mineral retarda el proceso de fraguado del concreto.

BIBLIOGRAFIA

- EPA United States Environmental Protection Agency (1999), **Solidification/Stabilisation Resource Guide EPA/542 – B – 99 – 002**, Washington D.C. 20460
- Cullinane M., Larry W., Malone P., (1986), **Handbook for Stabilisation/Solidification of Hazardous Waste N° EPA/540/2-86/001**, Vicksburg, MS 39180.
- Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or [50 mm] Cube Specimens) (2018) - Norma ASTM C 109, American Society for Testing and Materials.
- Norma Tecnica E 050 – Suelos y Cimentaciones, (2018), RESOLUCION MINISTERIAL N° 406 – 2018 – VIVIENDA, Diario El Peruano.
- Compaction Grouting Committee Roster, (2007), **Compaction Grouting Consensus Guide**, ASCE American Society of Civil Engineers
- Schmertman J, Henry J., (1992), **A Design Theory For Compaction Grouting**, New Orleans, LA, ASCE
- Guia Ambientas para el Manejo de Relaves (2019), Ministerio de Energia y Minas.
- TUNÇDEMİR F, (2007), **Theoretical and Practical Aspects of Compaction Grouting**, Volumen 18, Turquia, Middle East Technical University.
- Moncef N., Amjad T., (2007), **Stabilization of sulphidic mine tailings for prevention of metal release and acid drainage using cementitious materials: a review**, Journal of Environmental Engineering and Science.

ANEXOS

ANEXO N° 1

MATRIZ DE CONSISTENCIA

MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO DE PROYECTO DE TESIS: “USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL METODO COMPACTION GROUTING, PASCO – 2019”

AUTOR: BACH. ROBLES CHAMORRO, Judith Evelin

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLE DE ESTUDIO	METODOLOGIA
Problema General	Objetivo General	Hipotesis General	Variables Dependiente	<p style="text-align: center;">GE ----- M1 ----- X ----- M2</p> <p style="text-align: center;">GC ----- M1 ----- - ----- M2</p> <p>Donde:</p> <p>GE : Grupo Experimental.</p> <p>GC : Grupo de Control.</p> <p>X : Manejo de Variable Independiente.</p> <p>M1 : Pre prueba.</p> <p>M2 : Post prueba.</p>
- ¿De que manera se puede usar el relave para mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing?	- Evaluar el relave para uso en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing.	- El relave puede usarse para el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing.	- Mejoramiento de suelo : La modificación de las características de un suelo débil o blando para mejorar sus propiedades.	
			Variable Independiente	
			- Inyección de Relave : Inyecciones de relave tratado por el método de Estabilización/Solidificación a base de cemento para poder usar como lechada de compactación.	
Problemas Especificos	Objetivo Especifico	Hipotesis Especificas	Indicadores	
- ¿Cómo estabilizar el relave para usar en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing?	- Estabilizar el relave para uso en mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing.	- El relave se puede estabilizar para usarse en el mejoramiento de suelos por el método Compaction Grouing.	1. Análisis de fluorescencia de rayos X (XRF) 2. Espectrometría de emisión atómica de plasma acoplado inductivamente (ICP-AES) 3. Análisis químico al relave 4. Análisis físico al relave	
- ¿Cuáles son las propiedades del suelo antes del mejoramiento por el método Compaction Grouing?	- Evaluar las propiedades del suelo antes del mejoramiento del suelo con relave por el método Compaction Grouing.	- Los relleno para cimentación de la Urbanización Nuevo Smelter no cumple con el diseño según la Norma E 050 - Suelos y Cimentaciones	1. Análisis Granulométrico por Tamizado. 2. Clasificación SUCS de suelo. 3. Ensayos de Limites de Consistencia. 4. Ensayo de Contenido de Humedad. 5. Ensayo de Compactación - Proctor Modificado. 6. Ensayo de Densidad de Campo.	
- ¿En que medida mejora el suelo con la aplicación del método compaction grouing usando relave?	- Aplicar el método Compaction Grouing con relave para mejoramiento del suelo.	- La inyección de relave por el método Compaction Grouing mejora el suelo.	1. Realizar un prototipo a escala para mejoramiento de suelos inyectando relave estabilizado por el método Compaction Grouing.	

ANEXO N° 2

**ANÁLISIS QUÍMICO DE ACTIVOS MINEROS –
COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL RELAVE DEL
DEPÓSITO DE QUIULACOCHA.**

Anexo 4

Análisis Químico


ACTIVOS MINEROS S.A.C.
"Año del Diálogo y la Reconciliación Nacional"


MEMORANDO 197-2018-GO	
Para	Roberto Chipoco Villalva, Responsable de la Entrega de Información
Asunto	Solicitud de Acceso de Información Pública
Referencia	a) Memorando 005-2018-REI/LTAIP b) Correo Electrónico del 01.03.2018
Fecha	08 de marzo de 2018

En atención a la solicitud del Memorando N° 005-2018-REI/LTAIP remito la siguiente información:

- Resultado de Composición Química Promedio de la muestra del depósito de Relaves Quilacocha:

Elementos	Fe	Cu	Pb	Zn	Mn	As	Insolubles
%	22.42	0.15	0.08	2.42	0.007	0.11	37.17

Fuente: PCPAM Excelesior y Quilacocha (2006)

- Resultado de Análisis Químico de las Aguas del Relave de Quilacocha, Agua sobrenadante de la presa de Relaves.

Parámetro	Valor
Metales Totales	
Arsénico	mg/L 0.013
Cobre	mg/L 7.230
Zinc	mg/L 1023
Hierro	mg/L 3493
Manganeso	mg/L 1606
Plomo	mg/L 0.040
Metales Disueltos	
Arsénico	mg/L 0.011
Cobre	mg/L 8.180
Zinc	mg/L 776
Hierro	mg/L 2379
Manganeso	mg/L 1570
Plomo	mg/L 0.028
Sulfatos (Total)	mg/L 24654

Fuente: PCPAM Excelesior y Quilacocha (2006)



Atentamente,

Edgar García García
Gerente de Operaciones (e)

ANEXO N° 3

**ANÁLISIS QUÍMICO DEL LABORATORIO FIC UNI DE
LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA DEL
RELAVE DEL DEPÓSITO DE QUIULACOCHA.**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU19-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 10-07-19

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl ⁻	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES
	ASTM D 512	ASTM D 516	MTC E 219
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	
	ppm	ppm	ppm
TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	678	354 876	356 236

Lima, 16 de Julio del 2019


CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNIFIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU19-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 10-07-19

ANÁLISIS DE:	CLORUROS Cl	SULFATOS (SO ₄) ²⁻	SALES SOLUBLES TOTALES
	ASTM D 512	ASTM D 516	MTC E 219
	AASHTO T 291	AASHTO T 290	
	%	%	%
TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	0,06	35,48	35,62

Lima, 16 de Julio del 2019


CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carretera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU19-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 08-07-19

ANÁLISIS DE:	REACTIVIDAD POTENCIAL ALCALIS-SILICE	
	MTC E 217	
	Silice disuelta	Reducción Alcalinidad
	Sc : Milimol/L	Re : Milimol/L
TIPO DE MATERIAL: RELAVE MINERO UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	20,63	448,75

Lima, 16 de Julio del 2019


CARMEN M. REYES COBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carreres de Ingeniería Civil Acreditada por



