

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA GEOLÓGICA**



**TESIS PROFESIONAL**

**COMPORTAMIENTO GEOTÉCNICO DE SUELOS Y ROCAS PARA  
CIMENTACIÓN DE LAS TORRES T-246 a T-260, LÍNEA DE TRANSMISIÓN  
PAQUILLUSI – ONOCCORA  
PROVINCIA SICUANI – DEPARTAMENTO CUSCO.**

**TESIS**

PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO GEÓLOGO**

Presentado por:

**Bach. LUIS EDWIN GONZALES RAFAEL**

Asesor

**Dr. SEGUNDO REINALDO RODRÍGUEZ CRUZADO**

Cajamarca – Perú

2022

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi alma máter la Universidad Nacional de Cajamarca, por consiguiente, a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geológica, y a mis Docentes por brindarme sus conocimientos.

Gracias a mis familiares por su apoyo incondicional desde el primer día y todo el proceso que conllevó a la culminación de mi etapa Universitaria.

Agradezco a mis compañeros de aula y a todos los que coincidimos en las aulas compartiendo costumbres, enseñanzas y momentos muy gratos.

A mi Asesor de Tesis, al Dr. Reinaldo Rodríguez Cruzado, por su acompañamiento y guía ya que sin su apoyo no hubiese sido posible.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermanos por siempre confiar en mí, brindarme su apoyo incondicional y enseñarme valores, a mi hermanita en el cielo que desde donde esté siempre guía mis pasos; aunque el destino no quiso que nos conociéramos, pero siempre miro al cielo y sé que estás ahí mi ángel, dándome las fuerzas para seguir.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>WGS- 84</b>	: Sistema de Coordenadas Geográfica Mundial 1984.
<b>UTM</b>	: Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator.
<b>RMR</b>	: Rock Mass Rating.
<b>GSI</b>	: Geological Strength Index.
<b>RQD</b>	: Rock Quality Designation.
<b>F<sub>s</sub></b>	: Factor de Seguridad.
<b>SUCS</b>	: Sistema unificado de clasificación de suelos.
<b>SPT</b>	: Standard Penetration Test.
<b>C</b>	: Cohesión.
<b>IP</b>	: Índice Plástico.
<b>LL</b>	: Límite Líquido.
<b>LP</b>	: Límite Plástico.
<b>φ</b>	: Ángulo de Fricción Interna.
<b>C<sub>u</sub></b>	: Coeficiente de Uniformidad.
<b>C<sub>c</sub></b>	: Coeficiente de Curvatura.
<b>σ<sub>1</sub> y σ<sub>3</sub></b>	: Esfuerzos principales efectivos mayor y menor en el momento de rotura.
<b>E<sub>m</sub></b>	: Módulo Intacto.
<b>Km</b>	: Kilómetros.
<b>msnm</b>	: metros.
<b>m</b>	: metros.
<b>SW</b>	: Arenas bien gradadas
<b>SM</b>	: Arenas limosas.



## CONTENIDO

	Pág.
AGRADECIMIENTO.....	ii
DEDICATORIA.....	iii
LISTA DE ABREVIATURAS.....	iv
CONTENIDO.....	v
LISTA DE FOTOS.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
RESÚMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO I.....	19
INTRODUCCIÓN.....	19
CAPÍTULO II.....	21
MARCO TEÓRICO.....	21
2.1 Antecedentes Teóricas de la Investigación.....	21
2.2 Bases Teóricas.....	23
2.2.1 Bases para el análisis geotécnico de las cimentaciones.....	23
2.2.2 Clasificación RQD.....	26
2.2.3 Clasificación GSI.....	26
2.2.4 Clasificación RMR 1989 de Bieniawski.....	28
2.2.5 Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa.....	28
2.2.6 Clasificación de suelos.....	31
2.2.6.1 Granulometría.....	31
2.2.6.2 Plasticidad.....	33
2.2.7 Determinación de resistencia del subsuelo.....	34
2.2.8 Zonificación sísmica del área de estudio.....	35
2.3 Definición de términos.....	36
CAPÍTULO III.....	37
MATERIALES Y MÉTODOS.....	37
3.1 Ubicación de la zona de estudio.....	37
3.2 Tipo y método de investigación.....	39
3.2.1 Tipo de investigación.....	39

	Pág.
3.2.2	Método de investigación..... 39
3.3	Accesibilidad. .... 40
3.4	Clima y vegetación..... 40
3.5	Técnicas, instrumentos y equipos de recolección de datos. .... 40
3.5.1	Técnicas empleadas para el acopio de información serán:..... 40
3.5.2	Instrumentos para la recolección de datos..... 41
3.5.3	Equipos para la recolección de datos..... 41
3.6	Análisis e interpretación de datos. .... 42
3.7	Técnicas de procesamiento y análisis de datos. .... 42
3.8	Control de calidad de datos (QA/QC)..... 43
3.9	Geología local. .... 43
3.9.1	Grupo Moho ..... 43
3.9.1.1	Formación Ayavacas..... 44
3.9.2	Formación Vilquechico ..... 45
3.9.3	Formación Viluyo ..... 45
3.9.4	Formación Auzangate ..... 46
3.9.5	Depósitos cuaternarios..... 47
3.10	Geología estructural ..... 48
3.11	Unidades Morfológicas..... 48
3.11.1	Planicies (0° - 8°) ..... 49
3.11.2	Lomadas (8° - 20°)..... 49
3.11.3	Laderas (20° - 50°)..... 50
3.11.4	Escarpas (50° - 90°)..... 50
3.12	Estudio Geotécnico ..... 51
3.12.1	Torre 246 (T-246)..... 52
3.12.2	Torre 247 (T-247)..... 57
3.12.3	Torre 248 (T - 248)..... 62
3.12.4	Torre 250 (T - 250)..... 67
3.12.5	Torre 252 (T - 252)..... 72
3.12.6	Torre 254 (T - 254)..... 77
3.12.7	Torre 255 (T - 255)..... 82

	Pág.
3.12.8 Torre 256N (T – 256N) .....	87
3.12.9 Torre 257N (T – 257N) .....	92
3.12.10 Torre 259 (T - 259) .....	99
3.12.11 Torre 259 A (T – 259 A) .....	105
3.12.12 Torre 260 (T - 260) .....	112
CAPÍTULO IV .....	117
ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	117
4.1 Procesamiento de la información y presentación de resultados .....	117
4.1.1 LoadCap .....	117
4.1.2 Análisis RockLab .....	118
4.2 Clasificación geotécnica de los taludes .....	118
4.2.1 Torre 246 (T - 246) .....	118
4.2.2 Torre 247 (T - 247) .....	119
4.2.3 Torre 248 (T - 248) .....	119
4.2.4 Torre 250 (T - 250) .....	120
4.2.5 Torre 252 (T - 252) .....	120
4.2.6 Torre 254 (T - 254) .....	121
4.2.7 Torre 255 (T - 255) .....	121
4.2.8 Torre 256N (T – 256N) .....	122
4.2.9 Torre 257N (T – 257N) .....	122
4.2.10 Torre 259 (T – 259) .....	123
4.2.11 Torre 259A (T – 259A) .....	123
4.2.12 Torre 260 (T – 260) .....	124
4.3 Contrastación de la hipótesis .....	125
CAPÍTULO V .....	126
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	126
5.1 Conclusiones .....	126
5.2 Recomendaciones .....	127
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	128
ANEXOS .....	130

## LISTA DE FOTOS

	Pág.
Foto 1: Realización de ensayo Standard Penetration Test (SPT). .....	34
Foto 2: Calizas micríticas de color gris oscuro (a), limolitas areniscosas de color rojizo en capas delgadas (b).....	44
Foto 3: Areniscas cuarzosas grises de grano fino en capas de 2 a 5 cm (a), lutitas verde grisáceas de característicamente laminar (b). .....	45
Foto 4: Estratos de rocas areniscas cuarzosas de color rojizo (a), estratos de areniscas cuarzosas de color rojizo altamente competente, grano fino – medio (b). .....	46
Foto 5: Estratos de limolitas amarillentas (a), estratos de areniscas feldespáticas intercalado con limolitas de color amarillento (b).....	47
Foto 6: Depósitos aluviales compuestos por cantos y bloques angulosos a semiredondeados, depositadas en la margen izquierda del río Santa Bárbara (a), terraza aluvial compuesta por cantos y bloques redondeados de areniscas, calizas y algunas rocas ígneas que han sido arrastradas por el agua de la quebrada Jatituyo (b). .....	47
Foto 7: Planicie formada a la margen izquierda del río Santa Bárbara.....	49
Foto 8: Lomada formada al sureste de centro Poblado Tusca. ....	49
Foto 9: Ladera formada al Noreste del centro Poblado Santa Bárbara. ....	50
Foto 10: Escarpas de rocas areniscas al Oeste del Poblado Tucsa.....	50
Foto 11: Ubicación de la T – 246, el círculo rojo viene a ser el centro de la torre y el círculo azul viene a ser la calicata en la pata A. ....	52
Foto 12: Ubicación de la T – 247, el círculo rojo es el centro para la torre y el círculo azul la calicata en la pata C.....	57
Foto 13: Ubicación de la T – 248, el círculo rojo viene a ser el centro de la torre. 62	
Foto 14: Ubicación de la T – 250, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	67
Foto 15: Ubicación de la T – 252, el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre, y el círculo azul es la calicata en la pata “C”. .....	72

	Pág.
Foto 16: Ubicación de la Torre 254 (T - 254), el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	77
Foto 17: Ubicación de la T – 255, el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	82
Foto 18: Ubicación de la T – 256N, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	87
Foto 19: Ubicación de la T – 257N, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	92
Foto 20: Calicata en la T-257N, el círculo rojo viene a ser el sitio de la perforación (a), muestra extraída en la cuchara partida, medida y rotulada (b). ....	93
Foto 21: Ubicación de la T – 259, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	99
Foto 22: Ubicación de la T – 259A, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	105
Foto 23: Ubicación de la T – 260, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre. ....	112

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Criterios para la selección del tipo de cimentación.....	24
Tabla 2: Potencial de cambio volumétrico.....	24
Tabla 3: Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek & Brown, 1997).....	27
Tabla 4: Clasificación RMR, valores de los distintos parámetros.....	29
Tabla 5: Valoración RMR.....	30
Tabla 6: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981).30	
Tabla 7: Coordenadas del área de estudio.....	37
Tabla 8: Accesos hacia la zona de estudio.....	40
Tabla 9: Unidades geomorfológicas.....	48
Tabla 10: Coordenadas UTM del Hito de la T-246 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	52
Tabla 11: Asignación de valores para el macizo rocoso, T - 246.....	53
Tabla 12: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T -246. ....	53
Tabla 13: Valores obtenidos del software LoadCap de la carga última vertical y el factor de seguridad.....	56
Tabla 14: Coordenadas UTM del Hito de la T-247 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	57
Tabla 15: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-247.....	58
Tabla 16: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-247. ....	58
Tabla 17: Valores obtenidos mediante Loadcap de la carga última vertical, y el factor de seguridad.....	61
Tabla 18: Coordenadas UTM del Hito de la T-248 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	62
Tabla 19: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-248.....	63
Tabla 20: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-248. ....	63

	Pág.
Tabla 21: Valores obtenidos mediante Loadcap de la carga última vertical, y el factor de seguridad.....	66
Tabla 22: Coordenadas UTM del Hito de la T-250 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	67
Tabla 23: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 250. ....	68
Tabla 24: Límites de consistencia. ....	69
Tabla 25: Valores obtenidos de la carga última vertical y el factor de seguridad. ....	71
Tabla 26: Coordenadas UTM del Hito de la T-252 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	72
Tabla 27: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 252. ....	73
Tabla 28: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	74
Tabla 29: Valores de Carga última vertical y Factor de seguridad, obtenidos del software Loadcap. ....	76
Tabla 30: Coordenadas UTM del Hito de la T-254 y de la calicata en la pata ‘‘‘C’ con su respectiva profundidad.....	77
Tabla 31: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-254. ....	78
Tabla 32: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-254. ....	78
Tabla 33: Carga última vertical y Factor de seguridad, obtenidos del software Loadcap. ....	81
Tabla 34: Coordenadas UTM del Hito de la T-255 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	82
Tabla 35: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 255. ....	83

	Pág.
Tabla 36: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	84
Tabla 37: Carga última vertical y Factor de seguridad. ....	86
Tabla 38: Coordenadas UTM del Hito de la T-256N y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	87
Tabla 39: Asignación de valores para el macizo rocoso, T – 256N.....	88
Tabla 40: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-256N...	88
Tabla 41: Valores obtenidos de LoadCap de carga última vertical y factor de seguridad.....	91
Tabla 42: Coordenadas UTM del Hito de la T-257N y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	92
Tabla 43: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 3.00m a 3.50m en la calicata para la T – 257N.....	93
Tabla 44: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	94
Tabla 45: Límites de consistencia. ....	94
Tabla 46: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 4.00m a 4.50m en la calicata para la T – 257N.....	96
Tabla 47: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	97
Tabla 48: Carga última vertical y Factor de seguridad. ....	98
Tabla 49: Coordenadas UTM del Hito de la T-259 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	99
Tabla 50: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 2.00m a 2.23m en la calicata para la T - 259. ....	100
Tabla 51: Límites de consistencia. ....	101



	Pág.
Tabla 52: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	101
Tabla 53: Valores obtenidos de LoadCap de carga última vertical y factores de seguridad.....	104
Tabla 54: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 1.00m a 1.50m en la calicata para la T - 259A.....	106
Tabla 55: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%, además del porcentaje de gravas arenas y finos. ....	106
Tabla 56: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 1.50m a 2.00m en la calicata para la T.259A.....	108
Tabla 57: Límites de consistencia. ....	108
Tabla 58: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%, además de los coeficientes de uniformidad y curvatura, y los porcentajes de gravas arenas y finos.....	109
Tabla 59: Valores obtenidos de LoadCap para la carga última vertical y factor de seguridad.....	111
Tabla 60: Coordenadas UTM del Hito de la T-260 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.....	112
Tabla 61: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-248.....	113
Tabla 62: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-248. ...	113
Tabla 63: Valores obtenidos de LoadCap para la carga última vertical y factor de seguridad.....	116

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Relación entre la frecuencia de discontinuidades y el índice RQD. ...	26
Figura 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). .....	32
Figura 3: Granulometría de partículas .....	33
Figura 4: Gráfico de plasticidad para la clasificación en laboratorio de suelos de grano fino. ....	33
Figura 5: Zonificación sísmica del área de estudio.....	35
Figura 6: Ubicación de la zona de estudio.....	38
Figura 7: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T -246.....	54
Figura 8: Gráfica de esfuerzos para la T - 246. ....	55
Figura 9: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.....	56
Figura 10: Asignación de GSI par a el macizo rocoso de la T -247.....	59
Figura 11: Gráfica de esfuerzos para la T - 247. ....	60
Figura 12: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.....	61
Figura 13: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-248.....	64
Figura 14: Gráfica de esfuerzos para la T - 248. ....	65
Figura 15: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.....	66
Figura 16: Curva granulométrica. ....	68
Figura 17: Ábaco para la obtención de Límite Líquido. ....	69
Figura 18: Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) .....	70
Figura 19: Diseño de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ...	71
Figura 20: Curva granulométrica para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 252. ....	73
Figura 21: Diseño de cimentación zapata con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.....	75
Figura 22: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-254.....	79
Figura 23: Gráfica de esfuerzos para la T - 254. ....	80

	Pág.
Figura 24: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ....	81
Figura 25: Curva granulométrica para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 255. ....	83
Figura 26: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al material encontrado. ..	85
Figura 27: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-256N. ....	89
Figura 28: Gráfica de esfuerzos para la T – 256N. ....	90
Figura 29: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al material encontrado. ..	91
Figura 30: Curva granulométrica para una profundidad de 3.00m a 3.50m, en la calicata para la T – 257N. ....	94
Figura 31: Ábaco para la obtención de Límite Líquido. ....	95
Figura 32: Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S).....	95
Figura 33: Curva granulométrica para una profundidad de 4.00m a 4.50m, en la calicata para la T – 257N. ....	96
Figura 34: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ....	98
Figura 35: Curva granulométrica para una profundidad de 2.00m a 2.23m, en la calicata para la T - 259. ....	100
Figura 36: Ábaco para determinar el límite líquido mediante el número de golpes y el contenido de humedad. ....	101
Figura 37: Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.) .....	102
Figura 38: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ....	103
Figura 39: Ábaco para determinar el límite líquido mediante el número de golpes y el contenido de humedad. ....	109
Figura 40: Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S).....	110
Figura 41: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ....	111

	Pág.
Figura 42: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-260.....	114
Figura 43: Gráfica de esfuerzos para la T - 260.....	115
Figura 44: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado. ....	116

## RESÚMEN

La Tesis se realizó en el Departamento de Cusco, provincia de Canchis, Distrito Sicuani, Sector Santa Bárbara entre las torres T-246 hasta la T-260 de la Línea de Transmisión Paquillusi - Onocora (San Gabán III). La zona de investigación está constituida por rocas ígneas y sedimentarias; así como la presencia de depósitos cuaternarios aluviales y Coluvio-aluviales. Los cuales han sufrido fuertes procesos de erosión física y química, produciendo alteraciones en el macizo rocoso, generando inestabilidad en los sitios de torre (T-246 a T-260). Durante gran parte del año en la zona se presentan constantes precipitaciones sólidas, las mismas que al descongelarse se infiltran, generando cambios en las propiedades fisicoquímicas de las rocas y suelos, la disminución de los esfuerzos de resistencia como la cohesión, fricción interna y fuerzas resistentes, causa fundamental de la inestabilidad en los Sitios de Torre. Se realizó el cartografiado litomorfoestructural a lo largo de la Línea de Transmisión, con fines de investigación geomecánica y geotécnica, identificando zonas críticas en rocas y suelos. Para las zonas conformadas por rocas se caracterizó geomecánicamente según el método Rock Mass Rating (RMR – Bieniawski 1989), Rock Quality Designation (RQD – Deere 1967) y Geolical Srength Index (GSI – Hoek 1994), y para suelos se utilizó el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). De esta manera se genera la Base de Datos para la aplicación de los programas informáticos geotécnicos LoadCap, Rock Lab, con los resultados se determinó los Factores de Seguridad y Carga Última para su clasificación de acuerdo a la peligrosidad de cada sitio de torre.

**Palabras Clave:** Macizo rocoso, sitio de torre, infiltración, inestabilidad, factor de seguridad, carga última.

## ABSTRACT

The thesis was carried out in the Department of Cusco, Canchis province, Sicuani District, Santa Bárbara Sector between towers T-246 to T-260 of the Paquillusi - Onoccora Transmission Line (San Gabán III). The research area is made up of igneous and sedimentary rocks; as well as the presence of alluvial and Colluvium-alluvial quaternary deposits. Which have suffered strong physical and chemical erosion processes, producing alterations in the rocky massif, generating instability in the tower sites. During much of the year in the area there are constant solid precipitations, which infiltrate when thawing, generating changes in the physicochemical properties of the rocks and soils, the reduction of resistance efforts such as cohesion, internal friction and resistant forces., fundamental cause of the instability in the Tower Sites (T-246 to T-260). Lithomorphostructural mapping was carried out along the Transmission Line, for geomechanical and geotechnical research purposes, identifying critical areas in rocks and soils. For the zones formed by rocks, it was characterized geomechanically according to the Rock Mass Rating method (RMR - Bieniawski 1989), Rock Quality Designation (RQD - Deere 1967) and Geolical Strength Index (GSI - Hoek 1994), and for soils the Unified System was used. of Soil Classification (SUCS). In this way, the Database is generated for the application of the geotechnical computer programs LoadCap, Rock Lab, with the results, the Safety Factors and Ultimate Load were determined for their classification according to the danger of each tower site.

Keywords: Rocky massif, tower site, infiltration, instability, safety factor, ultimate load.

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

La Línea de Transmisión Paquillusi -Onoccora (San Gabán III) tiene una longitud de 140km, de los cuales 87 km están ubicado en el Departamento del Cusco y 53 Km, en el Departamento de Puno donde se cimentarán 250 torres. Considerando los problemas de los tipos de rocas y suelos donde se cimentarán dichas torres, los cuales están constituidos por depósitos cuaternarios aluviales y secuencias de calizas y areniscas correspondientes al Grupo Moho y las Formaciones Huancané, Vilquechico y Auzangate; todas ellas presentan moderado fracturamiento y meteorización. En la investigación fueron seleccionados 12 lugares de cimentación para las torres desde la T-246 hasta T-260, verificándose que los depósitos cuaternarios y las rocas deben ser analizados geomecánicamente para determinar el comportamiento geotécnico frente a las condiciones de las cargas de cimentación constituidas por asentamientos principalmente verticales; las fuertes precipitaciones sólidas, las cuales ingresan en las fracturas de las rocas disminuyendo la resistencia. La precipitación solida al depositarse en la superficie cuaternaria se descongela y se infiltra por los poros alterando las propiedades geomecánicas.