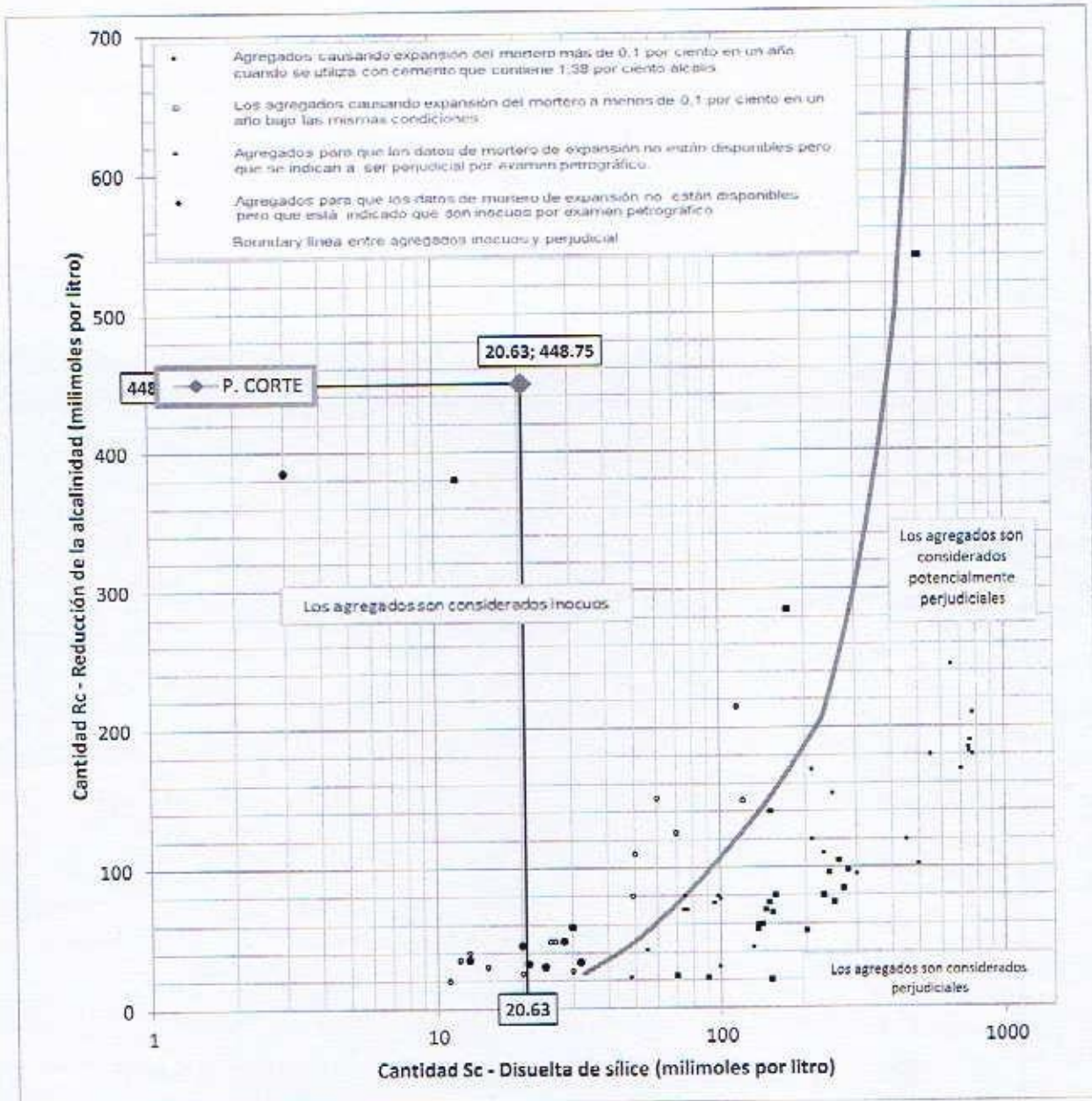
Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC



Sc = 20.63	Milimoles por litro
Rc = 448.75	Milimoles por litro

CARMEN M. REYES CUBAS
 Msc.ING. JEFA(e) DEL LABORATORIO
 Laboratorio Químico de la FIC-UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 25-09-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ^{**} ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ^{**} MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	7,60	2,60	25964

Lima, 02 de Octubre del 2019

CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



LABORATORIO QUÍMICO FIC ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 29-10-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMON BOLIVAR	9.10	0.58	5789

Lima, 05 de Noviembre del 2019

CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



LABORATORIO QUÍMICO FIC ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO HR/MH/S

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 28-08-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ⁻ MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20% CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	4.80	6.87	68723

Lima, 04 de Setiembre del 2019

CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO HR/MH/S

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 25-09-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ⁻ MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMON BOLIVAR	6.80	3.65	36495

Lima, 02 de Octubre del 2019


CARMEN M. REYES CURAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / I.QU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO HR/MI/S

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 29-10-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ MTC E 219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMON BOLIVAR	8.30	0.98	9753

Lima, 05 de Noviembre del 2019

CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Carrera de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Ingeniería Civil

LABORATORIO QUÍMICO FIC

ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO

SOLICITANTE: ROBLES CHAMORRO JUDITH EVELIN

EXPEDIENTE: 19-2795 / LQU9-0822

UBICACIÓN: PASCO

TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20%CEMENTO TIPO I

UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA

DEPARTAMENTO: PASCO

PROVINCIA: PASCO

DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR

RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 28-08-19

ANÁLISIS DE:	POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH) ASTM D 4262	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ ASTM D 516 AASHTO T 290 %	SULFATOS (SO ₄) ²⁻ MTC E.219 ppm
TIPO DE MATERIAL: MORTERO RELAVE/20% CEMENTO TIPO I UBICACIÓN: DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACOCHA DEPARTAMENTO: PASCO PROVINCIA: PASCO DISTRITO: SIMÓN BOLIVAR	5.10	5.43	54308

Lima, 04 de Setiembre del 2019

CARMEN M. REYES CUBAS
MSc. ING. JEFA (e) DEL LABORATORIO
Laboratorio de Química de la UNI-FIC

El Laboratorio no se responsabiliza del muestreo ni de la procedencia de la muestra

Av. Tupac Amaru 210, Lima 25, Perú
Apartado Postal 1301 Lima 100 - Perú / Telefax: (511) 481 - 9845
Central Telefónica: 481-1070 / Anexo: 295

Cámara de Ingeniería Civil Acreditada por



Engineering
Technology
Accreditation
Commission

ANEXO N° 4

CERTIFICADOS DE LOS ENSAYOS DE RESISTENCIA

A LA COMPRESIÓN DE MORTEROS DEL

LABORATORIO ZEMKO.

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VALIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 05/11/2019
CERTIFICADO : ZI005 11 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F'c (kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L - 1 (cm)	L - 2 (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	90	5.093	5.121	26.051	256	458.0	17.56	1.72
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	90	5.088	5.119	26.045	249	442.0	16.97	1.66
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	90	5.068	5.117	25.933	251	451.0	17.39	1.70

17.31

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/MH/S.
- 2) El presente documento no debiera reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI : G004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-D057-2019

EQUIPO DE COMPRESION LINIAXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 kgf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

M5-D40G-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECANICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO
ENSAYO DE COMPRESION AXIAL EN PROBETAS ESTANDARES DE CONCRETO
NORMA DE ENSAYO : NTP 339 - 034 (2008)

ORDEN : Z12019000012

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL METODO COMPACTION GROUTING
UBICACION : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 02/10/2019
CERTIFICADO : Z1002_10 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019.

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F/C (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1. (cm)	L-2. (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	56	5.115	5.139	26.286	253	455.0	17.31	1.70
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	56	5.125	5.101	26.091	241	438.0	16.79	1.63
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	56	5.058	5.082	25.705	248	443.0	17.23	1.69
17.11										

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

- NOTA:
- DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
 - DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033.
 - DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99.
- OBSERVACIONES:
- Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HRVMI/S.
 - El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : G004-1993)
 - Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-005 /-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4.

TRAZABILIDAD

CÉLDA DE CARGA MARCA: AFP TRANSDUCERS - TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AFP TRANSDUCERS - TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496 2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simon Bolivar
Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
✉ RPM #963665214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL METODO COMPACTION GROUTING
UBICACION : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 04/09/2019
CERTIFICADO : ZID04_08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F' C (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L - 1 - (cm)	L - 2 - (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (Kg)	ESFUERZO (C) (kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.138	5.144	26.430	231	374.0	14.15	1.39
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.122	5.130	26.173	243	395.0	15.09	1.48
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.064	5.048	25.563	238	408.0	15.96	1.56
									15.07	

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del especimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/MM/S.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI : 0004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAxIAL

PRESA DE CONCRETO

CAPACIDAD

\$25000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibracion se realizo tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TECNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
INGENIEROS S.A.C.

Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
✉ RPM #963665214

📧 gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

🌐 Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 28/08/2019
CERTIFICADO : ZI028_08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACIÓN - ESTRUCTURA	FC (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1. (cm)	L-2. (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.058	5.067	25.629	233	385.0	15.02	1.47
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.081	5.072	25.771	241	393.0	15.25	1.50
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.028	5.046	25.371	238	390.0	15.37	1.51

15.21

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACIÓN: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/MH/S.
- 2) El presente documento no debiera reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI : 6004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0357-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAxIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

225000 lb/

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

H-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2019

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
ZEMCO
Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

SOLICITANTE: JUDITH EVEJUN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS: USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN: CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO: 07/06/2019
FECHA ENSAYO: 21/06/2019
CERTIFICADO: ZI021_08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019.

IDENTIFICACION	UBICACIÓN - ESTRUCTURA	F.C. (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1- (cm)	L-2- (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (Kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.051	5.083	25.674	226	332.0	12.93	1.27
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.068	5.086	25.777	223	294.0	11.41	1.12
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.035	5.022	25.286	225	323.0	12.77	1.25

12.37

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033.
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de ruptura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/MH/S.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI: 6004/1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAxIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F 825/A270 TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500 1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION: 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134362

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco.

Tel: (063) 421818
T: RPM #963665214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TFSIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 14/08/2019
CERTIFICADO : ZI014 09 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACIÓN - ESTRUCTURA	F'c (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1. (cm)	L-2. (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	7	5.135	5.139	26.389	243	204.0	7.73	0.76
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	7	5.038	5.049	25.437	233	185.0	7.27	0.71
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	7	5.042	5.022	25.321	233	198.0	7.82	0.77

7.61

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del especimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036

II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033

III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactacion RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/ MH/S.
- El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : 6004:1993)
- Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-025 /-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAxIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500 1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AFP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AFP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496 2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TECNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simon Bolivar
Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
📠 RPM #96065214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

🌐 Zemco Ingenieros.SAC
www.zemcoingenieros.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO
ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PROBETAS ESTANDARES DE CONCRETO
NORMA DE ENSAYO : NTP 339-034 (2008)

ORDEN : 212019000007

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 12/08/2019
CERTIFICADO : 21017_08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F'c (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L - 1: (cm)	L - 2: (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (Kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_THR_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.066	5.134	26.009	250	169.0	6.50	0.64
GROUT_THR_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.144	5.145	26.466	265	174.0	6.57	0.64
GROUT_THR_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.071	5.055	25.634	253	170.0	6.63	0.65

6.57

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la maquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia al procedimiento NTP 339.036
II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
III. DEL ENSAYO: El ensayo de ruptura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo HR/MH/S.
2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : G004:1993)
3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS 0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRESA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

E-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2013

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Jorge CAMPOS ANGULO
 TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 134362

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco,

(063) 421918
T RPM #963665214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO
 ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PRÓBETAS ESTÁNDARES DE CONCRETO
 NORMA DE ENSAYO : NTP 339 - 034 (2008)

ORDEN : ZI019000013

SOLICITANTE : JUDITH EVEJUN ROBLES CHAMORRO
 PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
 UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
 FECHA VACIADO : 07/08/2019
 FECHA ENSAYO : 05/11/2019
 CERTIFICADO : ZI005 11 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019.

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	FC (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L- 1: (cm)	L- 2: (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_T1_1	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	90	5.111	5.096	26.046	249	591.0	22.89	2.22
GROUT_T1_2	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	90	5.045	5.066	25.558	251	588.0	23.01	2.26
GROUT_T1_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	90	5.046	5.068	25.573	247	593.0	23.19	2.27
									22.86	2.25

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
 W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de cultura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactacion RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
- 2) El presente documento no debera reproducirse sin la autorizacion sin la autorizacion escrita del laboratorio, salvo que la reproduccion sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI) : G004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAIXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

315000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

la calibracion se realizo tomando como referencia la ISO 7500 1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2019

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Jorge CAMPOS ANGULO
 TECNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
 Paragsha - Simon Bolivar
 Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
 📠 RPM #963665214

📧 gerencia@zemcoingenieros.com
 zemcoingenieros@gmail.com

🌐 Zemco Ingenieros SAC
 www.zemco.ing/enieros.com

LABORATORIO DE ENSAYO DE MECÁNICA DE SUELOS, MATERIALES Y CONCRETO
ENSAYO DE COMPRESIÓN AXIAL EN PRÓBETAS ESTÁNDARES DE CONCRETO
NORMA DE ENSAYO: NTP 339-034 (2005)

ORDEN: 72019000011

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 02/10/2019
CERTIFICADO : 2002 10 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2018.

IDENTIFICACION	UBICACIÓN - ESTRUCTURA	F/C (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DÍAS)	L - 1. (cm)	L - 2. (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (Kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_TI_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	56	5.081	5.070	25.761	250	584.0	22.67	2.22
GROUT_TI_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	56	5.062	5.046	25.543	247	583.0	23.22	2.28
GROUT_TI_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	56	5.143	5.132	26.394	253	582.0	22.05	2.16
									22.65	2.22

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DE MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
- II. DE LA ELABORACIÓN: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99.

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a morteros de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
- 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI : 0004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION:

NIS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAIXIAL

PRESA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP- TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

Antonio Antonio ESPIÑOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134362

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
📠 RPM #963665254

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 04/09/2019
CERTIFICADO : 21004_09 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F'c (Kg/cm2) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1 (cm)	L-2 (cm)	A (cm2)	Peso (g)	W (Kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm2)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT TI 1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.162	5.160	26.636	249	563.0	23.14	2.07
GROUT TI 2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.022	5.028	25.251	255	593.0	23.68	2.30
GROUT TI 3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	28	5.048	5.070	25.341	251	575.0	22.69	2.22
									22.44	2.20

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizó teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99.

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación (RELAVE/ CEMENTO) Tipo I.
2) El presente documento no debiera reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI - 6004:1993)
3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRESA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 libf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

la calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500 1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO
INGENIEROS S.A.C.
Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO
INGENIEROS S.A.C.
Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco.

☎ (063) 423518
T: KPM #963665214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

🌐 Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
 PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
 UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
 FECHA VACIADO : 07/08/2019
 FECHA ENSAYO : 28/08/2019
 CERTIFICADO : ZI028_08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019.

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F'c (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1 (cm)	L-2 (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (K) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_TI_1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.143	5.145	26.461	243	696.0	26.30	2.58
GROUT_TI_2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.138	5.111	26.158	244	717.0	27.41	2.69
GROUT_TI_3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	21	5.128	5.085	26.076	244	738.0	27.73	2.72
									27.15	2.66

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen en kg/cm²
 W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
 II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.034
 III. DEL ENSAYO: El ensayo de ruptura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUIA PERUANA INDECOPI : 6004-1993)
 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

la calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E1

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Jorge CAMPOS ANGULO
 TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 134282

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
 PROYECTO TEST : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
 UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
 FECHA VACIADO : 07/08/2019
 FECHA ENSAYO : 21/08/2019
 CERTIFICADO : 21021 08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACIÓN - ESTRUCTURA	F/C (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1. (cm)	L-2. (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_T1_1	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.266	5.309	27.957	218	512.0	18.31	1.90
GROUT_T1_2	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.061	5.074	25.680	215	574.0	22.35	2.16
GROUT_T1_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	14	5.093	5.057	25.755	216	553.0	21.47	2.11
									20.71	2.03

FORMULA:

$$c = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresión del espécimen en kg/cm²
 W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia al procedimiento NTP 339.036
 II. DE LA ELABORACIÓN: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
 III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizó teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 89

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortero de compactación RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
 2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPÍ : 6004:1993).
 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-025 / 2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL:

PRINSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lb

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

la calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CFIDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2019

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Jorge CAMPOS ANGULO
 TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
 Paragsha - Simón Bolívar
 Cerro de Pasco.

☎ (063) 421918
 📠 RPM #963665214

gerencia@zemcoingenieros.com
 zemcoingenieros@gmail.com

🌐 Zemco Ingenieros SAC
 www.zemcoingenieros.com

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING
UBICACIÓN : CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 14/08/2019
CERTIFICADO : ZI014 09 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F' C (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L-1: (cm)	L-2: (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT_TI_1	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	7	5.048	5.077	25.629	232	373.0	14.55	1.43
GROUT_TI_2	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	7	5.128	5.115	26.230	247	271.0	10.33	1.01
GROUT_TI_3	MORTERO DE COMPACTACION	20% C	7	5.108	5.085	25.974	238	312.0	12.01	1.18

12.30

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.035
- II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
- III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99.

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a morteros de compactacion RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
- 2) El presente documento no debiera reproducirse sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : 6004:1993)
- 3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS 0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

325000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E4

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRON DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Jorge CAMPOS ANGULO
 TECNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.

 Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
 INGENIERO CIVIL
 CIP N° 124382

SOLICITANTE : 1 JUDITH EVELIN ROBLES CHAMORRO
PROYECTO TESIS : 1 USO DE RELAVE PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL METODO COMPACTION GROUTING
UBICACION : 1 CERRO DE PASCO
FECHA VACIADO : 07/08/2019
FECHA ENSAYO : 12/08/2019
CERTIFICADO : 1 ZI012 08 ZEMCO INGENIEROS S.A.C. 2019.

IDENTIFICACION	UBICACION - ESTRUCTURA	F'c (Kg/cm ²) Diseño	EDAD (DIAS)	L - L ₁ (cm)	L - L ₂ (cm)	A (cm ²)	PESO (g)	W (kg)	ESFUERZO (C) (Kg/cm ²)	ESFUERZO (Mpa)
GROUT TI 1	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.387	5.385	29.009	261	227.0	7.65	0.75
GROUT TI 2	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.139	5.163	26.533	259	219.0	8.25	0.81
GROUT TI 3	MORTERO DE COMPACTACION	20 % C	5	5.328	5.285	28.158	263	220.0	7.81	0.77
									7.91	

FORMULA:

$$C = \frac{W}{A}$$

DONDE:

C = Resistencia a la compresion del espécimen en kg/cm²
W = Máxima carga en Kg, indicada por la máquina de ensayo.

NOTA:

- I. DEL MUESTREO: Las probetas de concreto fueron muestreadas en obra, teniendo como referencia el procedimiento NTP 339.036
II. DE LA ELABORACION: La elaboración y curado de las probetas de concreto se efectuó en base a la norma técnica NTP 339.033
III. DEL ENSAYO: El ensayo de rotura de la muestra se realizaron teniendo como referencia la norma NTP 339.034 - 99.

OBSERVACIONES:

- 1) Según indicado por el solicitante, la muestra pertenece a mortera de compactacion RELAVE/ CEMENTO Tipo I.
2) El presente documento no deberá reproducirse sin la autorización sin la autorización escrita del laboratorio, salvo que la reproducción sea en su totalidad (GUÍA PERUANA INDECOPI : G004:1993)
3) Las probetas fueron elaboradas, identificadas y remitidas al laboratorio por el solicitante.

CERTIFICADO DE CALIBRACION

MS-0057-2019

EQUIPO DE COMPRESION UNIAXIAL

PRENSA DE CONCRETO

CAPACIDAD

335000 lbf

MARCA

FORNEY U.S.A.

MODELO

F-325/LA270-TP - TEST PILOT TA - 1253

METODO DE CALIBRACION

La calibración se realizó tomando como referencia la ISO 7500-1 / ASTM E1

TRAZABILIDAD

CELDA DE CARGA MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

INDICADOR MARCA: AEP TRANSDUCERS TRAZABILIDAD UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU

PATRÓN DE CALIBRACION

MS-0496-2018

FECHA DE CALIBRACION : 31 DE ENERO - 2019



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
ZEMCO
Jorge CAMPOS ANGULO
TÉCNICO LABORATORISTA



ZEMCO INGENIEROS S.A.C.
ZEMCO
Marco Antonio ESPINOZA BUSTILLOS
INGENIERO CIVIL
CIP N° 134382

Calle Tarma N° 215
Paragsha - Simón Bolívar
Cerro de Pasco.

(063) 421928
T: RPM #983655214

gerencia@zemcoingenieros.com
zemcoingenieros@gmail.com

Zemco Ingenieros SAC
www.zemcoingenieros.com

ANEXO N° 5

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NTP 339.127

PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.



ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD NTP 339,127

PROYECTO

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL
MÉTODO COMPACTION GROUTING"

SOLICITANTE JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO
INGENIERO RESPONSABLE JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
TECNICO RESPONSABLE YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
MATERIAL RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER
TIPO DE MATERIAL SUELOS
CODIGO ORDEN DE TRABAJO OR - 178 - 2019
FECHA DE RECEPCION 21/09/2019 FECHA DE ENTREGA : 25/09/2019

NUMERO DE CAPSULA	110
PESO HUMEDO+TARA	81.54
PESO SECO+TARA	78.85
PESO AGUA (gr)	2.69
PESO TARA (gr)	22.03
PESO MUESTRA SECA	56.82
CONTENIDO DE HUMEDAD	4.73%

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA PRODUCCION SE EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993).



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
ING. CIVIL CIP: 129417
JEFE DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 6

ENSAYO DE COMPACTACIÓN – PROCTOR

MODIFICADO ASTM D – 1557/ NTP 339.141



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE COMPACTACION - PROCTOR MODIFICADO ASTM D - 1557 / NTP339.141

PROYECTO

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING"

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO
 INGENIERO RESPONSABLE : JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 TECNICO RESPONSABLE : YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
 MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER
 METODO : "C"
 CODIGO ORDEN DE TRABAJO : OR - 178 - 2018
 FECHA DE RECEPCION : 21/09/2018
 FECHA DE EMISION : 25/09/2018

MAXIMA DENSIDAD SECA = 2.302 gr/cm³
 OPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD = 4.27 %



PREPARACION DE LA MUESTRA		
TAMIZ	PARCIAL RETENIDOS	PASA%
3"	0	100
2"	0	100
3/8"	24.47	80.98
3/16"	23.75	62.26
N° 4	20.91	46.38
< N° 4	46.38	0

Volumen del molde cm ³	2108							
Determinacion	M - 1	M - 2	M - 3	M - 4				
P. del molde+ muestra humeda	7692	8108	8080	7809				
Peso del molde gr	3054	3054	3054	3054				
P de la muestra compactada	4838	5054	5036	4755				
DENSIDAD HUMEDA gr/cm ³	2.202	2.400	2.391	2.258				
N° de recipiente o tara	1	2	3	4	5	6	7	8
P de la tara + suelo humedo gr	78.43	84.60	102.45	69.80	97.99	107.99	119.18	101.59
Peso de la Tara+Suelo Seco (gr.)	77.79	83.88	98.33	67.68	92.68	102.46	109.92	94.03
P del agua gr	0.64	0.72	3.12	1.82	5.21	5.53	8.28	7.58
P de la tara gr	27.28	26.51	26.21	22.73	20.75	26.34	29.43	20.28
P del suelo seco gr	50.51	57.37	73.12	44.95	71.93	76.12	80.49	73.77
% de humedad	1.27	4.27	7.24	10.26				
MAX. DENSIDAD SECA gr/cm ³	2.175	2.302	2.230	2.048				

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA PRODUCCION SE EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI, 09-004.1995).



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 ING. CIVIL CIP 129417
 JEFE DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
 TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 7

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO NTP

339.128



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 339.128

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING"

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO
 INGENIERO RESPONSABLE : JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 TECNICO REPONSABLE : YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
 MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER
 TIPO DE MATERIAL : SUELOS
 CODIGO ORDEN DE TRABAJO : OR - 178 - 2019
 FECHA DE RECEPCION : 21/09/2019
 FECHA DE ENTREGA : 25/09/2019

wo =		2560 g		
Mallas A.S.T.M	GRANO < No. 4			%
	PESO TOTAL DE LA MUESTRA			
	GRM			
	Luz Tamiz En m.m	Retenido en g	Pasante en g (T1)	
			Que pasa T1 x 100 wo	
3"	75.000	0.0	2560	100.00
2 1/2"	85.000	0.0	2560	100.00
2"	50.000	0.0	2560	100.00
1 1/2"	37.500	200.0	2360	92.19
1"	25.000	153.0	2207	86.21
3/4"	19.000	217.0	1990	77.73
3/8"	9.500	710.0	1497	58.48
No. 4	4.750	455.0	1042	40.70

w1 =		1042 g		
Mallas A.S.T.M	GRANO < No. 4			%
	PESO TOTAL DE LA MUESTRA			
	GRM			
	Luz Tamiz En m.m	Retenido en g	Pasante en g (T1)	
			Que pasa T1 x 100 wo	
No. 4	4.750			
10	2.000	757.0	285.0	27.35
20	0.850	91.0	194.0	18.62
40	0.425	51.0	143	13.72
60	0.250	27.0	118	11.13
140	0.106	26.0	90	8.64
200	0.075	15.0	75	7.20