El comportamiento geomecánico de los suelos y rocas en los sitios de torre es de vital importancia para el diseño de la cimentación; por ello fue necesario realizar una evaluación geotécnica, iniciando con la observación y descripción de cada uno de los sitios de torre más propensos a sufrir inestabilidad, hasta el análisis geotécnico los cuales permitirán calcular los factores de seguridad. Para determinar el comportamiento de los sitios de torre surge la siguiente pregunta: ¿Cuál es el comportamiento geotécnico de los suelos, rocas del Grupo Moho y las formaciones Huancané, Vilquechico y Auzangate, para la cimentación de las torres T-246 a T-260 de la Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III)? El desarrollo del presente proyecto nos permitirá tener una repuesta anticipada, considerando las

características litológicas, morfológicas, estructurales, las cuales están directamente relacionadas al comportamiento geomecánico de los suelos y rocas. Con esta investigación se logró identificar y evaluar los sitios de torre críticos, conociendo las características geotécnicas, siendo la investigación de tipo Descriptiva – Explicativa – Transversal. Por lo que el objetivo principal propuesto para la presente investigación es Analizar el comportamiento geotécnico de suelos y rocas del Grupo Moho y las Formaciones Huancané, Vilquechico y Auzangate, para la cimentación de las torres T-246 a T-260, en la Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), se cumplió los objetivos específicos, realizar el cartografiado de las unidades litológicas, estructurales, identificar los sitios de torre críticos, definir los parámetros geomecánicos de los suelos y rocas, calcular los Factores de Seguridad de los sitios de torre. El proyecto de investigación cuenta con los siguientes capítulos: En el primer capítulo se muestra la introducción al tema a investigar. El segundo capítulo los antecedentes a nivel Internacional y Nacional del tema a investigar. El tercer capítulo muestra el método de trabajo, siguiendo un cronograma de trabajo en gabinete y campo; en esta fase se lleva a cabo la recopilación de datos que servirán como fundamento de la investigación. En el cuarto capítulo se expone el análisis y discusión de resultados. En el capítulo cinco se presentan las conclusiones y resultados.



## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 Antecedentes Teóricas de la Investigación.**

Energía de Bogotá (2012), realizó el En el proyecto UPME 05 – 2012, se construyó la segunda línea de circuito sencillo a 220 KV desde la Subestación Cartagena hasta la Subestación Bolívar con una longitud aproximada de 20 km. Se prevee un tramo de línea en cable subterráneo de aproximadamente 4 km y un tramo aéreo de alrededor 16 km.

La Consultora Colombiana (2011), por encargo de ISA TRANSMANTARO (Proyectos de Infraestructura del Perú S.A.C), realizó el diseño de la línea de transmisión Talara – Piura a 220 KV, dentro del cual se desarrolló el informe de geotecnia PE-TAPI-DILT-I00-0003, La Línea de Transmisión Talara – Piura tiene una longitud aproximada de 103.6 km, iniciando en la Subestación Talara, ubicada cerca de la población del mismo nombre. La Línea se dirige hacia el sur, por un corredor ubicado al occidente del país en la zona costera, hasta el sitio de la Subestación Piura. La Línea incluye un total de 237 torres; cabe aclarar que el presente informe incluirá solo 236 torres, en las cuales se encuentra definido totalmente el estudio de mecánica de suelos y rocas, a la fecha de elaboración del presente informe.

La Consultora Colombiana (2012), realizó el Diseño y control de obra de la línea de transmisión eléctrica Trujillo – Chiclayo (La Niña) a 500 KV, dentro del cual se desarrolló el Estudio de Geología de Detalle y Geotecnia PE-TRCH-DILT-I007. La Línea de Transmisión Trujillo - Chiclayo (La Niña) tiene una longitud aproximada de

327 km, de los cuales aproximadamente 134 km pertenecen al Departamento de La Libertad, cerca de 10 km pertenecen al Departamento de Cajamarca, 166 km pertenecen al Departamento de Lambayeque y los 17 km restantes pertenecen al Departamento de Piura, al costado occidental de la Cordillera de los Andes en Perú. La Línea inicia en la subestación Trujillo, cerca de la población que lleva el mismo nombre, y se dirige al norte hasta el sitio proyectado para la Subestación La Niña. La Línea incluye un total de 657 torres, divididas en tres tramos: el Tramo 1 comprende la Torre T-01 hasta la Torre T-210, el Tramo 2 va desde la Torre T-211 hasta la Torre T-443, y el Tramo 3 va desde la Torre T-444 a la Torre T-660; cabe aclarar que el presente informe incluirá solo 649 torres en las cuales se encuentra definidas totalmente en el estudio geotécnico, a la fecha de elaboración de este documento (8 sitios de Torre sin permisos de acceso a predios: T-62, T-63, T-316N a T-321).

La Consultora Colombiana (2014), por encargo de ISA TRANSMANTARO (Proyectos de Infraestructura del Perú S.A.C), realizó la Ingeniería de detalle para la repotenciación de la Línea de Transmisión 220KV Talara – Piura Oeste (I-2248) y diseño de la conexión a la nueva subestación Pariñas, dentro del cual se desarrolló el informe de geotecnia – cimentaciones PE-TAPI-DILT-I11. El presente Informe de diseño de cimentaciones hace parte del alcance de los trabajos a realizar por Consultoría Colombiana S.A. Sucursal Perú en el marco de la ingeniería de detalle para la repotenciación de la línea de transmisión 220KV Talara – Piura Oeste (L-2248) y diseño de la conexión a la nueva Subestación Pariñas.

La Consultora Colombiana (2015), por encargo de ISA TRANSMANTARO (Proyectos de Infraestructura del Perú S.A.C), Diseño de la Línea de Transmisión 220KV Friaspata - Mollepata y tramo de conexión a la S.E Orcotuna, dentro del cual se desarrolló volumen 1 Estudio de Geología y Geotecnia. Línea Friaspata – Mollepata. El presente Informe Final del Estudio de Suelos y Geología de Detalle, forma parte de los trabajos realizados por CONSULTORÍA COLOMBIANA S.A para el diseño de la línea de transmisión a 220 KV desde a subestación Friaspata en el

Departamento de Huancavelica hasta la subestación Mollepata en el departamento de Ayacucho.

El capítulo 3 contiene la descripción de las características geológicas del trazado de la Línea, haciendo énfasis en el aspecto de litología, geomorfología, drenajes y alteración, de acuerdo con la interpretación realizada sobre el cartografiado geológico, imágenes de satélite, información del estudio de suelos y adicionalmente la revisión en campo de la geología de la zona. El capítulo 4 del presente documento, corresponde al estudio geotécnico y diseño de cimentaciones para la Línea de transmisión; en donde se presentan las metodologías empleadas para el cálculo de cimentaciones, la evaluación de tipos factibles de cimentación y la determinación de obras de protección geotécnica para sitios de torre que así lo requieran. El capítulo final presenta las conclusiones y recomendaciones del presente proyecto, con el fin de que sean tenidas en cuenta en la etapa de construcción.

## **2.2 Bases Teóricas.**

### **2.2.1 Bases para el análisis geotécnico de las cimentaciones.**

Según CONCOL (2012), señala que: el análisis geotécnico destinado al diseño de la cimentación de cada estructura se ha dirigido a la determinación de la capacidad portante y la capacidad a la tensión (o arrancamiento) para cada una de las alternativas de cimentación definidas, de acuerdo con la aplicabilidad en cada caso. Como soluciones de cimentación se consideraron zapatas convencionales en suelo para las torres y el empotramiento de un porcentaje de los postes en el caso de los pórticos. La definición del tipo de cimentación está en general establecida con base en los criterios de ISA-PDI, los cuales son presentados en la Tabla 1 y en la Tabla 2; estos criterios están basados en el valor del potencial de hidrógeno (pH; como índice de corrosividad), la resistividad, el potencial de expansión, la condición de sumergencia, y la capacidad portante admisible; estos parámetros, conjuntamente

con factores ambientales y económicos fueron tenidos en cuenta en la selección final del tipo de cimentación.

Tabla 1: Criterios para la selección del tipo de cimentación.

Criterio de Selección	Parrilla Liviana	Parrilla Pesada	Zapatatas Aisladas	Cimentaciones Especiales
Corrosividad según el pH	pH mayor o igual a 5.0	pH mayor o igual a 5.0	No restricción	No restricción
Corrosividad según la Resistividad	Resistividad mayor a 5000 $\Omega$ - cm	Resistividad mayor a 5000 $\Omega$ - cm	No restricción	No restricción
Potencial de Expansión	Potencial volumétrico medio	Potencial volumétrico medio	Potencial volumétrico hasta alto	No restricción
Sumergencia	Suelo en condición seco.	Suelo en condición seca.	No restricción	No restricción
Capacidad portante	mayor o igual a 20 ton/m <sup>2</sup>	mayor o igual a 10 ton/m <sup>2</sup>	mayor o igual a 5 ton/m <sup>2</sup>	menor a 5 ton/m <sup>2</sup>

Fuente: Concol, (2014).

Tabla 2: Potencial de cambio volumétrico.

Potencial de cambio	Índice de Plasticidad	Límite Líquido
Bajo	< 18	20-35
Medio	15-28	35-50
Alto	25-41	50-70
Muy Alto	> 35	> 70

Fuente: Concol, (2014).

Para CONCOL (2014), Los criterios tenidos en cuenta para adoptar uno de estos cuatro (4) tipos de solución, de acuerdo con las condiciones geotécnicas presentadas en los siguientes capítulos, son:

**Pilastras en roca fracturada**, ( $0 < \text{profundidad roca} = 0.80 \text{ m}$ ): para casos en los cuales la roca se encuentra entre 0 y 0.80 m de profundidad. La roca está muy fracturada o fracturada cerca de la superficie, de tal manera que es excavable en su mayoría con medios mecánicos hasta penetraciones aproximadas entre 0.80 y 1.40 m. Para los casos de pilastras, puede ser necesario el uso de explosivos para la fragmentación y remoción de grandes bloques que aparezcan en la excavación.

1. **Micropilotes y Zapata Superficial (Dado)**: para casos en los cuales la roca se encuentra entre 0 y 0.80 m de profundidad. La roca cerca de la superficie es dura y con bajo grado de fracturación, de tal manera que la excavación con medios mecánicos resulta difícil; el RQD del macizo rocoso es, en general, mayor del 80 %.

2. **Pilastras en roca fracturada** ( $0.80 < \text{profundidad roca} = 2.00 \text{ m}$ ): Para casos en los cuales la superficie de la roca se encuentra entre 0.80 m y 2.0 m (existe una capa de suelo de ese espesor). La roca está muy fracturada o fracturada, de tal forma que es excavable en su mayoría con medios mecánicos.

3. **Zapatas Convencionales**: para casos en los cuales la superficie de la roca se encuentra a más de 2.0 m de profundidad y se cumplan los criterios para el uso de estas cimentaciones presentados en la Tabla 1 y en la Tabla 2.

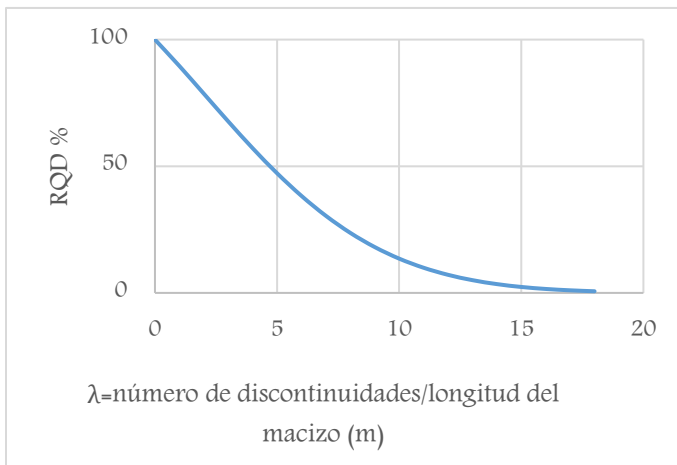
**Parrillas**: se plantea el uso de parrillas para los casos en los cuales la roca este a más de 2.0 m de profundidad y se cumplan los criterios presentados en la Tabla 1 y en la Tabla 2. Dado que la Línea Independencia - Ica está localizada cerca de la costa, será necesario tener en cuenta la alta salinidad del medio ambiente, para proveer una protección adecuada en el contacto de los elementos metálicos de la torre con el terreno natural (sitio de acumulación de sales y posible corrosión).

En los casos en los cuales se encontró el macizo rocoso cerca de la superficie del terreno (entre 0 y 0.80 m de profundidad), la exploración geotécnica no pudo penetrar apreciablemente en el macizo. En estos casos se detectó que el macizo

rocoso estaba muy fracturado a fracturado (RQD en general < 60 %), y por esta razón se planteó como solución primaria la pilastra. Para esta situación, se plantea como solución alterna la opción de micropilotes con zapata superficial (dado), para los casos en los cuales aparezca roca dura y poco fracturada, de difícil excavación mecánica, cerca de la superficie.

### 2.2.2 Clasificación RQD.

En el trabajo de campo se realizó la estimación del RQD a partir de la frecuencia de discontinuidades  $\lambda$  que se calcula contando el número total de discontinuidades que intercepta una longitud L, indicándose que son las condiciones de blocosidad, como se muestra en la Figura 1. (Deere, 1967).



$$\lambda = \frac{\text{número de discontinuidades}}{L(m)}$$

Y luego aplicamos la ecuación:







$$RQD = 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Figura 1. Relación entre la frecuencia de discontinuidades y el índice RQD.

### 2.2.3 Clasificación GSI.

Para González de Vallejo, (2004), la clasificación GSI utiliza la siguiente tabla donde se puede estimar el valor GSI de acuerdo a las observaciones hechas en campo. Gavilanes, (2004) recomienda trabajar con un rango de GSI, pero para los cálculos en este proyecto se da un valor central aproximado.

Tabla 3: Estimación del índice GSI en base a descripciones geológicas (Hoek & Brown, 1997).

<b>ÍNDICE DE RESISTENCIA GEOLÓGICA (GSI) PARA ROCAS FRACTURADAS</b> (Hoek & Marinos, 2000)		<b>CONDICIÓN DE LAS DISCONTINUIDADES</b>															
<p>Estimar el valor promedio del GSI para la litología, estructura y condiciones superficiales de las discontinuidades. No intentar ser muy preciso. Citar un rango de 33 a 37 es mas realístico que un GSI de 35. Note que las tablas no se aplican a las fracturas estructuralmente controladas. Cuando los planos estructurales débiles están en una orientación desfavorable con respecto de la cara excavada, estas dominarán el comportamiento de todo el macizo rocoso. La resistencia de cizalla de las superficies de la rocas son propensas a deteriorarse como el resultado de cambios en el contenido de humedad, se reducirá si hay presencia de agua. Cuando se trabaja con rocas en las categorías de débil a muy débil, se debería hacer un desplazamiento hacia la derecha. La presión del agua es tratada con análisis de esfuerzos efectivos.</p>		<b>MUY BUENA</b> Superficies muy rugosas, inalteradas y frescas.	<b>BUENA</b> Superficies rugosas, ligeramente intemperizadas, con pátinas de óxidos de Hierro.	<b>REGULAR</b> Superficies lisas, moderadamente intemperizadas y/o alteradas.	<b>MALA</b> Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimientos o rellenos compactos o fragmentos angulares.	<b>MUYMALA</b> Superficies lisas y cizalladas, muy intemperizadas con revestimiento o rellenos arcillosos blandos.											
		<b>DECRECE LAS CONDICIONES SUPERFICIALES</b> →															
<b>ESTRUCTURA</b>		<b>DISMINUYE LA TRABAZÓN DE LAS PIEZAS DE ROCA</b> ↓															
	<b>INTACTA O MASIVA</b> Especimen de roca intacta o roca in-situ masiva con pocas discontinuidades ampliamente espaciadas.						90	80	70	60	50	40	30	20	10	N/A	N/A
	<b>BLOCOSA</b> Macizo rocoso inalterado bien trabado, definido por bloques cúbicos formados por 3 familias de discontinuidades.						80	70	60	50	40	30	20	10	N/A	N/A	
	<b>MUY BLOCOSA</b> Macizo rocoso trabado, parcialmente perturbado, definido por bloques angulares de varias caras formado por 4 o más familias de discontinuidades.						70	60	50	40	30	20	10	N/A	N/A		
	<b>BLOCOSA/PERTURBADA/DEFORMADA</b> Plegada, bloques angulares de mucha familias de discontinuidades, persistencia de los planos de estratificación o esquistocidad.						60	50	40	30	20	10	N/A	N/A			
	<b>DESINTEGRADA</b> Pobremente trabada, macizo rocoso muy fracturado con mezcla de fragmentos de roca angulares y redondeados.						50	40	30	20	10	N/A	N/A				
	<b>LAMINADA/ CIZALLADA</b> Ausencia de blocosidad debido a espaciados cercanos de débil esquistocidad o planos de cizalla.						40	30	20	10	N/A	N/A					

Fuente: González de Vallejo, (2004)

#### **2.2.4 Clasificación RMR 1989 de Bieniawski.**

Desarrollada por Bieniawski en 1973, mejorado en 1979 y 1989, es un sistema de clasificación que relaciona el índice de calidad con parámetros geomecánicos de las rocas. Los 5 parámetros utilizados para clasificar un macizo rocoso con el sistema RMR de Bieniawski 1989, los cuales se encuentran en la Tabla N° 4 y son:

- ❖ **Resistencia a la compresión uniaxial.**  
Determinada en laboratorio y ensayos de carga puntual en terreno.
- ❖ **Valor del RQD.**  
Puntaje de 20 si este índice es mayor a 90% hasta 3 si es menor a 25%.
- ❖ **Espaciamiento de discontinuidades.**  
Distancia perpendicular entre discontinuidades similares.
- ❖ **Condición de discontinuidades.**  
Características de las discontinuidades asociadas a Longitud, Apertura, Rugosidad, Relleno y Alteración.
- ❖ **Aguas subterráneas.**  
Flujo o presión de agua en discontinuidades

De acuerdo a los 5 parámetros anteriormente desarrollados obtenemos la valoración del tipo de roca el cual está definido en 5 clases, valoración de los intervalos del RMR y los parámetros geomecánicos de cohesión y ángulo de fricción, como se muestra en la Tabla N° 5.

#### **2.2.5 Resistencia Uniaxial de la Matriz Rocosa.**

Según González de Vallejo (2004), se calcula contando el número de golpes propinados con picota de geólogo y compararlo según la tabla 6.



Tabla 4: Clasificación RMR, valores de los distintos parámetros.

1	Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)	Ensayo puntual	> 10	10-4	4-2	2-1	Compresión simple (Mpa)		
		Compresión simple	> 250	250-100	100-50	50-25	25-5	5-1	< 1
	Puntuación		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90-100	75-90	50-75	25-50	< 25		
	Puntuación		20	17	13	6	3		
3	Separación entre diaclasas (m)		> 2	0.6-2	0.2-0.6	0.06-0.2	< 0.06		
	Puntuación		20	15	10	8	5		
4	Estado de las discontinuidades	Longitud de la discontinuidad (m)	< 1	1-3	3-10	10-20	> 20		
		Puntuación	6	4	2	1	0		
		Abertura (mm)	Nada	< 0.1	0.1-1.0	1-5	> 5		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Rugosidad	Muy rugosa	Rugosa	Ligeramente rugosa	Ondulada	suave		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
		Relleno	Ninguno	Relleno duro < 5 mm	Relleno duro > 5 mm	Relleno blando < 5 mm	Relleno blando > 5 mm		
		Puntuación	6	4	2	2	0		
		Alteración	Inalterada	Ligeramente alterada	Moderadamente alterada	Muy alterada	Descompuesta		
		Puntuación	6	5	3	1	0		
5	Agua freática	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 l/min	10-25 l/min	25-125 l/min	> 125 l/min		
		Relación presión de agua/Tensión principal mayor	0	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.5	> 0.5		
		Estado general	Seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Agua fluyendo		
	Puntuación		15	10	7	4	0		

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2004). Pág. 232.

Tabla 5: Valoración RMR.