wo x w1 = k

k = Constante

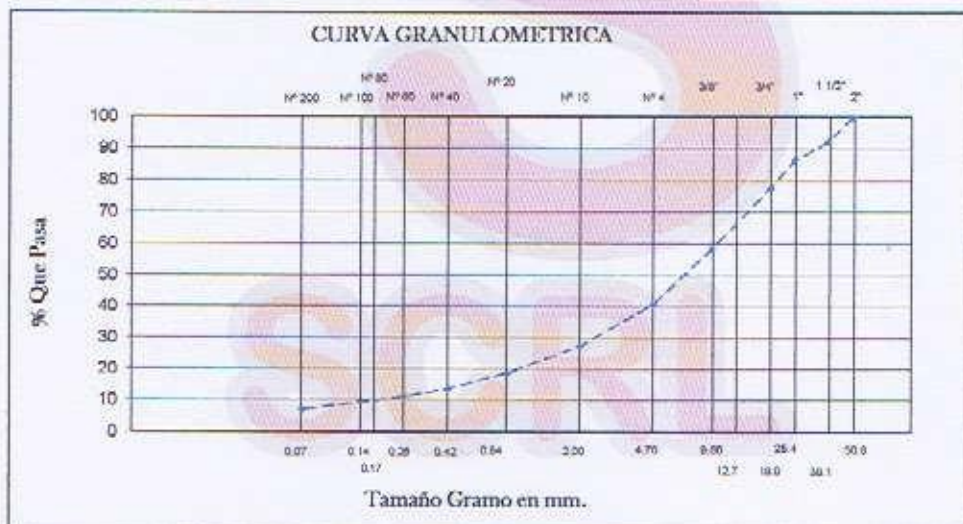
w2

wo = Peso total de la muestra

w1 = Peso de la Fraccion Pasante del No. 4

k = 2560.00 w2 = Peso Total de la Muestra Pasante del No. 4

% DE GRAVA = 59.30
 % DE ARENA = 33.51
 % DE FINOS = 7.20



EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA PRODUCCION SE EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI GP 004:1993).

PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
 YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
 TECNICO DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
 JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 INGENIERO CIVIL GP 129417
 JEFE DE LABORATORIO



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.



ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

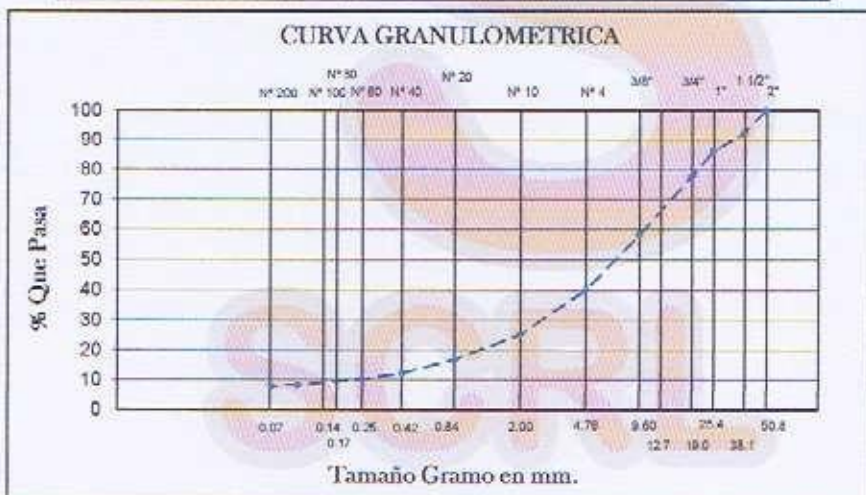
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

NTP 339.128

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION GROUTING"

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO
 INGENIERO RESPONSABLE : JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 TECNICO REONSABLE : YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
 MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER
 TIPO DE MATERIAL : SUELOS
 CODIGO ORDEN DE TRABAJO : OR - 178 - 2019
 FECHA DE RECEPCION : 21/09/2019 FECHA DE ENTREGA : 25/09/2019

DISTRIBUCION GRANULOMETRICA		
% GRAVA	GG%	24.16
	GF%	35.14
% ARENA	AG%	16.24
	AM%	13.65
	AF%	3.62
% FINOS		7.20
TAMAÑO MAXIMO DE LA GRAVA		1 1/2"
FORMA DEL SUELO GRUESO		Redondeada
PORCENTAJE RETENIDO EN LA 3 PULG (%)		0.000
CLASIFICACION (S.U.C.S)		
GW-GC	GRAVA BIEN GRADUADA CON ARCILLA Y ARENA	



FINO	7.20	ARENA	33.51	GRAVA	59.30
------	------	-------	-------	-------	-------

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA PRODUCCION SE EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI; GP-004:1993).

PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

YASSIR ERICK ALMERCO BONIFACIO
TECNICO DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
INGENIERO CIVIL - CIP 129417
JEFE DE LABORATORIO



ANEXO N° 8

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA NTP 339.129



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA

NTP 339.129

PROYECTO

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL MÉTODO
 COMPACTION GROUTING"

SOLICITANTE : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO
 INGENIERO RESPONSABLE : JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 TECNICO REPONSABLE : YASSIR ERICK ALMERCIO BONIFACIO
 MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER
 TIPO DE MATERIAL : SUELOS
 CODIGO ORDEN DE TRABAJO : OR - 178 - 2019
 FECHA DE RECEPCION : 21/09/2019 FECHA DE ENTREGA : 25/09/2019

N° DE TARRO	LIMITE LIQUIDO			LIMITE PLASTICO	
	24	29	30	10	15
PESO DEL TARRO (gr.)	22.30	22.23	27.52	26.40	25.22
PESO TARRO + SUELO HUM.(gr.)	70.98	73.26	83.51	58.38	56.49
PESO TARRO + SUELO SEC. (gr.)	51.00	64.06	57.62	53.41	51.00
PESO DEL AGUA (gr.)	9.98	9.20	5.89	4.97	5.49
PESO SUELO SECO (gr.)	36.70	41.83	30.30	27.01	25.78
PORCENTAJE DE HUMEDAD (%)	25.79%	21.99%	18.76%	18.40%	21.30%
N° DE GOLPES	16	26	36		

LIMITE LIQUIDO	21.99
LIMITE PLASTICO	19.85
INDICE PLASTICO	2.14



EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA REPRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO. SALVO QUE LA PRODUCCION SE EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993)



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

JIN ANGEL ALFARO JANAMPA
 ING. CIVIL CIP. 129417
 JEFE DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

YASSIR ERICK ALMERCIO BONIFACIO
 TECNICO DE LABORATORIO

ANEXO N° 9

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO ASTM D 1556 EN

CALICATAS DE LA URBANIZACIÓN NUEVO

SMELTER

PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.



ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS

Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO ASTM D-1556

SOLICITA : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO

RESPONSABLE

TEC. ERICK
ALMERC
BONIFACIO

UBICACION : CALICATA - 1 COORDENADAS ESTE: 362081.9 NORTE 8809256.2

MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER

ING. RESPONSABLE

JIN ALFARO
JANAMPA

OBRA

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE
SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION
GROUTING"

FECHA DE ENSAYO

30/09/2019

FECHA DE EMISION

1/10/2019

Descripcion		C - 1	C - 1	C - 1
Ensayo realizado a	(cm)	0.50	1.00	1.50
Lado		CENTRO	CENTRO	CENTRO
Profundidad de orificio	(cm)	15	15	15
DENSIDAD				
Peso arena + frasco	(gr)	7340	7264.7	7178.4
Peso arena que queda + frasco	(gr)	2368.8	1776.7	2289.2
Peso arena del cono	(gr)	1756.6	1756.6	1756.6
Peso de la arena en la cavidad		1664.4	3214.6	3731.4
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1.41	1.41	1.41
Volumen de la cavidad	(cm ³)	2278.86	2646.36	2221.70
Peso suelo humedo + tara	(gr)	2629.8	3093.0	2792.5
Peso de la tara	(gr)	347.3	347.3	347.3
Peso suelo humedo + grava	(gr)	2282.5	2745.7	2445.2
Peso de grava mayor a 3/4"	(gr)	889.5	687.3	878.9
Vol. de la grava mayor a 3/4"	(cm ³)	335.66	259.36	330.91
Peso suelo humedo menor a 3/4"	(gr)	1393	2058.4	1568.3
Volumen del suelo	(cm ³)	1944.20	2387.02	1890.80
Densidad humeda	(gr/cm ³)	0.72	0.88	0.83
CONTENIDO DE HUMEDAD SPPEYD				
Lectura PSI SPPEYD en 5	(gr)	0.29	0.21	0.25
Ecuacion	1	3.75	2.72	3.23
Ecuacion	2	8.53	5.50	6.01
Contenido de humedad	(%)	6.53	5.50	6.01
RESULTADOS				
Densidad seca	(gr/cm ³)	0.67	0.82	0.78
Máx. densidad seca del proctor modificado	(gr/cm ³)	2.302	2.302	2.302
Grado de compactación	(%)	29.22%	35.51%	33.99%

PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
JASSIE ERICK ALMERC BONIFACIO
JEFE DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
JIN ALFARO JANAMPA
INGENIERO CIVIL GP-128417
JEFE DE LABORATORIO



EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA PRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO. SALVO QUE LA REPRODUCCION SEA EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993)



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO ASTM D-1556

SOLICITA : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO

RESPONSABLE

TEC. ERICK

UBICACION : CALICATA - 1 COORDENADAS ESTE; 362081.9 NORTE 8809256.2

ALMERCOS
BONIFACIO

MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER

ING. RESPONSABLE

JIN ALFARO

JANAMPA

OBRA

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE
SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION
GROUTING"

FECHA DE ENSAYO

30/09/2019

FECHA DE EMISION

1/10/2019

Descripcion		C - 1	C - 1	C - 1
Ensayo realizado a	(cm)	2.00	2.50	3.00
Lado		CENTRO	CENTRO	CENTRO
Profundidad de orificio	(cm)	15	15	15
DENSIDAD				
Peso arena + frasco	(gr)	6881.2	6883.4	6887.7
Peso arena que queda + frasco	(gr)	1599.4	2028.7	1925.2
Peso arena del cono	(gr)	1756.6	1756.6	1756.6
Peso de la arena en la cavidad	1864.4	3505.2	3088.1	3205.9
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1.41	1.41	1.41
Volumen de la cavidad	(cm ³)	2485.96	2197.23	2273.69
Peso suelo humedo + tara	(gr)	3323.9	2645.3	2876.8
Peso de la tara	(gr)	347.3	347.3	347.3
Peso suelo humedo + grava	(gr)	2976.6	2298	2529.5
Peso de grava mayor a 3/4"	(gr)	1214.5	1087.3	1103.4
Vol. de la grava mayor a 3/4"	(cm ³)	458.30	410.30	416.38
Peso suelo humedo menor a 3/4"	(gr)	1762.1	1210.7	1426.1
Volumen del suelo	(cm ³)	2027.66	1786.93	1857.31
Densidad humeda	(gr/cm ³)	0.87	0.88	0.77
CONTENIDO DE HUMEDAD SPEDDY				
Lectura PSI SPEDDY en 5	(gr)	0.32	0.30	0.22
Ecuacion	1	4.14	3.88	2.84
Ecuacion	2	6.92	6.68	5.62
Contenido de humedad	(%)	6.92	6.66	5.62
RESULTADOS				
Densidad seca	(gr/cm ³)	0.81	0.64	0.73
Máx. densidad seca del proctor modificado	(gr/cm ³)	2.302	2.302	2.302
Grado de compactación	(%)	35.31%	27.59%	31.58%

PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

YASSIR ERICK ALMERCOS BONIFACIO
TECNICO DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.

JIN ALFARO JANAMPA
ING. CIVIL CIP. 170417
JEFE DE LABORATORIO



EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA PRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCION SEA EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993)



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO ASTM D-1556

SOLICITA : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO

RESPONSABLE

TEC. ERICK
ALMERCO
BONIFACIO

UBICACION : CALICATA - 2 COORDENADAS ESTE: 362077.1 NORTE 8809213.3

MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER

ING. RESPONSABLE

JIN ALFARO
JANAMPA

OBRA

**"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE
SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION
GROUTING"**

FECHA DE ENSAYO

1/10/2019

FECHA DE EMISION

2/10/2019

Descripcion		C - 2	C - 2
Ensayo realizado a	(cm)	1.00	2.00
Lado		CENTRO	CENTRO
Profundidad de orificio	(cm)	15	15
DENSIDAD			
Peso arena + frasco	(gr)	7177.3	7105.4
Peso arena que queda + frasco	(gr)	2023.7	2861
Peso arena del cono	(gr)	1756.6	1756.6
Peso de la arena en la cavidad	1664.4	3397	2487.8
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1.41	1.41
Volumen de la cavidad	(cm ³)	2409.22	1764.40
Peso suelo humedo + tara	(gr)	2583.2	2306.2
Peso de la tara	(gr)	347.3	347.3
Peso suelo humedo + grava	(gr)	2235.9	1958.9
Peso de grava mayor a 3/4"	(gr)	491.2	429.9
Vol.de la grava mayor a 3/4"	(cm ³)	185.36	162.23
Peso suelo humedo menor a 3/4"	(gr)	1744.7	1529
Volumen del suelo	(cm ³)	2223.86	1602.17
Densidad humeda	(gr/cm ³)	0.78	0.96
CONTENIDO DE HUMEDAD SPPEDEY			
Lectura PSI SPPEDEY en 5	(gr)	0.20	0.23
Ecuacion	1	2.59	2.97
Ecuacion	2	5.37	5.75
Contenido de humedad	(%)	5.37	5.75
RESULTADOS			
Densidad seca	(gr/cm ³)	0.74	0.90
Máx. densidad seca del proctor modificado	(gr/cm ³)	2.302	2.302
Grado de compactación	(%)	32.35%	39.20%

PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
 ERICK ALMERCO BONIFACIO
 JEFE DE LABORATORIO



PROCONSER SEBASTIAN S.C.R.L.
 JIN ALFARO JANAMPA
 ING. CIVIL CIP 129417
 JEFE DE LABORATORIO



EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA PRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCION SEA EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993)



PROYECTO, CONSULTORIA, CONSTRUCCIONES Y SERVICIOS DIVERSOS "SEBASTIAN" S.C.R.L.

ELABORACIÓN Y GESTIÓN DE ESTUDIOS, PROYECTOS Y PLANES.
 DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE OBRAS CIVILES,
 LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS CONCRETOS Y CONTROL DE CALIDAD. ORGANIZACIÓN Y
 GESTIÓN DE EMPRESAS E INSTITUCIONES. VENTA DE BIENES Y PRESTACIÓN DE SERVICIOS DIVERSOS
 Título N° 2011-00001484 - RUC N° 20529197382

LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS - CONTROL DE CALIDAD

ENSAYO DE DENSIDAD DE CAMPO ASTM D-1556

SOLICITA : JUDITH EVELIN, ROBLES CHAMORRO

RESPONSABLE

TEC. ERICK
 ALMERO
 BONIFACIO

UBICACION : CALICATA - 3 COORDENADAS ESTE: 362070.1 NORTE 8809158.8

ING. RESPONSABLE

JIN ALFARO
 JANAMPA

MATERIAL : RELLENO DE LA URBANIZACIÓN NUEVO SMELTER

OBRA

"USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE
 SUELOS POR EL MÉTODO COMPACTION
 GROUTING"

FECHA DE ENSAYO

1/10/2019

FECHA DE EMISION

2/10/2019

Descripcion		C - 3	C - 3
Ensayo realizado a	(cm)	1.00	2.00
Lado		CENTRO	CENTRO
Profundidad de orificio	(cm)	15	15
DENSIDAD			
Peso arena + frasco	(gr)	6627.8	6529.7
Peso arena que queda + frasco	(gr)	1872.8	1443.1
Peso arena del cono	(gr)	1756.6	1756.6
Peso de la arena en la cavidad	1964.4	2998.4	3330
Densidad de la arena	(gr/cm ³)	1.41	1.41
Volumen de la cavidad	(cm ³)	2126.52	2361.70
Peso suelo humedo + tara	(gr)	2327.1	2328.3
Peso de la tara	(gr)	347.3	347.3
Peso suelo humedo + grava	(gr)	1979.8	1981
Peso de grava mayor a 3/4"	(gr)	586.9	642.9
Vol. de la grava mayor a 3/4"	(cm ³)	221.47	242.60
Peso suelo humedo menor a 3/4"	(gr)	1382.9	1338.1
Volumen del suelo	(cm ³)	1905.05	2119.10
Densidad humeda	(gr/cm ³)	0.73	0.63
CONTENIDO DE HUMEDAD SPPEDDY			
Lectura PSI SPPEDDY en 5	(gr)	0.24	0.27
Ecuacion	1	3.10	3.49
Ecuacion	2	5.88	6.27
Contenido de humedad	(%)	5.88	6.27
RESULTADOS			
Densidad seca	(gr/cm ³)	0.69	0.59
Máx. densidad seca del proctor modificado	(gr/cm ³)	2.302	2.302
Grado de compactación	(%)	30.00%	25.81%

EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERA PRODUCIRSE SIN AUTORIZACION ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCION SEA EN SU TOTALIDAD (GUIA PERUANA INDECOPI: GP-004:1993)



ANEXO N° 10

**DISEÑO TEÓRICO DE MEJORAMIENTO DE SUELOS
POR MÉTODO COMPACTION GROUTING**



UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRION
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



Tesis: USO DE RELAVE PARA MEJORAMIENTO DE SUELOS POR EL METODO COMPACTION GROUTING

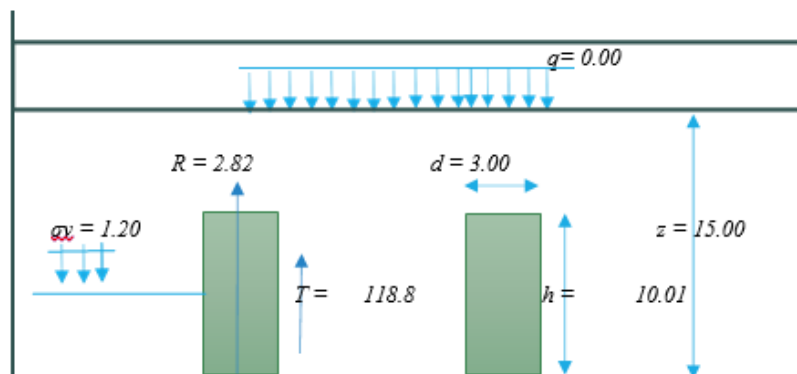
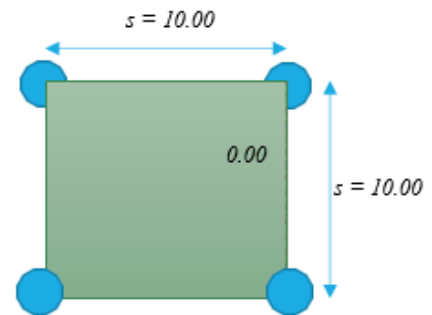
DISEÑO DE MEJORAMIENTO DE SUELO POR EL METODO COMPACTION GROUTING

HOJA DE CALCULO

Datos del suelo

$z = 15.00$ in
 $\gamma = 0.08$ pci
 $q = 0.00$ psi
 $G_c = 25$ %

Densidad	Descripcion.
0 - 15 %	Muy Suelto
15 - 35 %	Suelto
35 - 65 %	Medio
65 - 85 %	Compacto
85 - 100 %	Muy Compacto



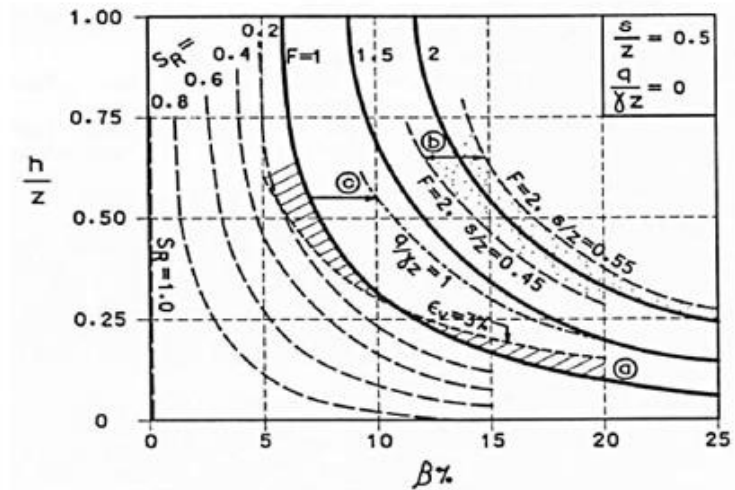
Datos para diseño

- Para determinar el Factor de Seguridad

$$s/z = 0.67$$

➡ Según el abaco $F = 1$

$$\begin{aligned} F &= 1.00 \\ \beta &= 25.00\% \\ s &= 10.00 \text{ in} \\ \theta &= 1.50 \end{aligned}$$



Según el abaco se tiene que:

$$h/z = 0.67$$

- Calculo de la altura del grout

➡ $h = 10.01 \text{ in}$

- Calculo del diametro del grout

Si β es igual a 25% entonces:

$$\beta = \frac{\pi d^2}{s^2} (100\%)$$

➡ $d = 3.00 \text{ in}$

- Cálculo de K y $tg\theta_g$

Tabla 1.1: Valores de diseño sugerido para K y $tg\theta_g$

Suelos	K sobre $tg\theta_g$				
	$\beta = 5\%$	10%	15%	20%	25%
muy sueltos (contractante)	1.00	1.30	1.40	1.50	1.50
	0.60	0.65	0.68	0.70	0.70
suelto (neutral)	1.50	2.00	2.30	2.50	2.60
	0.70	0.73	0.75	0.77	0.78
medio denso (dilatante)	2.50	3.30	3.70	4.00	4.20
	0.80	0.82	0.83	0.84	0.85

De la tabla

$$\begin{aligned} \rightarrow K &= 1.50 \\ tg\theta_g &= 0.70 \end{aligned}$$

- Cálculo del coeficiente de esfuerzo horizontal final

$$K = K_0 + \alpha (K_g - K_0)$$

$$\begin{aligned} \rightarrow K_0 &= 0.50 \\ \rightarrow K_g &= 2.50 \\ \alpha &= 0.5 \end{aligned}$$

- Cálculo de la fuerza vertical

$$F_V \downarrow = (\gamma z + q) s^2$$

$$F_V \downarrow = 120.00 \text{ lb}$$

- Cálculo del esfuerzo vertical

$$\sigma_v = \gamma z$$

$$\sigma_v = 1.20 \text{ lb/in}^2$$

- Cálculo del esfuerzo horizontal

$$\sigma_h = k \sigma_v$$

$$\sigma_h = 1.80 \text{ lb/in}^2$$

- Calculo del promedio del esfuerzo potencial cortante

$$\tau = \sigma_h \tan \phi_g$$

$$\tau = 1.26 \text{ lb/in}^2$$

- Calculo del potencial de la fuerza cortante total debido a T por el area s²

$$T = \tau \pi d h$$

$$T = 118.81 \text{ lb}$$

- Calculo del potencial de fuerza cortante adicional debido a sobrecarga

$$\Delta T = K_o q \tan \phi_g \pi d h$$

$$\Delta T = 0.00 \text{ lb}$$

- Calculo de presión en la parte superior de las columnas de grout

$$\sigma_{vc} = \gamma \xi - h$$

$$\sigma_{vc} = 0.40 \text{ lb/in}^2$$

- Calculo de presión en la parte superior de las columnas de grout

$$\sigma_{vc} \approx \sigma_{hc}$$

$$\sigma_{hc} \approx 0.40 \text{ lb/p}^2$$

- Calculo de la fuerza de apoyo final en la parte superior de las columnas

$$R = \sigma_{vc} \pi d^2 / 4$$

$$R = 2.82 \text{ lb}$$

- Calculo de R de la sobrecarga

$$\Delta R = \theta q \pi d^2 / 4$$

$$\Delta R = 0.00 \text{ lb}$$

- Calculo de factor de seguridad de las columnas de grout, sobrecargas y cualquier carga adicional

$$F = \frac{F_v \uparrow}{F_v \downarrow} = \frac{T + \Delta T + R + \Delta R}{(\gamma z + q) s^2}$$

$$F = 1.01$$

- Relación promedio de reducción de esfuerzo normal

$$S_R = \frac{\sigma_{despues}}{\sigma_{antes}} = \frac{[s^2 \gamma z + q] - (T + \Delta T + R + \Delta R)] / (s^2 - \pi d^2 / 4)}{(\gamma z + q)}$$

$$S_R = -0.01$$

- Calculo de la Relación de desplazamiento horizontal del grout

$$\beta = \frac{\pi d^2}{4s^2} (100\%)$$

$$\beta = 7.07 \%$$

- Calculo de Esfuerzo de volumen del grout

$$\varepsilon_v = \frac{\pi d^2 h}{4s^2 z} (100\%) = \beta \left(\frac{h}{z}\right)$$

$$\varepsilon_v = 4.71 \%$$

Características del Grout de relave inyectado

Prueba		Altura del grout h (pulg)				
		h - C1	h - C2	h - C3	h - C4	h promedio
Diseño 1 T - I	A	8.70	9.20	9.00	9.10	9.00
	B	9.60	9.80	10.10	10.00	9.88
	C	10.10	9.80	9.70	10.10	9.93
Diseño 2 T - HR/MH/S	A	8.50	8.00	8.40	8.50	8.35
	B	9.90	9.60	10.00	10.20	9.93
	C	9.80	10.00	9.90	10.00	9.93