CLASE	CALIDAD	VALORACIÓN RMR	COHESÓN	ÁNGULO DE ROZAMIENTO
I	Muy buena	100 - 81	>4 Kg/cm <sup>2</sup>	>45°
II	Buena	80 – 61	3 - 4 Kg/cm <sup>2</sup>	35° - 45°
III	Media	60 – 41	2 - 3 Kg/cm <sup>2</sup>	25° - 35°
IV	Mala	40 – 21	1 – 2 Kg/cm <sup>2</sup>	15° - 25°
V	Muy Mala	<20	<1 Kg/cm <sup>2</sup>	<15°

Fuente: Tomado de González de Vallejo, (2004). Pág. 233.

Tabla 6: Estimación aproximada y clasificación de la resistencia a compresión simple de suelos y rocas a partir de índices de campo (ISRM, 1981).

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación al rango de resistencia a compresión simple (MPa)
<b>S<sub>1</sub></b>	Arcilla muy blanda	El puño penetra fácilmente varios cm.	< 0.025
<b>S<sub>2</sub></b>	Arcilla débil	El dedo penetra fácilmente varios cm.	0.025 – 0.05
<b>S<sub>3</sub></b>	Arcilla firme	Se necesita una pequeña presión para hincar el dedo	0.05 – 0.1
<b>S<sub>4</sub></b>	Arcilla rígida	Se necesita una fuerte presión para hincar el dedo	0.1 – 0.25
<b>S<sub>5</sub></b>	Arcilla muy rígida	Con cierta presión puede marcarse con la uña	0.25 – 0.5
<b>S<sub>6</sub></b>	Arcilla dura	Se marca con dificultad al presionar con la uña	> 0.5
<b>R<sub>0</sub></b>	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña	0.25 – 1.0
<b>R<sub>1</sub></b>	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo. Con una navaja se falla fácilmente.	1.0 – 5.0
<b>R<sub>2</sub></b>	Roca blanda	Se falla con dificultad con una navaja. Al golpear con la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5.0 - 25
<b>R<sub>3</sub></b>	Roca moderadamente dura	No puede fallarse con la navaja. Puede fracturarse con un golpe fuerte con el martillo	25 - 50
<b>R<sub>4</sub></b>	Roca dura	Se requiere más de un golpe con el martillo para fracturarla	50 - 100
<b>R<sub>5</sub></b>	Roca muy dura	Se requiere muchos golpes con el martillo para fracturarla.	100 – 250
<b>R<sub>6</sub></b>	Roca extremadamente dura	Al golpearla con el martillo sólo saltan esquirlas.	>250

Fuente: Extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 131.

## **2.2.6 Clasificación de suelos.**

Según Lambe & Whitman (1984), los suelos se clasifican de acuerdo a su granulometría y plasticidad en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) propuesto por Casagrande en 1942, usándose actualmente en problemas de geotecnia. La clasificación SUCS separa al suelo en dos grandes categorías, suelos granulares y suelos finos que dependen del porcentaje de finos que pasa las distintas mallas. Si pasa más del 50% la malla 200 se considera material fino; y si se retiene encima de la malla 200 se considera material grueso, como se muestra en la Figura N° 2.

### **2.2.6.1 Granulometría**

Suelo bien graduado: Existe una graduación continua de tamaños.

Suelo mal graduado: Existe una graduación uniforme de tamaños.

Suelo con graduación discontinua: Existe una graduación discontinua de tamaños.

# Sistema USCS de Clasificación de Suelos

IDENTIFICACION EN EL CAMPO		SIMBOLO DEL GRUPO	NOMBRES TIPICOS	CRITERIOS DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO		
SUELOS DE GRANO GRUESO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL ES RETENIDO POR EL TAMIZ # 200	GRAVAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA ES RETENIDA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GW</b>	GRAVA BIEN GRADUADA, MEZCLA DE GRAVA Y ARENA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 4 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS GW	
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>GP</b>	GRAVAS MAL GRADUADAS, MEZCLAS DE ARENA Y GRAVA CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
	GRAVAS CON FINOS (CON POCOS FINOS O SIN ELLOS)	FRACCION FINA NO PLASTICA (PARA LA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML, MAS ABAJO)	<b>GM</b>	GRAVAS LIMOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y LIMO	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON $I_p$ ENTRE 4 Y 7 ; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES	
		FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICARLOS VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>GC</b>	GRAVAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE GRAVA, ARENA Y ARCILLA		
	ARENAS - MAS DE LA MITAD DE LA FRACCION GRUESA PASA POR EL TAMIZ # 4	AMPLIA GAMA DE TAMAÑOS Y CANTIDADES APRECIABLES DE TODOS LOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SW</b>	ARENAS BIEN GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$ MAYOR DE 6 ; $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ ENTRE 1 Y 3 NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS GRANULOMETRICOS DE LAS SW	
		PREDOMINIO DE UN TAMAÑO O UN TIPO DE TAMAÑO, CON AUSENCIA DE ALGUNOS TAMAÑOS INTERMEDIOS	<b>SP</b>	ARENAS MAL GRADUADAS, ARENAS CON GRAVA, CON POCOS FINOS O SIN ELLOS		
ARENAS CON FINO (CANTIDAD APRECIABLE DE FINOS)	FINOS NO PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO ML MAS ABAJO)	<b>SM</b>	ARENAS LIMOSAS, MEZCLAS DE ARENA Y LIMO MAL GRADUADAS	LIMITES DE ATTERBERG POR DEBAJO DE LA LINEA "A" O $I_p$ MENOR QUE 4 POR ENCIMA DE LA LINEA "A", CON $I_p$ ENTRE 4 Y 7 ; CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL USO DE SIMBOLOS DOBLES		
	FINOS PLASTICOS (PARA IDENTIFICACION VER EL GRUPO CL MAS ABAJO)	<b>SC</b>	ARENAS ARCILLOSAS, MEZCLAS MAL GRADUADAS DE ARENAS O ARCILLAS			
METODOS DE IDENTIFICACION PARA LA FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 40						
SUELOS DE GRANO FINO - MAS DE LA MITAD DEL MATERIAL PASA POR EL TAMIZ # 200	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MENOR DE 50	RESISTENCIA EN ESTADO SECO (A LA DISGREGACION)	DILATANCIA (REACCION A LA AGITACION)	TENACIDAD (CONSISTENCIA CERCA DEL LIMITE PLASTICO)	<b>ML</b> LIMOS INORGANICOS Y ARENAS MUY FINAS, POLVO DE ROCA, ARENAS FINAS LIMOSAS O ARCILLAS CON LIGERA PLASTICIDAD	
		NULA A LIGERA	RAPIDA A LENTA	NULA		
		MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	MEDIA		
	LIMOS Y ARCILLAS CON LIMITE LIQUIDO MAYOR DE 50	LIGERA A MEDIA	LENTA	LIGERA	<b>OL</b>	LIMOS ORGANICOS Y ARCILLAS LIMOSAS ORGANICAS DE BAJA PLASTICIDAD
		LIGERA A MEDIA	LENTA A NULA	LIGERA A MEDIA	<b>MH</b>	LIMOS INORGANICOS, SUELOS LIMOSOS O ARENOSOS FINOS MICACEOS O CON DIATOMEAS, LIMOS ELASTICOS
		ALTA A MUY ALTA	NULA	ALTA	<b>CH</b>	ARCILLAS INORGANICAS DE PLASTICIDAD ELEVADA, ARCILLAS GRASAS
MEDIA A ALTA	NULA A MUY LENTA	LIGERA A MEDIA	<b>OH</b>	ARCILLAS ORGANICAS DE PLASTICIDAD MEDIA A ALTA		
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS	FACILMENTE IDENTIFICABLES POR SU COLOR, OLOR, SENSACION ESPONJOSA Y FRECUENTEMENTE POR SU TEXTURA FIBROSA		<b>Pt</b>	TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		

DETERMINESE LOS PORCENTAJES DE GRAVA Y ARENA A PARTIR DE LA CURVA GRANULOMETRICA SEGUN EL PORCENTAJE DE FINOS (FRACCION QUE PASA POR EL TAMIZ # 200) LOS SUELOS GRUESOS SE CLASIFICAN COMO SIGUE:

GW, GP, SW, SP  
GM, GC, SM, SC  
CASOS LIMITE QUE REQUIEREN EL EMPLEO DE SIMBOLOS DOBLES

MESES DEL 5%  
MAS DEL 12%  
5% AL 12%

UTILICESE LA CURVA GRANULOMETRICA PARA IDENTIFICAR LAS FRACCIONES DE SUELO INDICADAS EN LA COLUMNA DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO

**LINEA A:  $I_p = 0.73(WL - 20)$**

GRAFICO DE PLASTICIDAD PARA LA CLASIFICACION EN LABORATORIO DE SUELOS DE GRANO FINO

Figura 2: Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).  
Fuente: Lambe & Whitman, (1984). Pág. 47

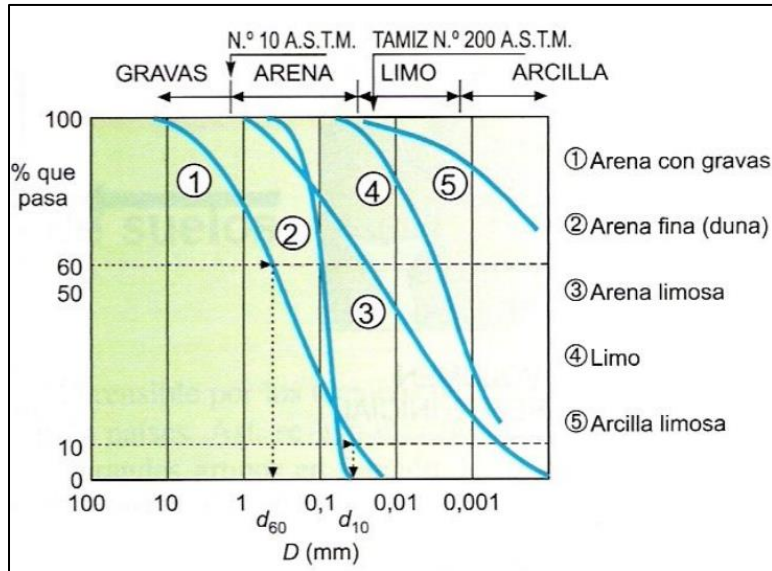


Figura 3: Granulometría de partículas  
Fuente: Extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 22.

### 2.2.6.2 Plasticidad

**Límite líquido:** Humedad para la cual el número de golpes en la copa de Casagrande es de 25 para cerrar la ranura en 12,7 mm.

**Límite plástico:** Humedad mínima con la cual pueden moldearse cilindros de suelo de 3 mm de diámetro sin que estos se fisuren.

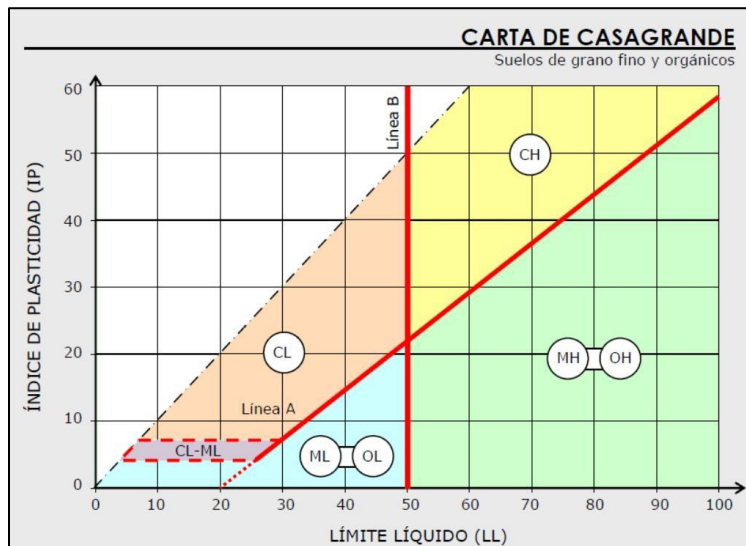


Figura 4: Gráfico de plasticidad para la clasificación de suelos de grano fino.  
Fuente: Extraído de González de Vallejo, (2004). Pág. 24

### 2.2.7 Determinación de resistencia del subsuelo.

Para la determinación de la capacidad de soporte de los estratos que conforman el subsuelo, fue empleado en Método de Penetración Estándar SPT (Standard Penetration Test).

El método ha sido estandarizado desde 1958, con varias revisiones (ASTM D-1586) y consiste (p.ej. Bowles, 1988) en hincar y tomar muestras partido de 18" (» 45cm) de largo colocado al extremo de una varilla, por medio de un peso (martillo) de 140lb (» 63.5kg) que se deja caer "libremente" desde una altura de 30" (» 76cm), anotando los golpes necesarios para penetrar cada 6" (» 15cm). El valor normalizado de penetración N es para 12" (1 pie» 30cm), se expresa en golpes/pie y es la suma de los dos últimos valores registrados. El ensayo se dice que muestra "rechazo" si: (a) N es mayor de 50 golpes/15cm, (b) N es igual a 100golpes/pie o (c) No hay avance luego de 10 golpes. Con base en los resultados obtenidos durante la recuperación de muestras (la cual se realizó con base en la norma ASTM D 1587), fue definido el perfil de constitución del subsuelo.



Foto 1: Realización de ensayo Standard Penetration Test (SPT).



## 2.2.8 Zonificación sísmica del área de estudio.

De acuerdo a la zonificación sísmica del Perú, la norma técnica del diseño sismorresistente E-030, del reglamento RNE, establece los valores de la aceleración sísmica máxima vertical y horizontal, en todo el territorio peruano, para lo cual divide a este en cuatro 4 zonas sísmicas., La Línea de Transmisión Paquillusi - Onocora (San Gabán III) se encuentra localizada en la zona N° 2 como se muestra en la figura N° 5, y le corresponde un valor de la aceleración horizontal máxima de 0.25 g.; dicho valor será utilizado en el Software LoadCap para el cálculo de factor de seguridad y carga última.

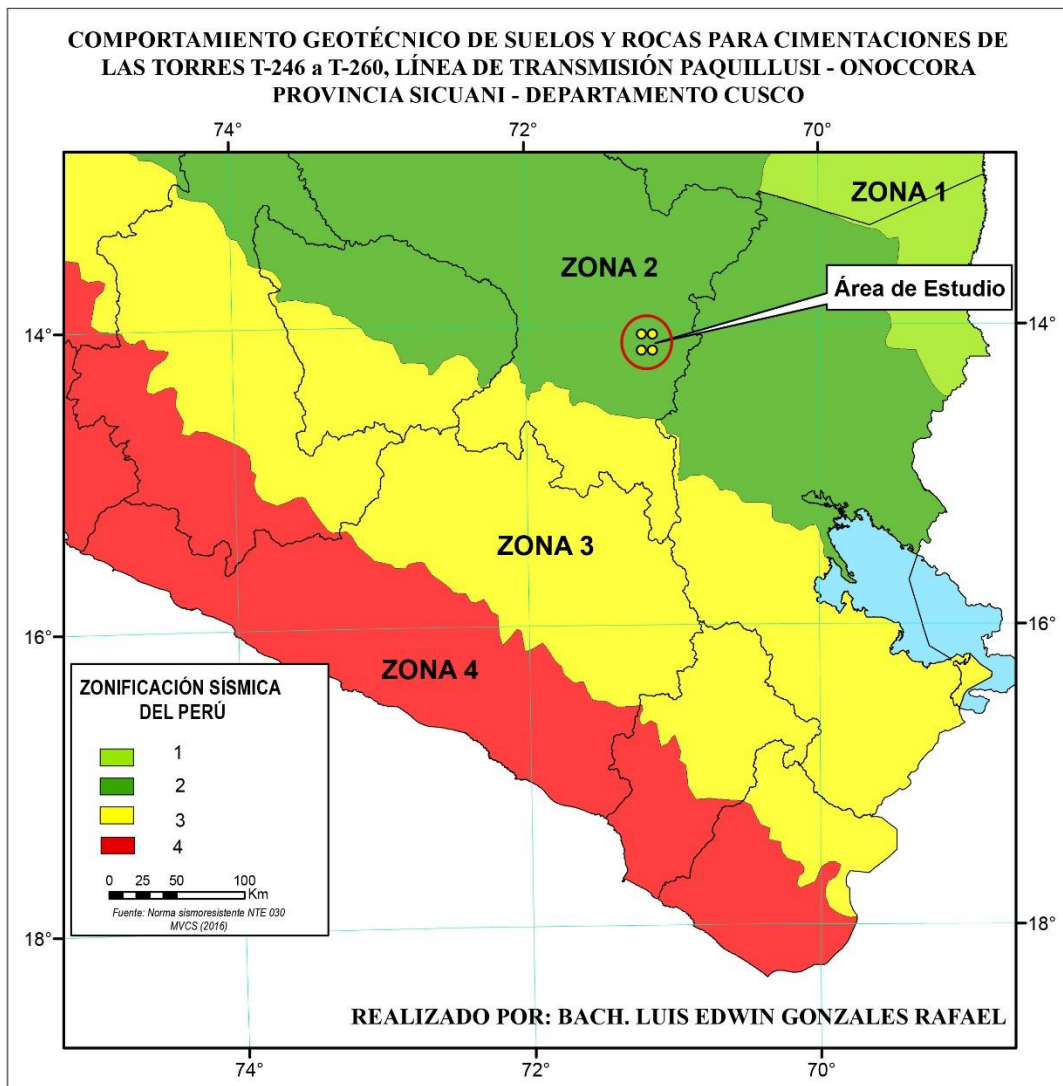


Figura 5: Zonificación sísmica del área de estudio.

## 2.3 Definición de términos.

### Suelo

Los suelos tienen origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas: Física, química y biológica (González et al. 2004).

### Macizo rocoso

Se presentan en la naturaleza afectadas por una serie de planos de discontinuidad que separan bloques de matriz rocosa, formando los macizos rocosos (González et al. 2004).

### Infiltración

El agua producto en este caso de las precipitaciones sólidas al infiltrarse reducen los esfuerzos normales en las paredes de los macizos rocosos, reduciendo la resistencia al corte (González et al. 2004).

### Factor de seguridad

En general, el factor de seguridad se define como:

$$FS_S = \frac{\tau_f}{\tau_d}$$

Donde

$FS_S$  : factor de seguridad con respecto a la resistencia

$\tau_f$  : resistencia media del suelo al corte

$\tau_d$ : esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla (Braja M.DAS. 2015).



## CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1 Ubicación de la zona de estudio.

La Línea de Transmisión Paquillusi -Onoccora (San Gabán III) tiene una longitud de 140 km, de los cuales 87 km están ubicados en el Departamento del Cusco y 53 Km en el Departamento de Puno. Para el presente estudio hemos considerado el tramo comprendido desde el Punto inicial con la T-246 hasta el punto final con la Torre T-260 como se muestra en la Figura N° 6, haciendo un total de 12 sitios de Torre y están georreferenciados en el sistema UTM WGS-84, las coordenadas se ubican en la tabla N° 7.

Tabla 7: Coordenadas del área de estudio.

<b>Vértices</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>	<b>Cota (msnm)</b>
<b>Torre inicial</b>	8439188	265539	4373
<b>Torre final</b>	8432174	263100	4110

Políticamente se encuentra ubicado en:

**Región:** Cusco

**Departamento:** Cusco

**Provincia:** Canchis

**Distrito:** Sicuani

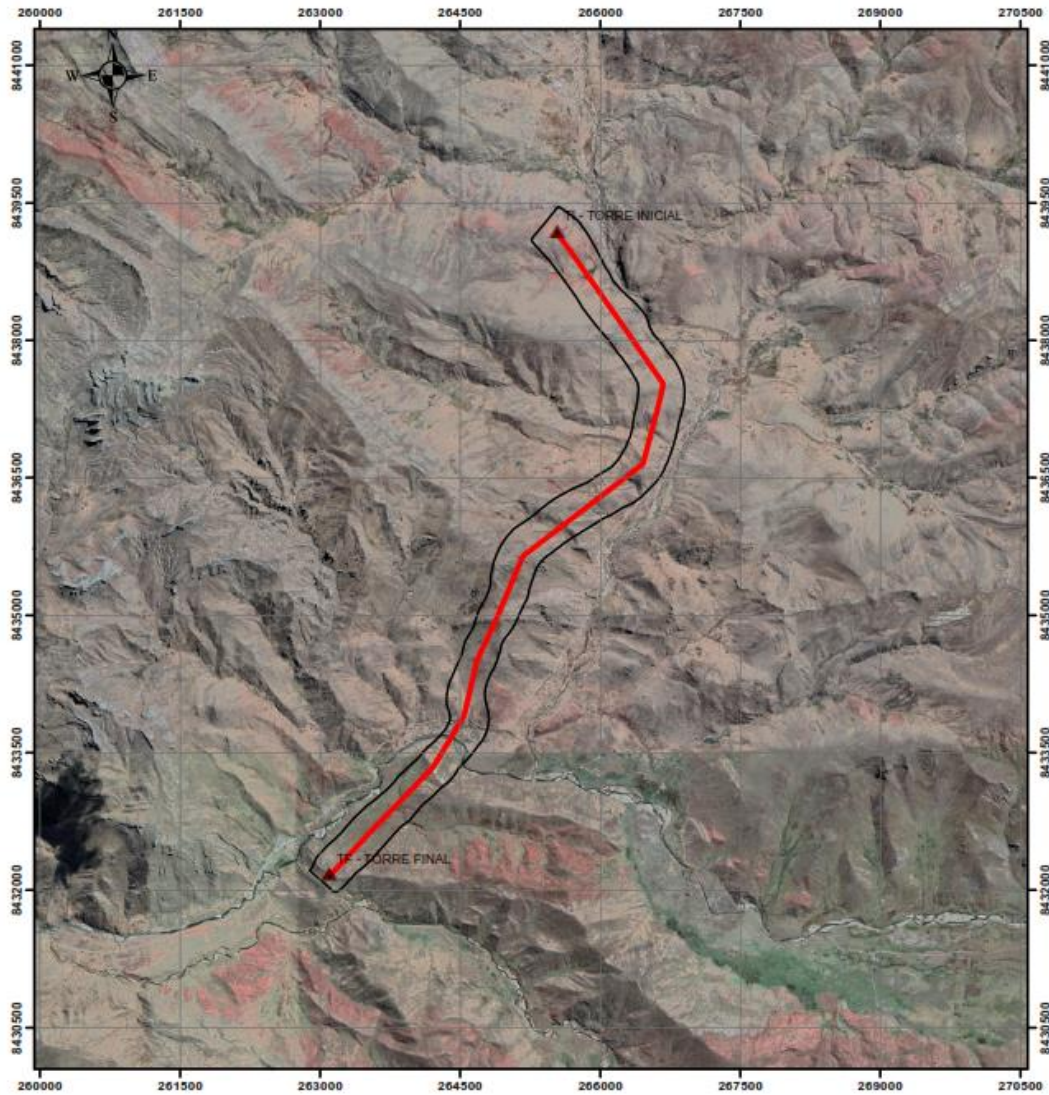


Figura 6: Ubicación de la zona de estudio.

## **3.2 Tipo y método de investigación.**

El tipo de investigación fue Descriptivo - Correlacional y Explicativo. El método de investigación será deductivo – Inductivo.

### **3.2.1 Tipo de investigación**

**Descriptivo:** Se describen las características de los suelos y roca encontradas.

**Correlacional:** Una vez seleccionado el problema, se determinan los procedimientos a seguir, elegimos los sitios de torres, se recopilan los datos, estos datos son evaluados mediante softwares tales como RockLab, LoadCap, para finalmente obtener los valores del Factor de seguridad y Carga última.

**Explicativo:** Con los datos obtenidos y las observaciones en campo se determinan los factores de inestabilidad en los sitios de torre.

### **3.2.2 Método de investigación**

**Inductivo:** Mediante la observación en campo se analizan las distintas variables que afectan la estabilidad de los sitios de torre.

**Deductivo:** Una vez identificadas las variables y mediante la ayuda de tablas caracterizamos los distintos sitios.

### 3.3 Accesibilidad.

Tabla 8: Accesos hacia la zona de estudio.

Tramo	Distancia (Km)	Vía	Estado	Tiempo (horas)
Lima – Nazca	447	Panamericana sur	Asfaltada	6h 20´
Nazca – Puquío	156	Panamericana sur	Asfaltada	3h 14´
Puquío – Chalhuanca	186	Carretera 30A	Asfaltada	3h 9´
Chalhuanca – Abancay	120	Carretera 30A	Asfaltada	2h
Abancay – Cusco	194	Carretera 3S	Asfaltada	4h 19´
Cusco – Sicuani	139	Carretera 3S	Asfaltada	2h 40´
Sicuani – Santa Bárbara	26.2	Carretera Cu -125	Trocha	54´

### 3.4 Clima y vegetación.

Según el SENAMHI, La zona de estudio se encuentra a una altitud de 3550 m.s.n.m., ubicándose en la región Puna o Jalca (3500 – 4850 m.s.n.m.)

La precipitación promedio anual es de 709.30 mm, la precipitación máxima anual de 959.20 mm y la precipitación mínima anual de 313.40 mm. Las temperaturas máximas registradas en la ciudad son de hasta 20.7 °C y mínimas de hasta -12°C.

La Yareta, Ichu y Tola, constituyen la cobertura vegetal de las zonas altas, las cuales forman el colchón de bofedales, lagunas y nacientes de manantiales, los humedales y lagunas almacenan importantes volúmenes de agua durante el año y protegen al suelo de la erosión.

### 3.5 Técnicas, instrumentos y equipos de recolección de datos.

#### 3.5.1 Técnicas empleadas para el acopio de información serán:

- Observación: Con la visita a cada sitio de torre se identifican las variables que afectan la estabilidad del macizo rocoso y de los suelos.
- Cartografiado geológico del área de estudio: Para tener una idea mas

precisa de la litología y poder realizar una correcta clasificación de acuerdo a los parámetros establecidos tanto en roca (RMR, 1898) como en suelo (SUCS).

- Recolección de datos mediante tablas, formatos, ensayos de rocas y suelos mediante excavación de calicatas de 1m<sup>2</sup>.
- Análisis de valores obtenidos en laboratorio obteniendo los distintos valores para los suelos y rocas de las muestras representativas extraídas en campo.
- Cálculo de parámetros geotécnicos para determinar la estabilidad de las diferentes torres para tener un conocimiento detallado para la posterior cimentación.

### **3.5.2 Instrumentos para la recolección de datos.**

- Formato de campo - Consultoría Colombiana S.A. (2015).
- Imágenes satelitales para tener una noción generalizada del área de estudio.
- Plano Geológico a escala 1/50000.

### **3.5.3 Equipos para la recolección de datos.**

- GPS GARMIN MAP 64S Navegador para la toma de puntos de exploración de subsuelo y ubicación de los sitios de torre.
- Picota de geólogo para la extracción de muestras de roca.
- Brújula Brunton Azimutal, utilizada para la toma de pendientes, rumbos y buzamientos.
- Telurómetro para medir la resistividad del terreno en  $\Omega m$ , para determinar los valores promedio para las puestas a tierra de las futuras estructuras.
- Cámara fotográfica digital para el registro fotográfico de todas las actividades realizadas durante la exploración de cada sitio de torre.
- Flexómetro para medir los taludes de suelos y rocas, además para medir la profundidad de las calicatas y la cantidad de muestra recuperada en el

ensayo SPT (Standard Penetration Test).

- Precintos para asegurar las bolsas con las muestras.
- Equipo completo para la ejecución del ensayo de penetración estándar (SPT).
- Tubería en cantidad suficiente para avanzar mínimo hasta 1.5 veces la profundidad solicitada en el proyecto. Este debe venir con sus respectivas uniones.
- Muestreador estándar de pared gruesa, es recomendable contar con dos muestreadores.
- Bolsas para la toma de muestras alteradas del apique.
- Papel aluminio.
- Vinipell.

### **3.6 Análisis e interpretación de datos.**

Los datos que se obtuvieron en campo de los diferentes sitios de torre, han sido transferidos a una base de datos, para luego ser procesados en los siguientes softwares: ArcGis 10.5, RockLab, LoadCap.

### **3.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos.**

Los datos tomados en campo fueron procesados en gabinete por una computadora haciendo uso de diferentes softwares los cuales han sido indicados anteriormente, con el procesamiento de los datos se obtuvo los planos (Geológico, geotécnico, de pendientes, altitudinal, geodinámico) y los modelos geotécnicos que demuestran el comportamiento de los sitios de torre a lo largo de La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III).

### **3.8 Control de calidad de datos (QA/QC).**

La calidad de los datos es un aspecto muy importante a tener en cuenta ya que se debe tener cuidado en la toma de datos en campo, como medidas con el GPS, Wincha y brújula geológica; siendo muy importante que los equipos estén debidamente calibrados y en buen estado, para minimizar los errores y hacer un correcto análisis en gabinete.

### **3.9 Geología local.**

En La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III) afloran distintas formaciones con edades comprendidas desde el Cretácico Inferior hasta el Cretácico Superior, los cuales están constituidos por secuencias de calizas y areniscas correspondientes al Grupo Moho y las Formaciones Huancané, Vilquechico y Auzangate; cubiertos por depósitos cuaternarios aluviales del Pleistoceno. (Robert W. Monge Miguel, 2003)

#### **3.9.1 Grupo Moho**

NEWELL, (1945, 1949) lo designa como tal en el cuadrángulo de Moho. Sus afloramientos se localizan principalmente al norte del lago Titicaca, en la zona imbricada que corresponde a los cuadrángulos de Huancané, Moho e Isla Soto y en toda la Cuenca Putina. Litológicamente está constituido por areniscas de grano fino, limolitas y lodolitas predominantemente rojizas y niveles abigarrados, la unidad tiene un nivel guía constituido por caliza micrítica con caliza arenosa grisácea, denominado Miembro Huatasane, que varía de 5 a 25m de grosor.

El Grupo Moho en el área de estudio, es reconocido por las siguientes características:

La parte basal de la secuencia está dominada por sedimentos areniscosos de color marrón rojizo, grano medio a fino en capas delgadas a gruesas, seguido de una

secuencia pelítica y limolitas rojas que se intercalan con areniscas, con algunos niveles abigarrados violáceos a verde grisáceos, luego sigue una secuencia de calizas denominada como Miembro Huatasane y en otros casos Formación Ayavacas (Foto N° 2), esta última denominación se asume en el presente estudio. La parte superior del Grupo Moho está constituida por una secuencia de lodolitas rojizas intercalados con areniscas subarcosas rojizas en capas medianas tabulares, al tope se hace más marino y se encuentra infrayaciendo en concordancia a una secuencia de lutitas grises y violáceas de la Formación Vilquechico.

### 3.9.1.1 Formación Ayavacas

Denominada así por CABRERA LA ROSA & PETERSEN., (1936), fue definida cerca de la localidad homónima ubicada 10 km al noreste de Juliaca.

Litológicamente está constituido por una alternancia predominantemente de calizas espáticas a micríticas de color gris oscuro a gris claro en capas gruesas con limolitas areniscosas de color rojizo en capas delgadas, (Foto N° 2.b).

Esta formación fue depositada en un contexto tectónico extensional. El contacto basal de la Formación Ayavacas es un plano de deslizamiento que puede asimilar una superficie de erosión.

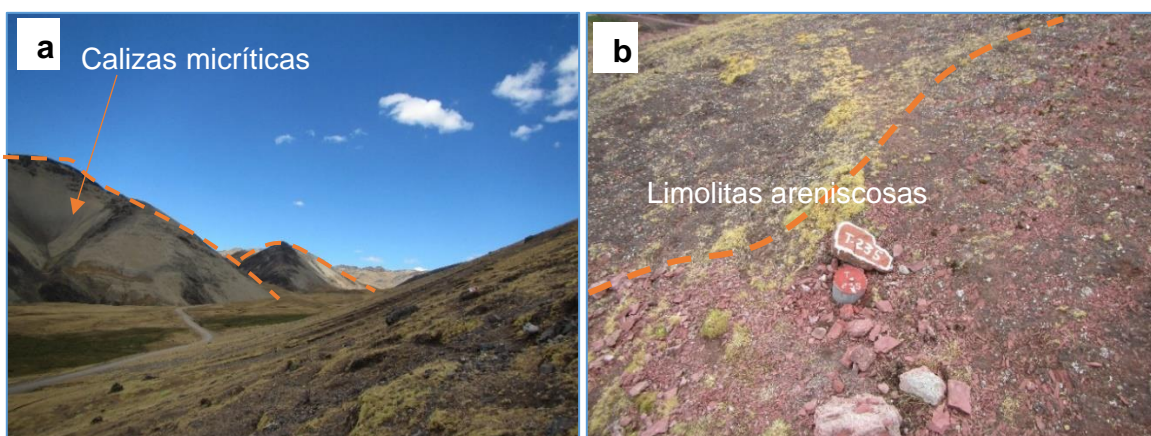


Foto 2: Calizas micríticas de color gris oscuro (a), limolitas areniscosas de color rojizo en capas delgadas (b).



### 3.9.2 Formación Vilquechico

Fue definida por NEWELL, (1945, 1949) en los alrededores de Vilquechico, en la hoja de Huancané y se prolonga hacia los cuadrángulos de Moho e Isla Soto. Esta unidad está conformada principalmente por lutitas rojas y verde grisáceas a pardo amarillentas característicamente laminar, en capas delgadas que se intercalan con areniscas cuarzosas grises de grano fino en capas de 2 a 5 cm. Otra característica es la presencia de ignofacies en los niveles pelíticos. Generalmente se encuentra en los núcleos de los sinclinales como el de Putina y Vilquechico, y en los sinclinales tumbados de la zona imbricada localizada al noreste del lago Titicaca. Así mismo suprayace concordantemente al Grupo Moho e infrayace a las lodolitas de la Formación Auzangate. La edad que se le asigna corresponde al Cretáceo superior, basado en la identificación de charofitas (PECK y RECKER, 1947) (Foto N° 3a, 3b).

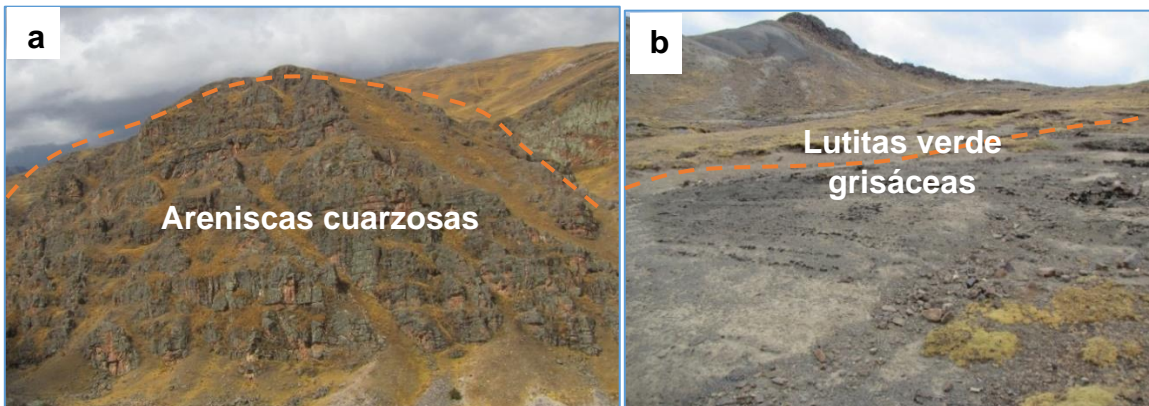


Foto 3: Areniscas cuarzosas grises de grano fino en capas de 2 a 5 cm (a), lutitas verde grisáceas de característicamente laminar (b).

### 3.9.3 Formación Viluyo

Nombre dado por LOPEZ, (1996) a una secuencia pelio-samítica que aflora en la margen derecha del río Viluyo en la carretera Nuñoa-Macusani.

En la hoja de Macusani esta unidad aflora en las cabeceras del río Condoriri, en el sector de la hacienda Cangalle. Usualmente da origen a un relieve de formas suaves, con una coloración rojiza muy característica.

Litológicamente está compuesta por una secuencia de areniscas cuarzosas rojas en capas de 0.20 m, estrato-creciente de grano fino.

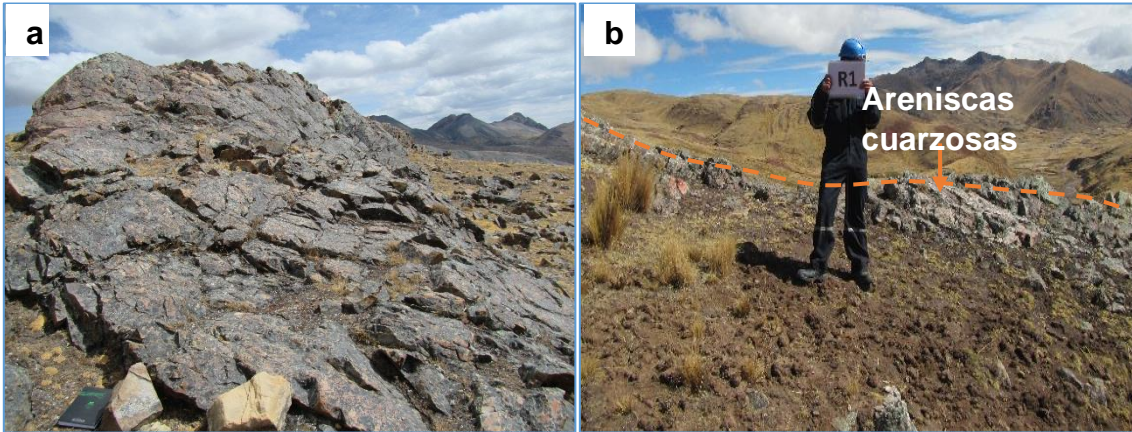


Foto 4: Estratos de rocas areniscas cuarzosas de color rojizo (a), estratos de areniscas cuarzosas de color rojizo altamente competente, grano fino – medio (b).

#### 3.9.4 Formación Auzangate

AUDEBAUD, (1967 y 1973), describe con este nombre a una secuencia pelítico-samítica de color rojizo, que sobreyace concordantemente a la Formación Vilquechico, expuesta principalmente en la cuenca Putina específicamente en el núcleo del sinclinal de Putina.

Litológicamente está compuesta por una secuencia de limoarcillitas, limolitas, areniscas arcósicas y predominantemente lodolitas, se observan además algunos niveles de areniscas cuarzosas en capas medianas. Por las relaciones estratigráficas que presenta se le asigna una edad que corresponde al Campaniano Maestrichtiano (estos pisos corresponden a fines del Cretácico Superior y da inicio al Cenozoico).

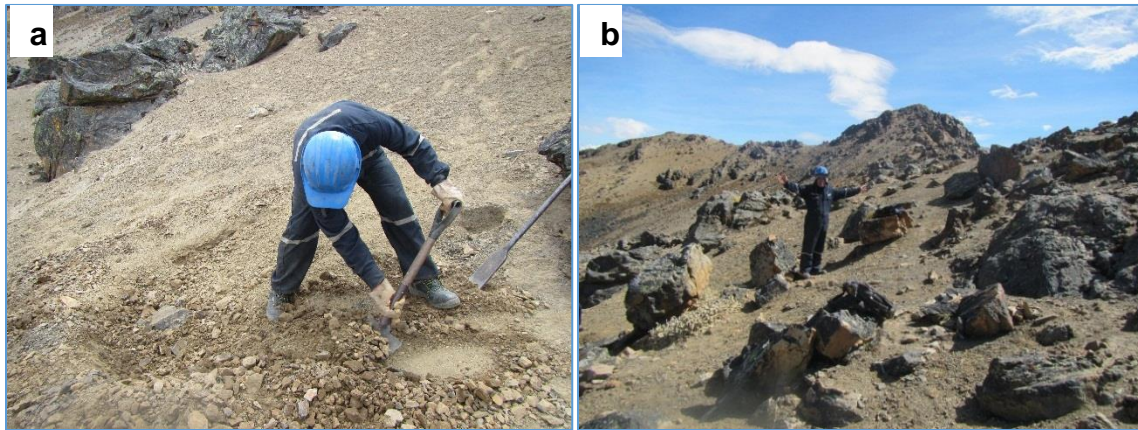


Foto 5: Estratos de limolitas amarillentas (a), estratos de areniscas feldespáticas intercalado con limolitas de color amarillento (b).

### 3.9.5 Depósitos cuaternarios

Conformado por depósitos morrénicos y coluvio – aluviales, rodados de 20 cm a 5m de diámetro aproximado, con bastante oxidación de hierro, producto de la presencia de las precipitaciones sólidas. Estos materiales han sido depositados por acción de los glaciares, por efecto de la precipitación y por gravedad. Se encuentran en las partes medias de las laderas conformando los depósitos de pie de monte además en los valles fluviales; en el área de estudio encontramos rodados de calizas, areniscas y restos de rocas ígneas tal es el caso de andesitas y tonalitas.