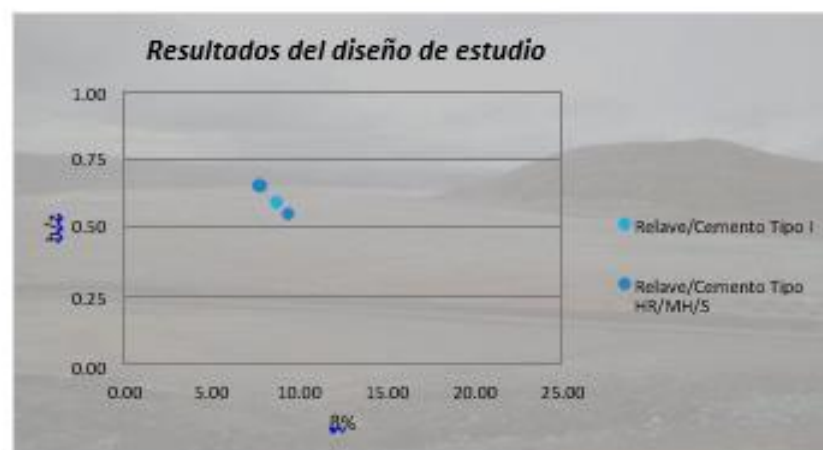
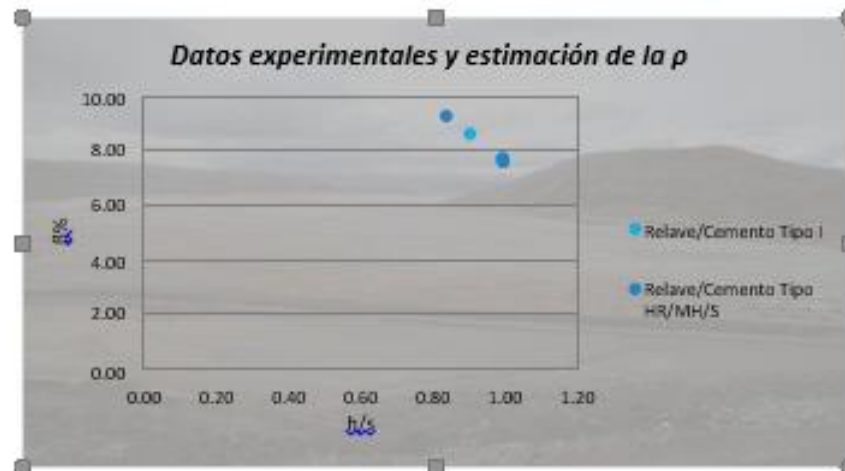
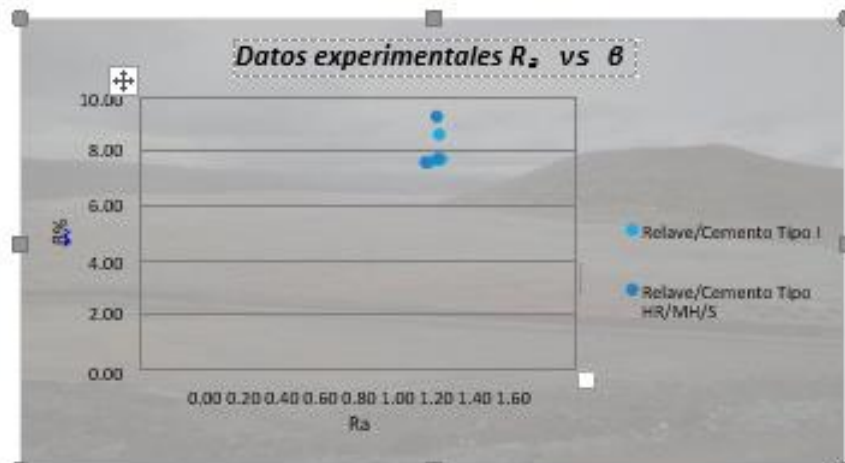
Prueba		Diámetro del grout d (pulg)				
		d - C1	d - C2	d - C3	d - C4	d promedio
Diseño 1 T - I	A	3.40	3.00	3.30	3.60	3.33
	B	3.30	3.10	3.20	3.00	3.15
	C	3.10	3.30	3.10	3.00	3.13
Diseño 2 T - HR/MH/S	A	3.50	3.30	3.60	3.40	3.45
	B	3.20	3.10	3.00	3.20	3.13
	C	3.30	3.00	3.20	3.10	3.15

Resultados del prototipo a escala							
Prueba		o antes (libras)					
		Cel - 1	Cel - 2	Cel - 3	Cel - 4	Cel - 5	σ prom. Antes
Diseño 1 T - I	A	51.94	53.17	52.91	53.55	53.02	52.89
	B	51.11	52.34	52.07	52.67	52.18	52.05
	C	52.82	54.05	53.79	54.38	53.90	53.76
Diseño 2 T - HR/MH/S	A	52.07	53.31	53.04	53.64	53.15	53.01
	B	53.20	54.45	53.97	54.78	54.30	54.10
	C	52.65	53.88	53.61	54.21	53.72	53.59

Prueba		o después (libras)					
		Cel - 1	Cel - 2	Cel - 3	Cel - 4	Cel - 5	σ prom. Después
Diseño 1 T - I	A	57.05	58.28	58.01	58.61	58.12	57.99
	B	56.50	57.73	57.46	58.06	57.57	57.44
	C	56.06	57.29	57.02	57.62	57.13	57.00
Diseño 2 T - HR/MH/S	A	56.72	57.95	57.68	58.28	57.79	57.66
	B	55.77	57.00	56.96	57.33	56.85	56.77
	C	57.62	58.85	58.59	59.18	58.59	58.56

Prueba		Δp antes	Δp después
Diseño 1 T - I	A	53.02	58.12
	B	52.18	57.57
	C	53.90	57.13
Diseño 2 T - HR/MH/S	A	53.15	57.79
	B	54.30	56.85
	C	53.72	58.59

Características del Grout											
Prueba		s	z	h _{prom}	d _{prom}	h/s	h/z	Mediciones			
								β (%)	Ra	ε _v	F
Diseño 1 T-I	A	10.00	15.00	9.00	3.33	0.90	0.60	8.68	1.10	5.21	1.002
	B	10.00	15.00	9.88	3.15	0.99	0.66	7.79	1.10	5.13	1.002
	C	10.00	15.00	9.93	3.13	0.99	0.66	7.67	1.06	5.07	1.002
Diseño 2 T-HR/MH/S	A	10.00	15.00	8.35	3.45	0.84	0.56	9.35	1.09	5.20	1.002
	B	10.00	15.00	9.93	3.13	0.99	0.66	7.67	1.05	5.07	1.001
	C	10.00	15.00	9.93	3.15	0.99	0.66	7.79	1.09	5.16	1.000



**Mejoramiento de la densidad del relleno de la Urbanización
Nuevo Smelter**

<i>Densidad (%)</i>		
<i>Relleno Existente</i>	<i>Diseño experimental en prototipo</i>	
	<i>Relave/Cemento Tipo I</i>	<i>Relave/Cemento Tipo HR/MH/S</i>
35%	68%	65%