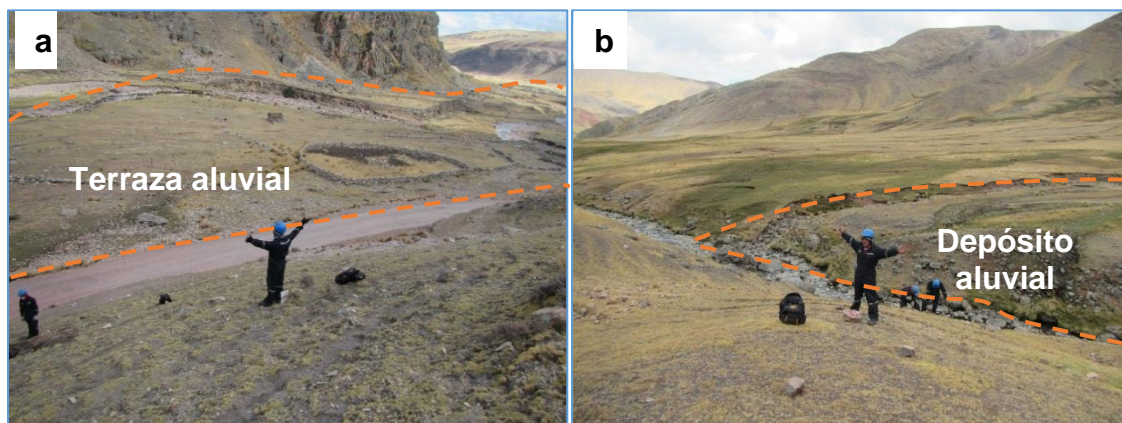


Foto 6: (a), Depósitos aluviales compuestos por cantos y bloques semiangulosos a semiredondeados, depositados en la margen izquierda del río Santa Bárbara. (b) Terraza aluvial compuesta por cantos y bloques semiredondeados de areniscas, calizas y algunas rocas ígneas que han sido arrastradas por el agua de la quebrada Jatituyo



### 3.10 Geología estructural

Las rocas que afloran en La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), para el tramo comprendido entre las torres T-246 hasta T-260, no se ha identificado la presencia de deformaciones tectónicas regionales.

#### Fallas

En La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), no se ha identificado tectonismo intenso, pero si se aprecia abundante fracturamiento y meteorización producto de agentes exógenos uno de los principales causantes de estos estragos sería la gelifracción, que afecta las fracturas de rocas debilitándolas en sus características geomecánicas; además se observa la presencia de meteorización física y posterior deposición producto de la gravedad.

### 3.11 Unidades Morfológicas

En la Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), tenemos la presencia de precipitaciones sólidas en su mayoría, además de constantes lluvias, con escasa vegetación predominancia de arbustos en su mayoría Stipa Ichu, con una altura máxima de 4850 m.s.n.m y una altura mínima de 3550 m.s.n.m. Para determinar las unidades geomorfológicas tomamos como referencia de alturas y pendientes para lo cual utilizaremos como referencia los intervalos definidos en la tabla N° 9:

Tabla 9: Unidades geomorfológicas

Pendientes	Descripción
0° - 8°	Planicies
8° - 20°	Lomadas
20° - 50°	Laderas
50° - 90°	Escarpas

Fuente: tomado de Rodríguez. (2016).

### 3.11.1 Planicies (0° - 8°)

Presenta una superficie homogénea, ligeramente ondulada, constituida por depósitos aluviales, aprovechadas para la actividad agrícola y el pastoreo de camélidos sudamericanos. Comprendida dentro del rango de 0° a 8°.



Foto 7: Planicie formada a la margen izquierda del río Santa Bárbara.

### 3.11.2 Lomadas (8° - 20°)

Terreno de superficie heterogénea, con elevaciones de bajo ángulo y pendientes suaves ya que está comprendida entre los 8° a 20°.



Foto 8: Lomada formada al sureste de centro Poblado Tusca.

### 3.11.3 Laderas (20° - 50°)

Terreno relativamente inclinado y heterogéneo, se encuentran en la mayoría del área de estudio, aprovechadas para el pastoreo de camélidos sudamericanos.

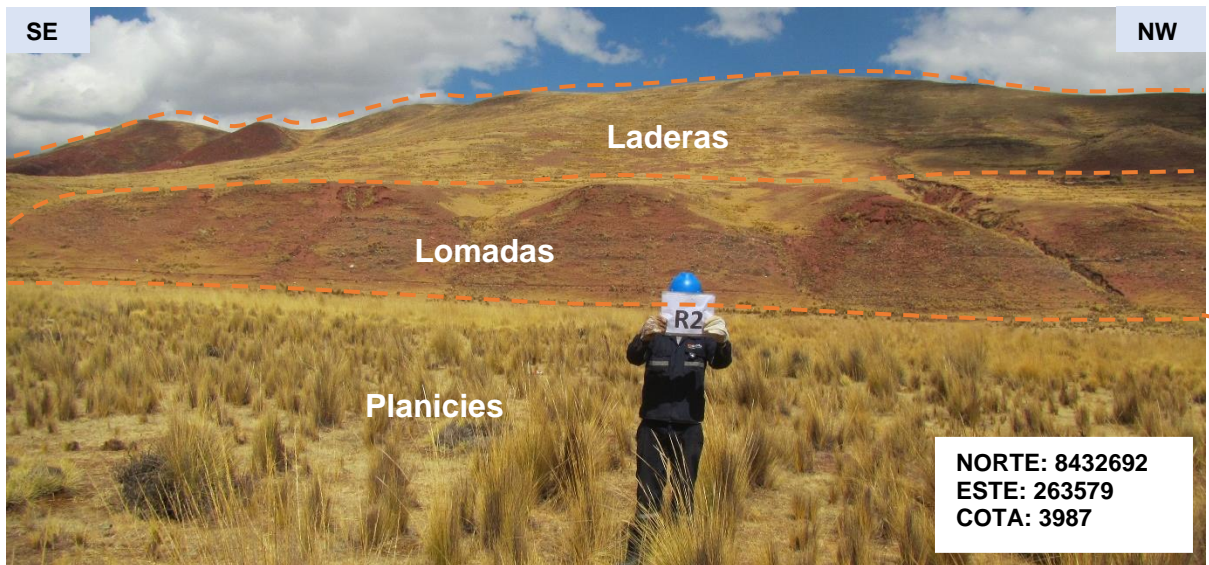


Foto 9: Ladera formada al Noreste del centro Poblado Santa Bárbara.

### 3.11.4 Escarpas (50° - 90°)

La mayoría de unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio son las escarpas en su mayoría litológicamente compuestas por calizas y areniscas. Consideradas en un intervalo de 50° a 90°.



Foto 10: Escarpas de rocas areniscas al Oeste del Poblado Tucsa.

### **3.12 Estudio Geotécnico**

Para realizar la evaluación se han empleado técnicas de campo en las cuales se identificaron sitios de torre críticos y se hace mediante la realización de calicatas y ensayo SPT (Standard Penetration Test) en cada sitio de torre, además de la medición de la resistividad del suelo; una vez identificadas cuales son las zonas más representativas e inestables, se le dará una clasificación de acuerdo al grado de inestabilidad que presenten.

Una vez recolectados los datos se iniciará el trabajo de gabinete, los datos tomados en cada sitio de torre serán anotados en la ficha de registro geológico-geotécnico como: Coordenadas UTM, cota, formación geológica, meteorización, grado de fracturamiento, calidad de roca (RQD), índice geológico de resistencia (GSI), así como las propiedades de las discontinuidades como: el tipo de discontinuidad o fractura, espaciado, persistencia, abertura, rugosidad, relleno, alteración y meteorización; todos estos datos fueron analizados para poder caracterizar el macizo rocoso y obtener el RMR de Bieniawski(1989) de cada sitio de torre, el estudio detalla el comportamiento geodinámica, tipo de material y problemas geotécnicos.

Para el caso de los depósitos cuaternarios se realizó clasificación SUCS de las muestras ensayadas, se realizaron análisis gravimétricos, también se encontraron los límites de consistencia, usamos el Abaco de Casagrande para clasificar tipos de arcillas.

Para definir el comportamiento geomecánico y geológico de los macizos rocosos y depósitos cuaternarios se utilizaron los softwares RockLab y LoadCap. Para determinar los factores de seguridad de los sitios de torre se hace mediante el software LoadCap.



### 3.12.1 Torre 246 (T-246)

La Torre 246 (T-246) se ubica en la cima de una colina margen derecha del río Salca, a 100 metros de la carretera, en el centro poblado de Tucsa. La cimentación se realizará sobre estratos de rocas sedimentarias limolíticas con fuerte fracturamiento y meteorización. Las coordenadas del hito y de los puntos explorados están descritos en la tabla N° 10.



Foto 11: Ubicación de la T – 246, el círculo rojo viene a ser el centro de la torre y el círculo azul viene a ser la calicata en la pata A.

Tabla 10: Coordenadas UTM del Hito de la T-246 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof., (m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	265539	8439188	4373	H246	-----	-----
Apique	Pata A	265542	8439188	4372	A246	0.50	ROCA SEDIMENTARIA
Apique verificación	Pata C	265537	8439186	4367	AV246	0.10	ROCA SEDIMENTARIA



## Caracterización del Macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 11: Asignación de valores para el macizo rocoso, T - 246.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 - 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	3	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	12	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	8	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	3
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave <5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	8	
<b>VALOR TOTAL RMR</b>						<b>43</b>	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR mostrada en la tabla N° 12 se ha obtenido un valor de 43, por lo tanto, estamos en presencia de una roca de Clase III, de calidad regular.

Tabla 12: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T -246.

VALOR RMR						43
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 – 81	80 – 61	60 - 41	40 - 21	20 – 0	III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	REGULAR

## Asignación de valor GSI.

Con las observaciones realizadas en campo estimamos en valor del GSI, de acuerdo a la disposición de los estratos de los macizos rocosos, fracturamiento, y la acción de agente meteóricos externos; designando un valor de 42 como se muestra en la Figura N° 7.

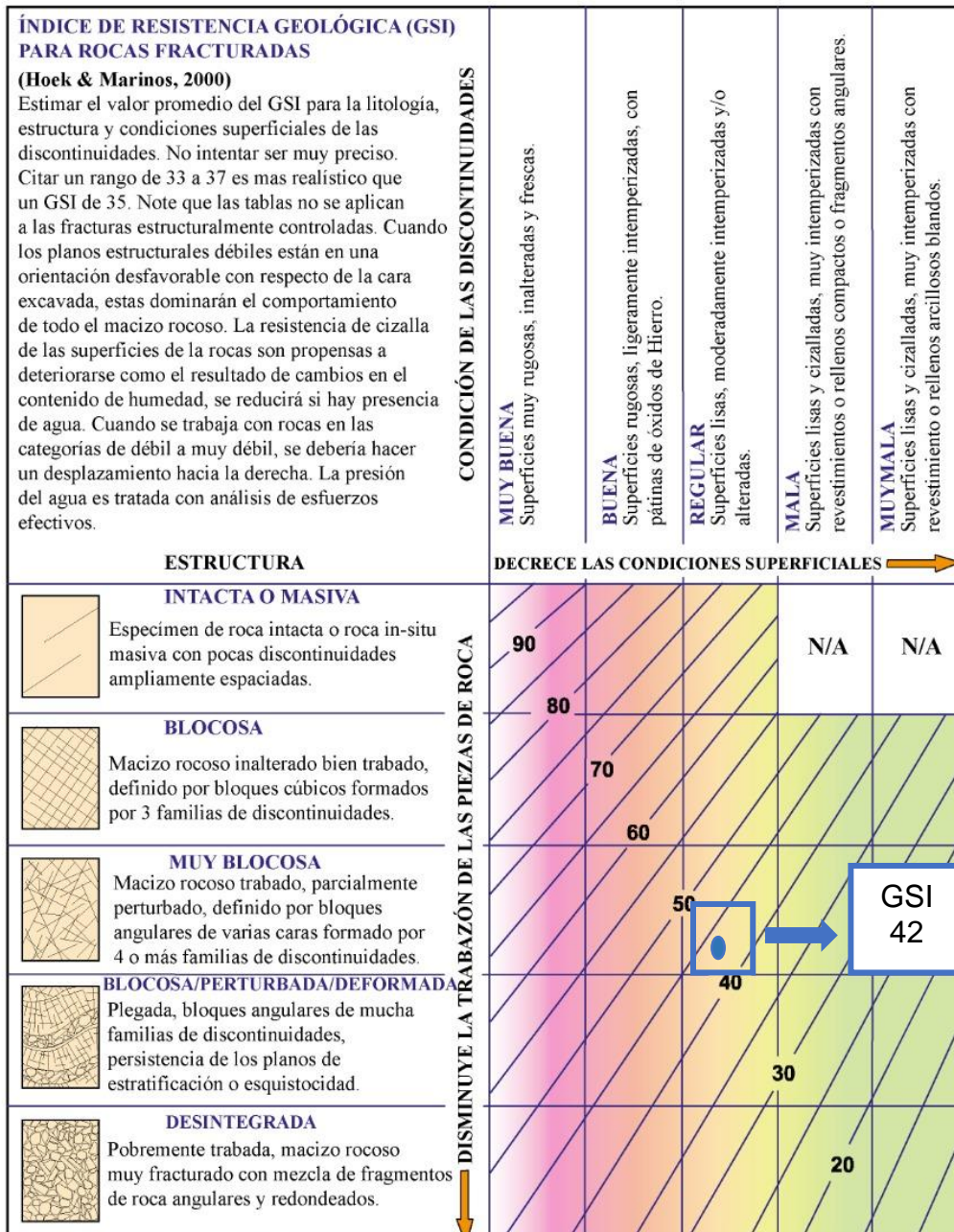


Figura 7: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T -246.

## Interpretación RockLab.

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 12, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 8 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

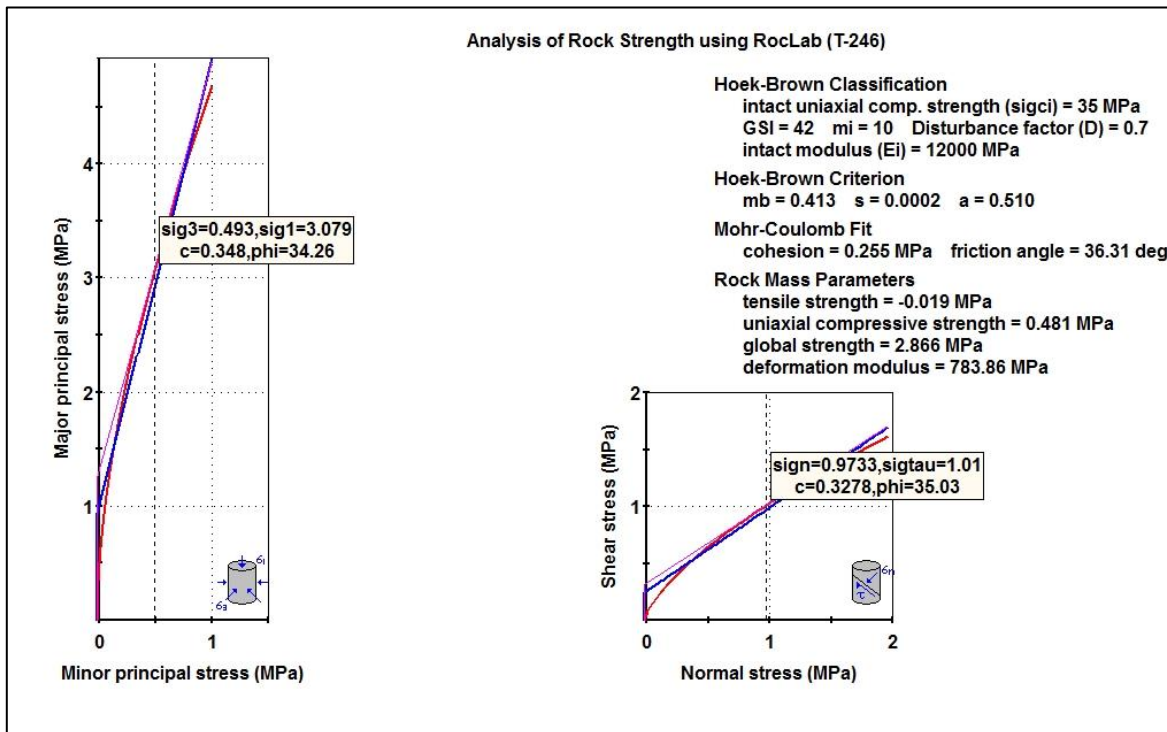


Figura 8: Gráfica de esfuerzos para la T - 246.

## Interpretación LoadCap.

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 21.19, ángulo de resistencia al corte  $36.31^\circ$ , cohesión  $0.255 \text{ kN/m}^2$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 246 (T-246), descrita en la tabla N°13.

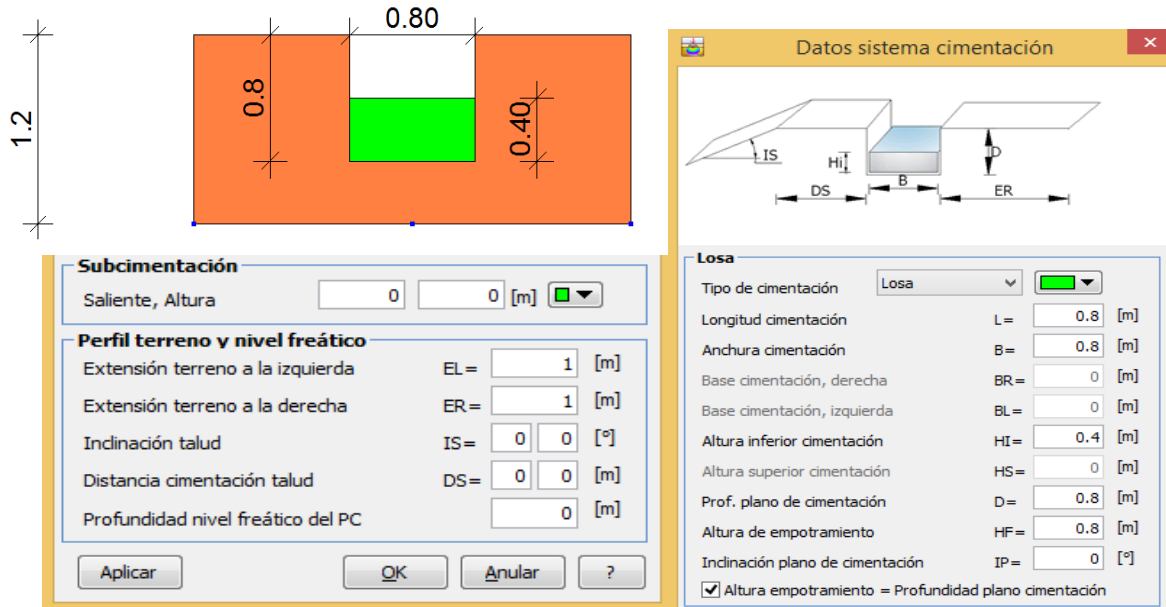


Figura 9: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.

Tabla 13: Valores obtenidos del software LoadCap de la carga última vertical y el factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m <sup>2</sup> )	Tensión [Ed] (kN/m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo (kN/m <sup>3</sup> )
Carga última								
	Zienkiewicz	157.88	52.63	100.00	1.58	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; lr=2251.722; lcrit=139.477	0.00
*	Terzaghi	132.93	44.31	100.00	1.33	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; lr=2251.722; lcrit=139.477	5317.22



### 3.12.2 Torre 247 (T-247)

La Torre 247 (T-247) se ubica en la cima de una colina, a unos 900m al suroeste del poblado de Tucsa. La cimentación se realizará sobre estratos de rocas sedimentarias Limolíticas de color rojizo con alto fracturamiento y meteorización. Las coordenadas del hito y de los puntos explorados están descritos en la tabla N° 14.



Foto 12: Ubicación de la T – 247, el círculo rojo es el centro para la torre y el círculo azul la calicata en la pata C.

Tabla 14: Coordenadas UTM del Hito de la T-247 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof., (m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	265682	8438980	4360	H247	-----	-----
Apique	Pata C	265681	8438972	4362	A247	0.70	ROCA
Apique verificación	Pata A	265684	8438983	4060	AV247	0.32	ROCA

## Caracterización del macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 15: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-247.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 – 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	3	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	12	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	7	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	3
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro >5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	8	
VALOR TOTAL RMR						42	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR mostrada en la tabla N° 15 se ha obtenido un valor de 42 por lo tanto, estamos en presencia de una roca de clase III y de calidad regular como se indica en la tabla N° 16.

Tabla 16: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-247.

VALOR RMR						42
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	REGULAR

## Asignación de valor GSI.

Con las observaciones realizadas en campo estimamos en valor del GSI, de acuerdo a la disposición de los estratos de los macizos rocosos, fracturamiento, y la acción de agente meteóricos externos; designando un valor de 42 como se muestra en la Figura N° 10.

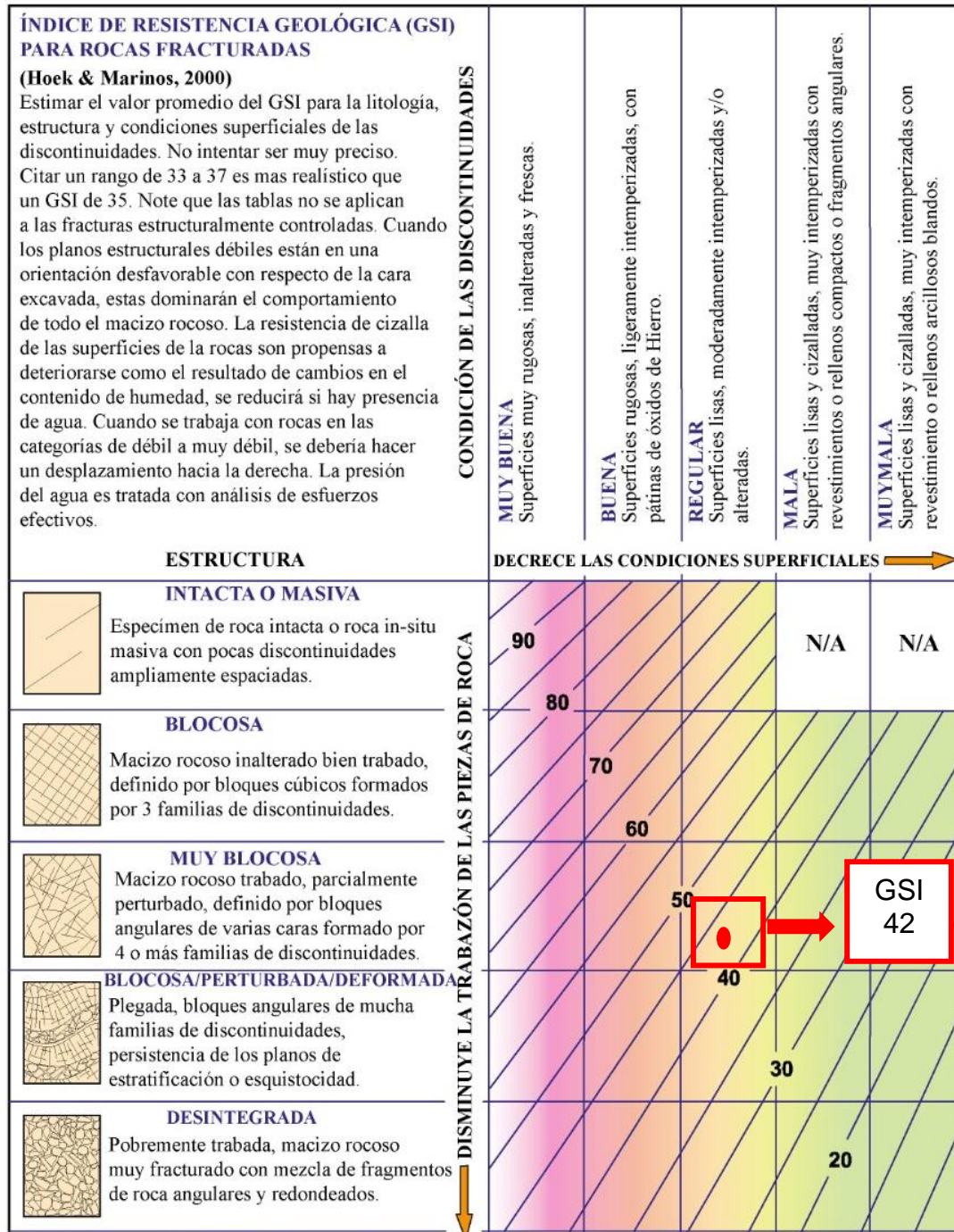


Figura 10: Asignación de GSI par a el macizo rocoso de la T -247.

## Interpretación RockLab.

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 15, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 11 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

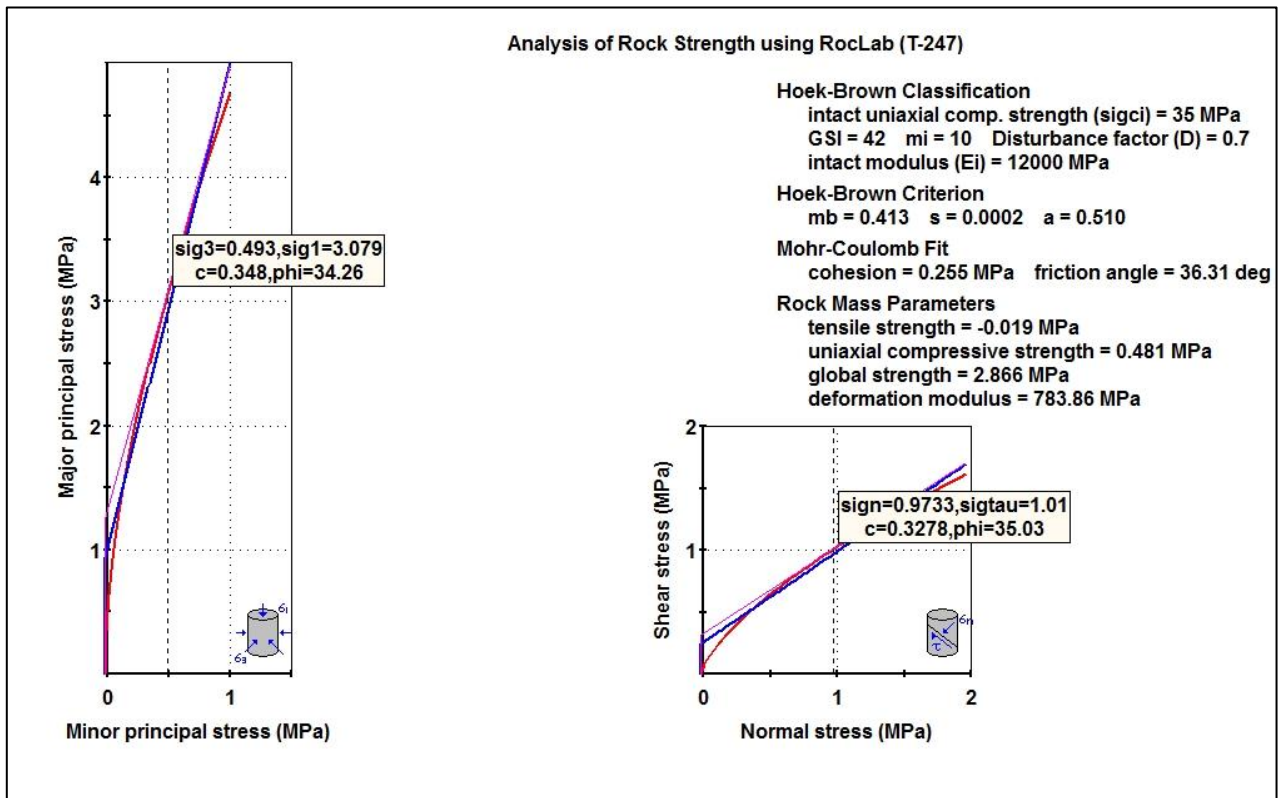


Figura 11: Gráfica de esfuerzos para la T - 247.

## Interpretación LoadCap.

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 21.19, ángulo de resistencia al corte  $36.31^\circ$ , cohesión  $0.255 \text{ kN/m}^2$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap



para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 247 (T-247), descrita en la tabla N°17.

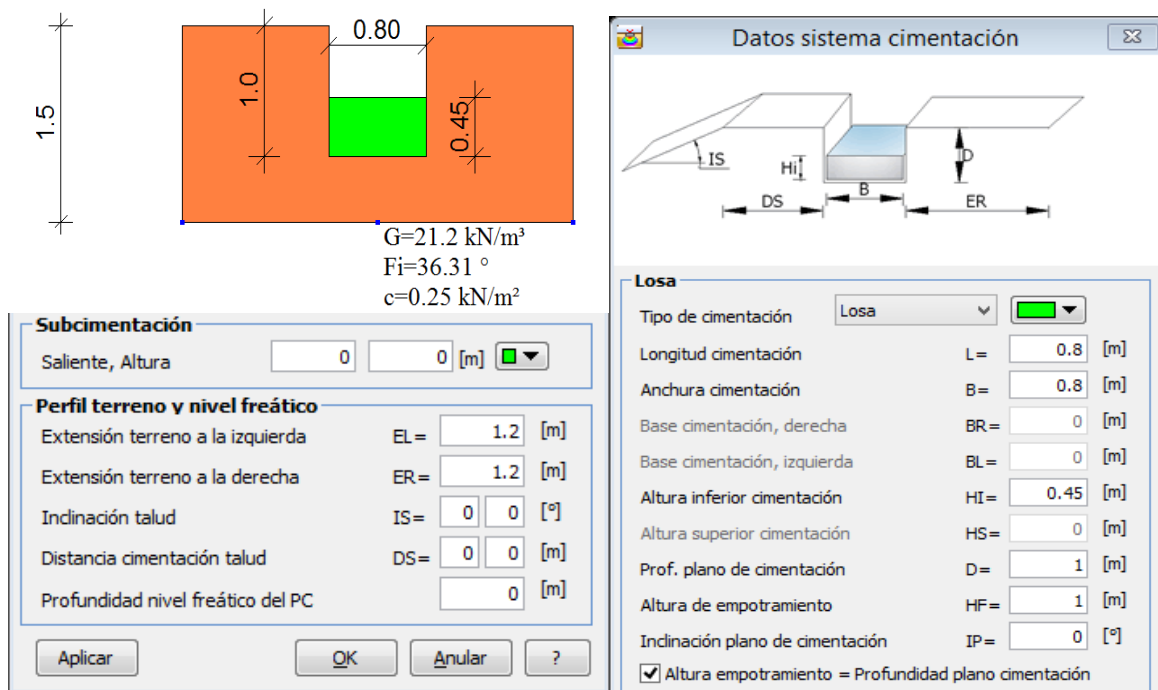


Figura 12: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.

Tabla 17: Valores obtenidos mediante Loadcap de la carga última vertical, y el factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m²)	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m²)	Tensión [Ed] (kN/m²)	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Const ante subsuelo (kN/m³)
<b>CARGA ÚLTIMA</b>								
	Zienkiewicz	349.41	116.47	100.00	3.49	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; $l_r=2052.365$ ; $l_{crit}=106.37$	0.00
*	Terzaghi	287.51	95.84	100.00	2.88	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; $l_r=2052.365$ ; $l_{crit}=106.37$	11500.24

### 3.12.3 Torre 248 (T - 248)

La Torre 248 (T - 248) está situada en una ladera a la margen derecha del río Irubamba, al noreste de la comunidad de Tucsa. El acceso es una vía sin asfaltar en regular estado. La cimentación se realizará sobre areniscas cuarzosas altamente competentes, con estratificación paralela, espesor de 70 cm, las coordenadas donde se ubicará la torre lo encontramos en parte inferior derecha de la foto N° 13.



Foto 13: Ubicación de la T – 248, el círculo rojo viene a ser el centro de la torre.

Tabla 18: Coordenadas UTM del Hito de la T-248 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof., (m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	266225	8438186	4291	H248	-----	-----
Apique	Pata A	266225	8438191	4291	A248	0.23	ROCA
Apique verificación	Pata C	266220	8438180	4283	AV248	0.14	ROCA

## Caracterización del macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 19: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-248.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 - 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	11	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	16	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	14	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	3
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	4
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	8	
<b>VALOR TOTAL RMR</b>						<b>63</b>	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR (63) tenemos una roca de clase II, y calidad buena.

Tabla 20: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-248.

VALOR RMR						63
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	BUENA





## Interpretación RockLab.

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 20, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 14 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

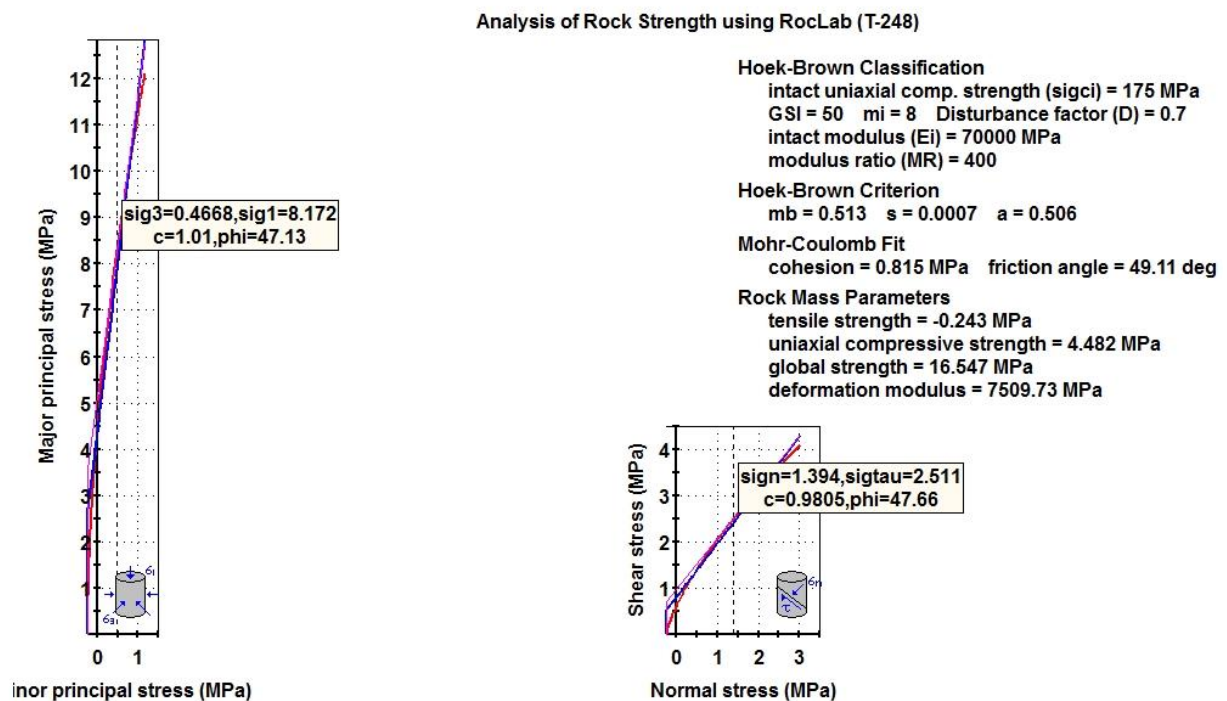


Figura 14: Gráfica de esfuerzos para la T - 248.

## Interpretación LoadCap.

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 22.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 248 (T-248), descrita en la tabla N°21.

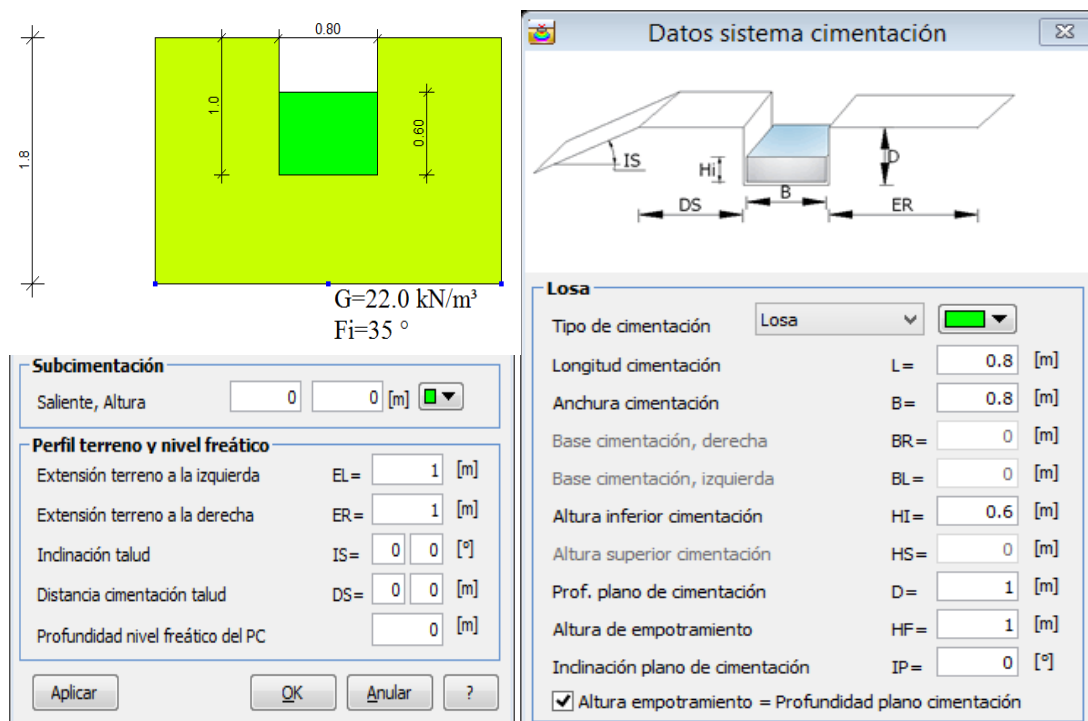


Figura 15: Diseño de cimentación circular con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.

Tabla 21: Valores obtenidos mediante LoadCap de la carga última vertical, y el factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m²)	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m²)	Tensión [Ed] (kN/m²)	Factor de seguridad [Fs=Qult /Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo (kN/m³)
<b>Carga última</b>								
	Zienkiewicz	578.44	192.81	150.00	3.86	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; lr=2029.996; lcrit=119.30 1	0.00
*	Terzaghi	477.38	159.13	150.00	3.18	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; lr=2029.996; lcrit=119.30 1	19095.40

### 3.12.4 Torre 250 (T - 250)

El punto está ubicado en la margen derecha del río Irubamba, al sureste de la comunidad de Lutuyo, a la mitad de una colina con escasa vegetación. La torre se cimentará sobre un depósito coluvial. Las coordenadas UTM del hito y de la calicata en la pata "B" están descritos en la tabla N° 22.



Foto 14: Ubicación de la T – 250, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 22: Coordenadas UTM del Hito de la T-250 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof,(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	266635	8437348	4234	H250	-----	-----
Apique	Pata B	266640	8437344	4234	A250	1.50	Depósito Coluvial

Calicata: Coluviales

Prof: 1.00m a 1.50m

Pms: 461.69gr.

Tabla 23: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 250.

Tamiz	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
1 ½"	38.10	37.40	8.10%	8.10%	91.90%
1"	25.40	28.70	6.22%	14.32%	85.68%
¾"	19.00	25.70	5.57%	19.88%	80.12%
½"	12.70	26.90	5.83%	25.71%	74.29%
3/8"	9.51	55.70	12.06%	37.77%	62.23%
4	4.76	59.70	12.93%	50.71%	49.29%
8	2.38	50.50	10.94%	61.64%	38.36%
10	2.00	6.20	1.34%	62.99%	37.01%
16	1.19	14.80	3.21%	66.19%	33.81%
30	0.59	12.10	2.62%	68.81%	31.19%
40	0.42	4.80	1.04%	69.85%	30.15%
50	0.30	2.50	0.54%	70.39%	29.61%
100	0.15	5.10	1.10%	71.50%	28.50%
200	0.07	4.40	0.95%	72.45%	27.55%
Pasa 200		127.19	27.55%	100.00%	0.00%
Total		461.69			

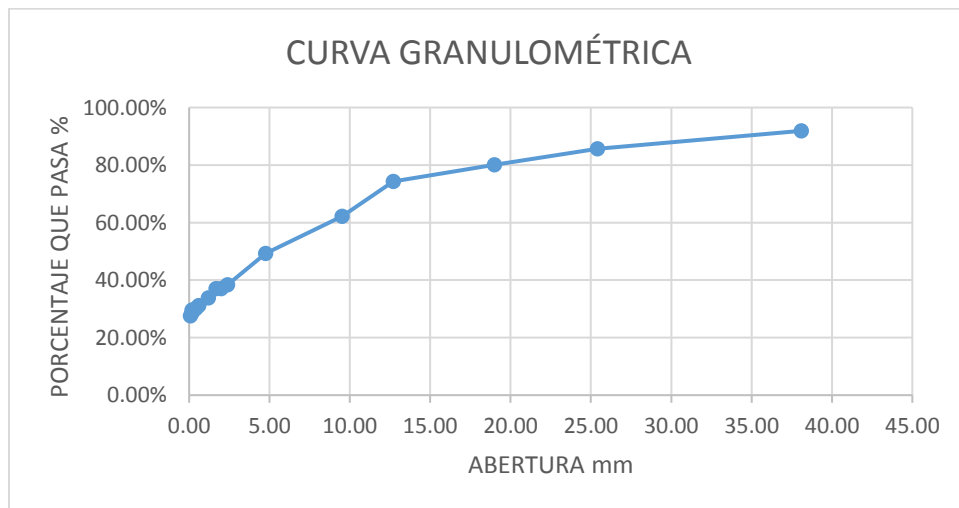


Figura 16: Curva granulométrica.



Tabla 24: Límites de consistencia.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
N° DE ENSAYO					
$P_1$ = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g	30.92	33.48	35.79	25.24	25.70
$P_2$ = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g	26.50	28.42	30.14	21.83	22.67
$P_3$ = Peso Recipiente, en g	14.60	15.30	16.30	6.20	9.30
$P_W$ = Peso del Agua, en g	4.42	5.06	5.65	3.41	3.03
$P_S$ = Peso Suelo Seco, en g	11.90	13.12	13.84	15.63	13.37
$W$ = Contenido de agua, en %	37.14%	38.57%	40.82%	21.82%	22.66%
N° DE GOLPES	35	24	14		
$P_W = P_1 - P_2$	LÍMITE LÍQUIDO			38.8%	
$P_S = P_2 - P_3$	LÍMITE PLÁSTICO			22.24%	
$w = (P_W / P_S) \times 100$	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LI - Lp)			16.56%	

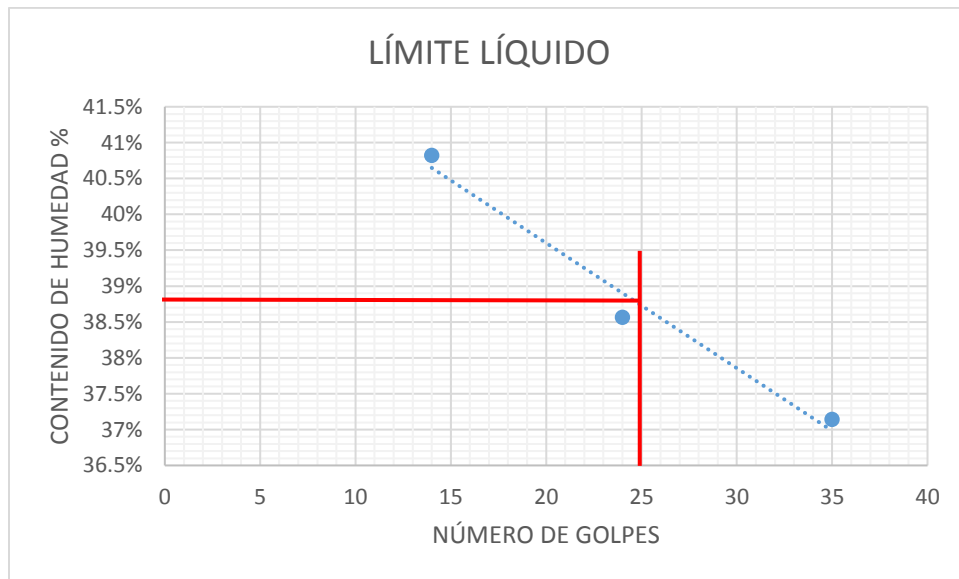


Figura 17: Ábaco para la obtención de Límite Líquido.

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 1.00m a 1.50m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos:

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es menor al 50% estamos en presencia de Grava (**G**).

- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 27.55%. El porcentaje de finos es mayor al 12%. El resultado es una grava mal gradada. Por lo tanto, podemos estar en presencia de una grava arcillosa (GC) y/o de una grava limosa (GM).
- ❖ Analizamos los coeficientes de Allen Hazen, para una arena bien gradada el  $C_u > 6$ ;  $1 \leq C_c \leq 3$ , las ecuaciones 1 y 2 no cumplen el siguiente requisito por lo tanto estamos en presencia de una grava mal gradada (**GP**).
- ❖ Utilizando los límites líquidos y plásticos ya calculados en la tabla N° 24, intersectamos los valores para obtener en presencia de qué suelo nos encontramos.

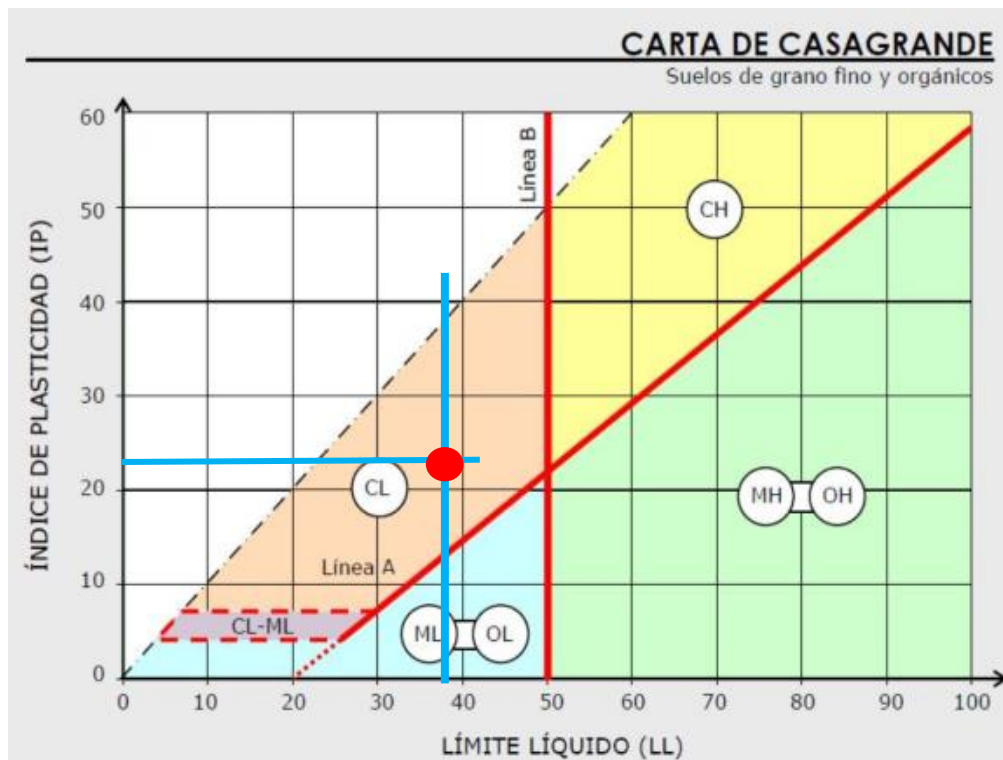


Figura 18: Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Intersectando el índice de plasticidad con el límite líquido, estamos en presencia de una arcilla (**C**). Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Grava mal gradada arcillosa (**GP-GC**). Con un pH de 7.91.

## Interpretación LoadCap.

La torre se cimentará sobre estratos de suelos limosos con una potencia de 0.30m, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$  y depósitos coluvio-aluviales de 2.0m de potencia, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 16.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 250 (T-250), descrita en la tabla N°25.

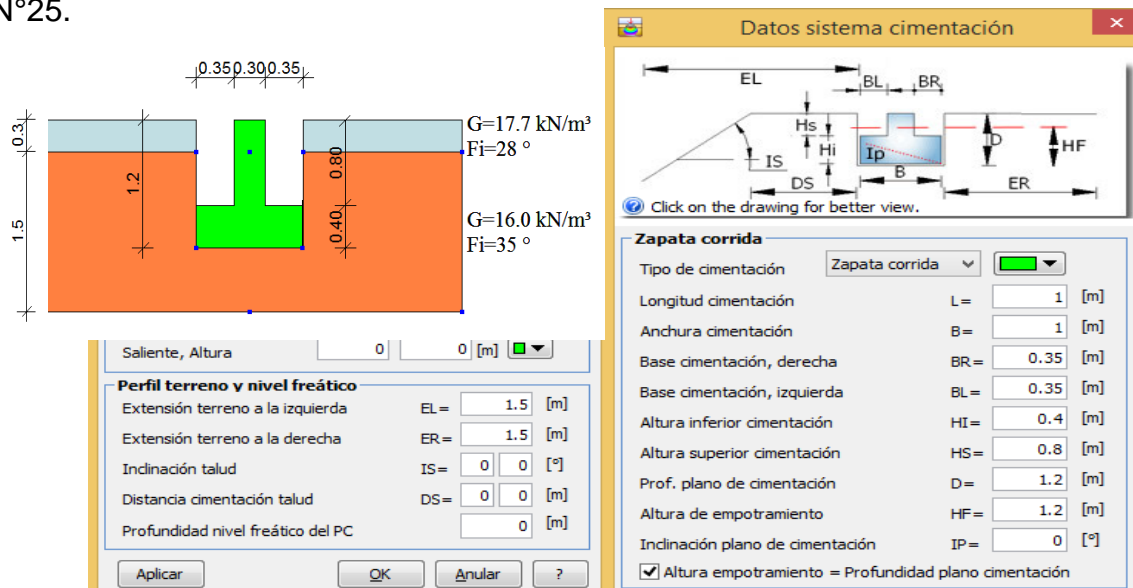


Figura 19: Diseño de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 25: Valores obtenidos de la carga última vertical y el factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] ( $\text{kN/m}^2$ )	Resistencia de proyecto [Rd] ( $\text{kN/m}^2$ )	Tensión [Ed] ( $\text{kN/m}^2$ )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo ( $\text{kN/m}^3$ )
<b>Carga última</b>								
	HANSEN (1970)	360.46	120.15	150.00	2.4	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1264.249; Icrit=119.301	14418.30
*	TERZAGHI (1955)	278.86	92.95	150.00	1.86	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1264.249; Icrit=119.301	11154.42
	MEYERHOF (1963)	332.74	110.91	150.00	2.22	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1264.249; Icrit=119.301	13309.43
	VESIC (1975)	377.23	125.74	150.00	2.51	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1264.249; Icrit=119.301	15089.08
	Brinch - Hansen 1970	365.80	121.93	150.00	2.44	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1264.249; Icrit=119.301	14631.81

### 3.12.5 Torre 252 (T - 252)

El sitio de torre está situado en la cima de Lomada a la margen derecha del río Irubamba, al oeste de la comunidad de Jatituyo. La torre se cimentará sobre un depósito coluvial compuesto por gravas angulosas de Limolitas de color rojizo intercalado con suelos limosos. Las coordenadas UTM del hito explorado y de la calicata en la pata "C" están descritos en la tabla N° 26.



Foto 15: Ubicación de la T – 252, el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre, y el círculo azul es la calicata en la pata "C".

Tabla 26: Coordenadas UTM del Hito de la T-252 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof,(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	266015	8436305	4144	H252	-----	-----
Apique	Pata C	266009	8436307	4143	A252	1.50	Depósito Coluvial

Calicata: Coluvio-aluviales  
690.47 gr.

Prof: 1.00m a 1.50m

Pms:

Tabla 27: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 252.

Tamiz	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3"	76.10	94.70	13.72%	13.72%	86.28%
2 ½"	64.00	48.10	6.97%	20.68%	79.32%
2"	50.80	53.10	7.69%	28.37%	71.63%
1 ½"	38.10	49.70	7.20%	35.57%	64.43%
1"	25.40	35.60	5.16%	40.73%	59.27%
¾"	19.00	27.30	3.95%	44.68%	55.32%
½"	12.70	29.90	4.33%	49.01%	50.99%
3/8"	9.51	31.50	4.56%	53.57%	46.43%
4	4.76	47.10	6.82%	60.39%	39.61%
8	2.38	73.80	10.69%	71.08%	28.92%
10	2.00	16.80	2.43%	73.52%	26.48%
16	1.19	44.00	6.37%	79.89%	20.11%
30	0.59	41.60	6.02%	85.91%	14.09%
40	0.42	16.10	2.33%	88.24%	11.76%
50	0.30	8.30	1.20%	89.45%	10.55%
100	0.15	14.40	2.09%	91.53%	8.47%
200	0.07	11.90	1.72%	93.26%	6.74%
Pasa 200		46.57	6.74%	100.00%	0.00%
Total		690.47			

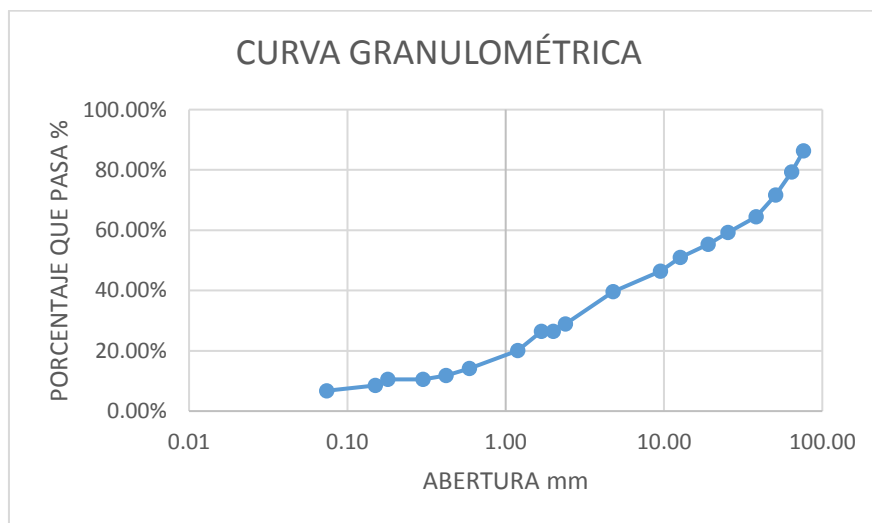


Figura 20: Curva granulométrica para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 252.

Tabla 28: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.172	
<b>D<sub>30</sub></b>	2.621	
<b>D<sub>60</sub></b>	27.188	
<b>% GRAVAS</b>	100% -% pasa por el tamiz N° 4	60.39%
<b>% ARENAS</b>	% pasa por tamiz N° 4 -% pasa por el tamiz N° 200	32.86%
<b>% FINOS</b>	% que pasa por el tamiz N° 200	6.74%

Coef. Uniformidad:  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = 158.07$  Ec. 1

Coef. Curvatura:  $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 1.47$  Ec. 2

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 1.00m a 1.50m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos:

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es menor al 50% estamos en presencia de Grava (**G**).
- ❖ Analizamos los coeficientes de Allen Hazen, para una arena bien gradada el  $C_u > 6$ ;  $1 \leq C_c \leq 3$ , las ecuaciones 1 y 2 si cumplen el siguiente requisito por lo tanto estamos en presencia de una grava bien gradada (**GW**).
- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 6.74%. El porcentaje de finos está entre 5% y 12%. El resultado es una grava mal gradada. Por lo tanto, podemos estar en presencia de una grava arcillosa (GC) y/o de una grava limosa (GM).
- ❖ Como última etapa analizamos los límites plástico y líquido que en los ensayos realizados no se obtuvieron dichos valores esto nos indica que no son suelos arcillosos por lo tanto estamos en presencia de un suelo limoso (**GM**).



Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de grava bien gradada con limo color marrón, humedad muy baja, no plástico. **(GW – GM)**. Con un pH de 7.83.

### Interpretación LoadCap.

La torre se cimentará sobre estratos de suelos limosos con una potencia de 0.50m, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$  y depósitos coluvio-aluviales: que comprenden gravas arenosas con una potencia de 0.50m, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 19.1, ángulo de resistencia al corte  $36^\circ$ , además de un estrato de gravas con limo, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 16.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 252 (T-252), descrita en la tabla N°29.

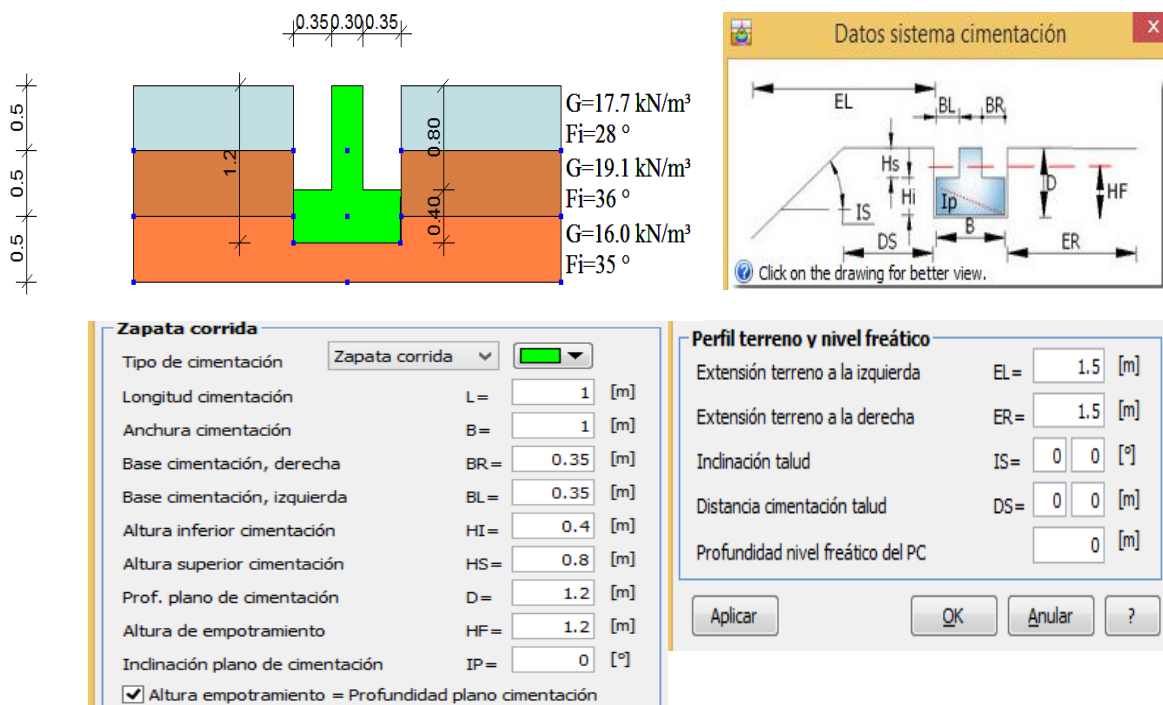


Figura 21: Diseño de cimentación zapata con sus respectivas dimensiones de acuerdo al tipo de material existente.

Tabla 29: Valores de Carga última vertical y Factor de seguridad, obtenidos del software LoadCap.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m <sup>2</sup> )	Tensión [Ed] (kN/m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Carga última</b>								
	HANSEN (1970)	469.13	156.38	150.00	3.13	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	18765.25
*	TERZAGHI (1955)	357.79	119.26	150.00	2.39	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	14311.50
	MEYERHOF (1963)	428.11	142.70	150.00	2.85	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	17124.49
	VESIC (1975)	489.18	163.06	150.00	3.26	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	19567.21
	Brinch - Hansen 1970	474.36	158.12	150.00	3.16	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	18974.36



### 3.12.6 Torre 254 (T - 254)

El hito está situado a la mitad de una ladera de pendiente media de 45 a 50°, con escasa vegetación; a la margen derecha del río Salca, al noreste de la comunidad de Santa Bárbara. La torre se cimentará sobre estratos de rocas calizas bastante fracturadas con indicios de dolomitización. Las coordenadas UTM del hito explorado y de la calicata en la pata "C" están descritos en la tabla N° 30.



Foto 16: Ubicación de la Torre 254 (T - 254), el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 30: Coordenadas UTM del Hito de la T-254 y de la calicata en la pata "C" con su respectiva profundidad.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof., (m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	266225	8438186	4291	H254	-----	-----
Apique	Pata C	266225	8438191	4291	A254	0.50	ROCA SEDIMENTARIA

## Caracterización del macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 31: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-254.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 - 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	3	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	12	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	9	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	3
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	2
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	8	
<b>VALOR TOTAL RMR</b>						<b>44</b>	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR (44) tenemos una roca de clase III, y calidad regular.

Tabla 32: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-254.

VALOR RMR						44
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	REGULAR

## Asignación de valor GSI.

Con las observaciones realizadas en campo estimamos en valor del GSI, de acuerdo a la disposición de los estratos de los macizos rocosos, fracturamiento, y la acción de agente meteóricos externos; designando un valor de 45 como se muestra en la Figura N° 22.

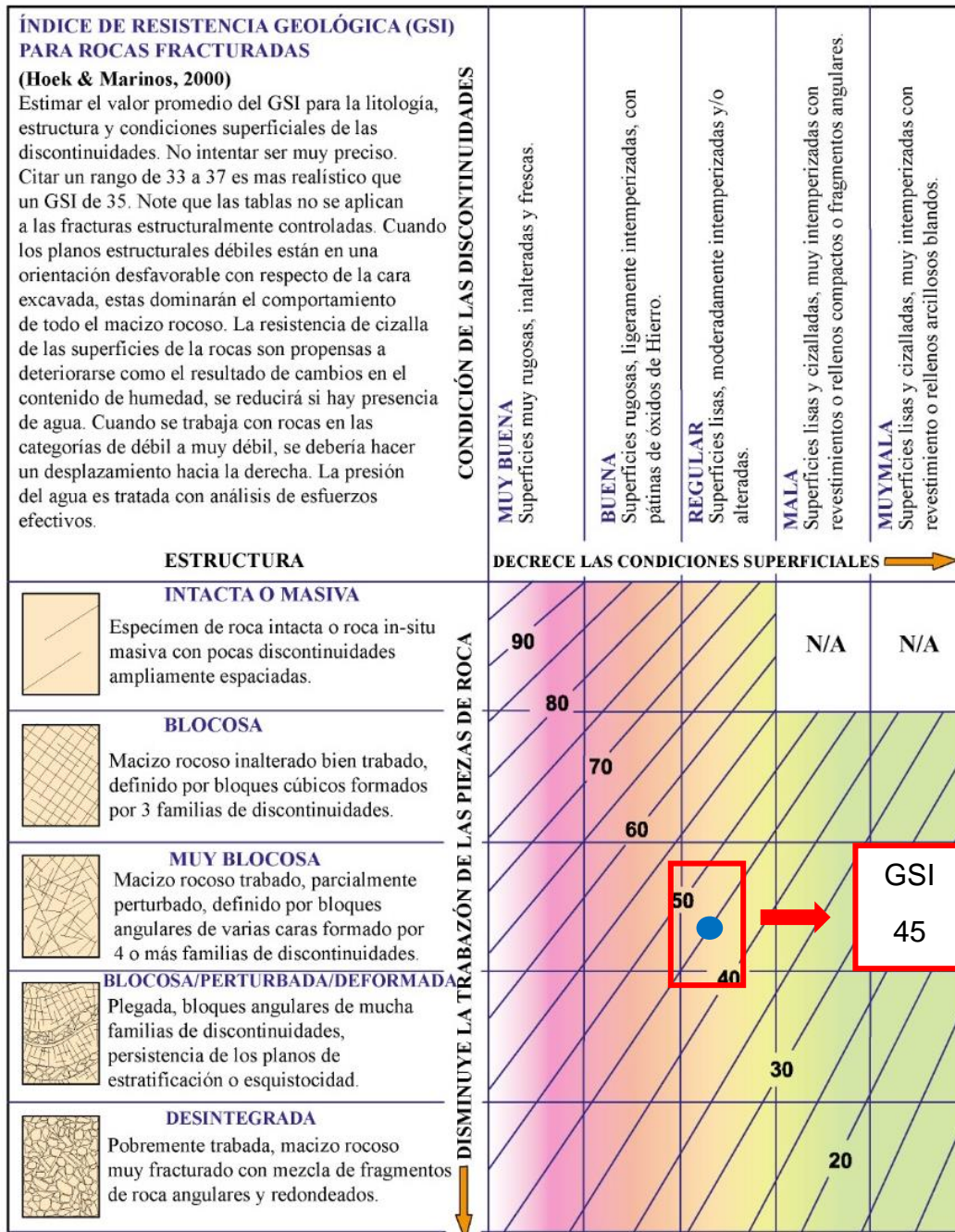


Figura 22: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-254.



## Interpretación RockLab

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 31, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 23 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

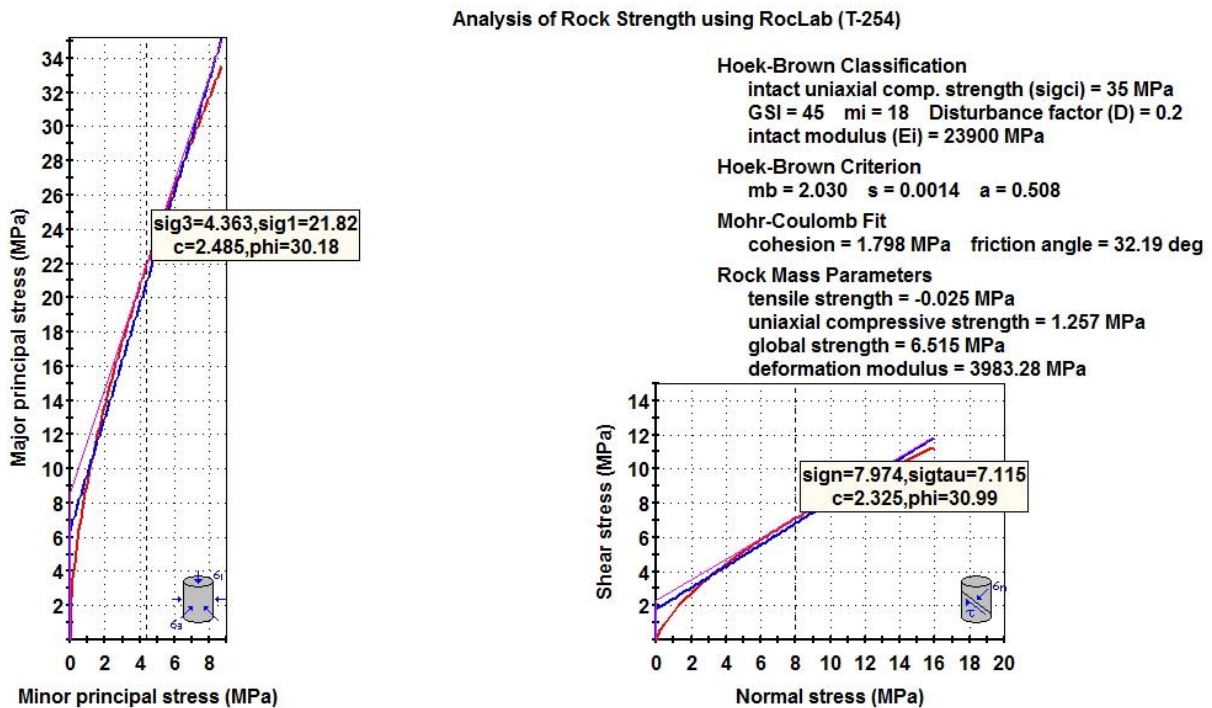


Figura 23: Gráfica de esfuerzos para la T - 254.

## Interpretación LoadCap.

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 22.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 254 (T-254), descrita en la tabla N°33.

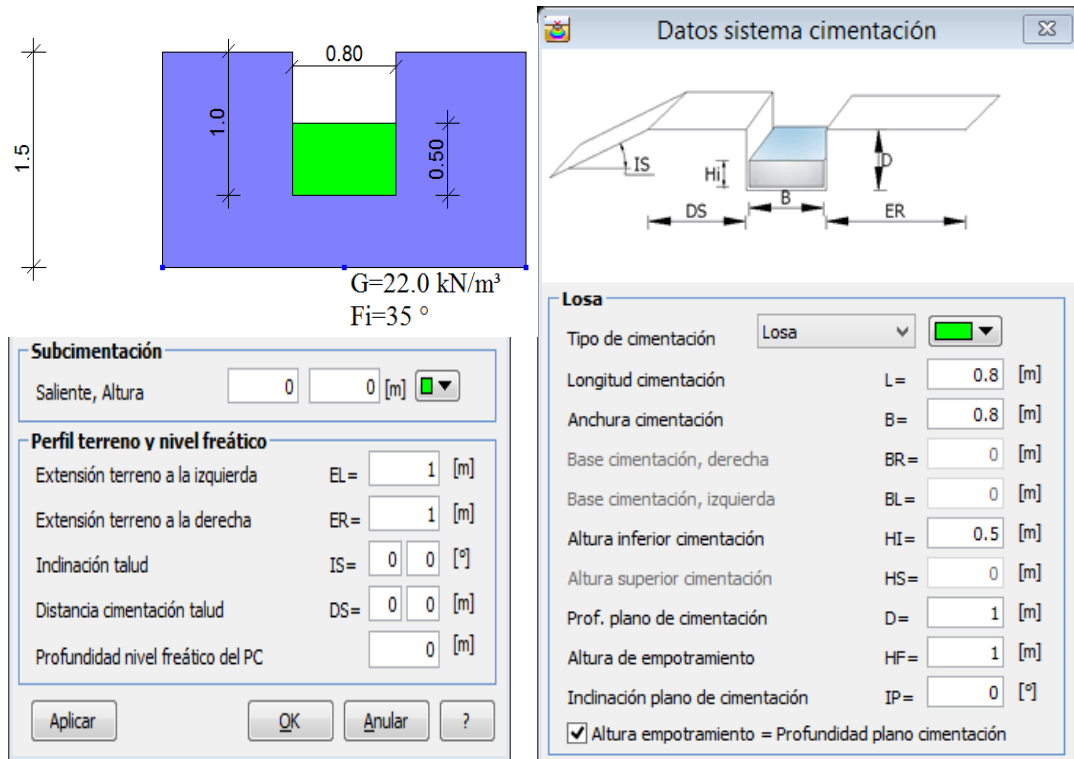


Figura 24: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 33: Carga última vertical y Factor de seguridad, obtenidos del software LoadCap.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m <sup>2</sup> )	Tensión [Ed] (kN/m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Const ante subsuelo (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Carga última</b>								
	Zienkiewicz	234.35	78.12	150.00	1.56	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; I <sub>r</sub> =159.145; I <sub>crit</sub> =119.301	0.00
*	Terzaghi	193.39	64.46	150.00	1.29	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; I <sub>r</sub> =159.145; I <sub>crit</sub> =119.301	7735.77

### 3.12.7 Torre 255 (T - 255)

La Torre 255 (T - 255) está ubicada a la mitad de una colina, con escasa vegetación, la zona está compuesta por gravas y cantos de origen coluvio-aluvial intercalados con limos de color marrón. Se realizó una calicata de 1.50m para obtener muestras cada 0.50m para su respectiva clasificación en laboratorio. Las coordenadas UTM del hito, así como de la calicata en la pata C se encuentran descritos en la tabla N° 34.



Foto 17: Ubicación de la T – 255, el círculo rojo viene a ser el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 34: Coordenadas UTM del Hito de la T-255 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof,(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	264882	8434951	4378	H255	-----	-----
Apique	Pata C	264877	8434950	4377	A255	1.50	Depósito Coluvial

Calicata: Coluvio-aluviales

Prof: 1.00m a 1.50m

Pms: 819.82 gr.

Tabla 35: Análisis granulométrico de la muestra para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 255.

Tamiz	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
2 ½"	64.00	134.80	16.44%	16.44%	83.56%
2"	50.80	98.70	12.04%	28.48%	71.52%
1 ½"	38.10	109.20	13.32%	41.80%	58.20%
1"	25.40	105.10	12.82%	54.62%	45.38%
¾"	19.00	83.10	10.14%	64.76%	35.24%
½"	12.70	56.70	6.92%	71.67%	28.33%
3/8"	9.51	37.30	4.55%	76.22%	23.78%
4	4.76	34.00	4.15%	80.37%	19.63%
8	2.38	41.90	5.11%	85.48%	14.52%
10	2.00	8.10	0.99%	86.47%	13.53%
16	1.19	20.80	2.54%	89.01%	10.99%
30	0.59	19.30	2.35%	91.36%	8.64%
40	0.42	8.60	1.05%	92.41%	7.59%
50	0.30	4.60	0.56%	92.97%	7.03%
100	0.15	10.30	1.26%	94.23%	5.77%
200	0.07	7.50	0.91%	95.14%	4.86%
Pasa 200		39.82	4.86%	100.00%	0.00%
Total		819.82			

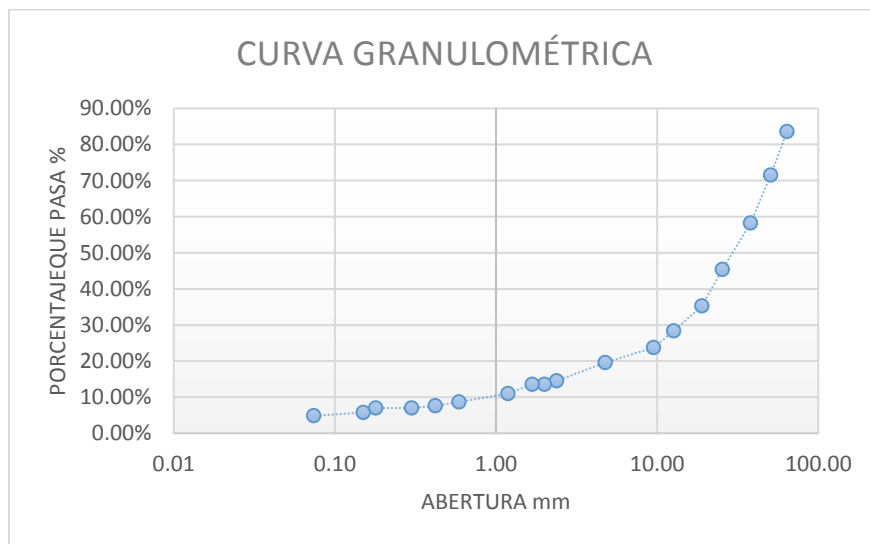


Figura 25: Curva granulométrica para una profundidad de 1.00m a 1.50m, en la calicata para la T - 255.



Tabla 36: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.937	
<b>D<sub>30</sub></b>	14.225	
<b>D<sub>60</sub></b>	39.818	
<b>% GRAVAS</b>	100% – % <i>pasa por el tamiz N° 4</i>	80.37%
<b>% ARENAS</b>	% <i>pasa por tamiz N° 4</i> – % <i>pasa por el tamiz N° 200</i>	14.77%
<b>% FINOS</b>	% <i>que pasa por el tamiz N° 200</i>	4.86%

Coef. Uniformidad:  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = 42.50$  Ec. 1

Coef. Curvatura:  $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 5.42$  Ec. 2

### **Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 1.00m a 1.50m.**

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos:

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es menor al 50% estamos en presencia de Grava **(G)**.
- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 4.86%. El porcentaje de finos es menor al 5%. Podemos estar en presencia de una grava bien gradada **(GW)** o tal vez una grava mal gradada **(GP)** para ello analizaremos los coeficientes de Allen Hazen.
- ❖ Analizamos los coeficientes de Allen Hazen, para una arena bien gradada el  $C_u > 6$ ;  $1 \leq C_c \leq 3$ , las ecuaciones 1 y 2 no cumplen el siguiente requisito por lo tanto estamos en presencia de una grava mal gradada **(GP)**.
- ❖ Como última etapa analizamos los límites plástico y líquido que en los ensayos realizados no se obtuvieron dichos valores esto nos indica que no son suelos arcillosos por lo tanto estamos en presencia de un suelo limoso **(GM)**.

Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de grava mal gradada con limo color marrón, humedad muy baja, no plástico. **(GP – GM)**. Con un pH de 7.92.

### Interpretación LoadCap.

La torre se cimentará sobre estratos de suelos limosos con una potencia de 0.50m, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$  y depósitos coluvio-aluviales de 2.0m de potencia, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 16.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 255 (T-255), descrita en la tabla N°37.

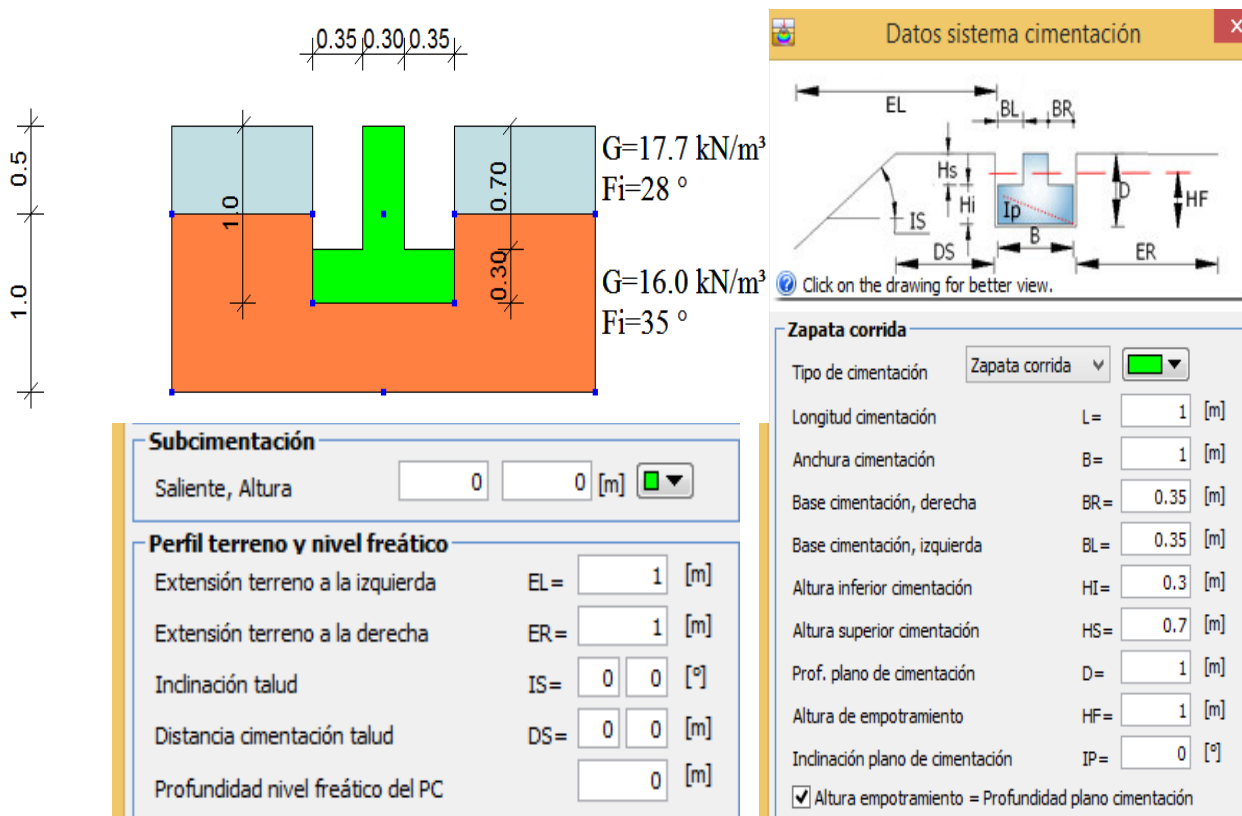


Figura 26: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al material encontrado.

Tabla 37: Carga última vertical y Factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m <sup>2</sup> )	Tensión [Ed] (kN/m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Carga última</b>								
	HANSEN (1970)	368.89	122.96	100.00	3.69	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=1410.408; Icrit=119.301	14755.43
*	TERZAGHI (1955)	261.96	87.32	100.00	2.62	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=1410.408; Icrit=119.301	10478.57
	MEYERHOF (1963)	307.81	102.60	100.00	3.08	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=1410.408; Icrit=119.301	12312.53
	VESIC (1975)	380.23	126.74	100.00	3.8	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=1410.408; Icrit=119.301	15209.31
	Brinch - Hansen 1970	368.72	122.91	100.00	3.69	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=1410.408; Icrit=119.301	14748.80

### 3.12.8 Torre 256N (T – 256N)

El sitio de torre está emplazado a la mitad de una lomada con una pendiente entre 45 y 50°, con escaza vegetación; la torre se cimentará sobre estratos de rocas calizas que se encuentran cubiertas por una capa de suelo orgánico. Las coordenadas UTM del hito, así como de las calicatas en las patas “Á” y “C” se encuentran descritos en la tabla N° 38.



Foto 18: Ubicación de la T – 256N, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 38: Coordenadas UTM del Hito de la T-256N y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof.(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	264724	8434460	4085	H256N	-----	-----
Apique	Pata C	264719	8434461	4093	A256N	0.45	ROCA SEDIMENTARIA
Apique verificación	Pata A	264730	8434464	4156	AV256N	0.76	ROCA SEDIMENTARIA

## Caracterización del macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 39: Asignación de valores para el macizo rocoso, T – 256N.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 - 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	10	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	16	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	13	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	4
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	4
	Relleno	Ninguno (6)	Duro < 5mm (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	4
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	9	
<b>VALOR TOTAL RMR</b>						<b>64</b>	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR (64) tenemos una roca de clase II, y calidad buena.

Tabla 40: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-256N.

VALOR RMR						64
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	II
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	BUENA





## Interpretación RockLab

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 40, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 28 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

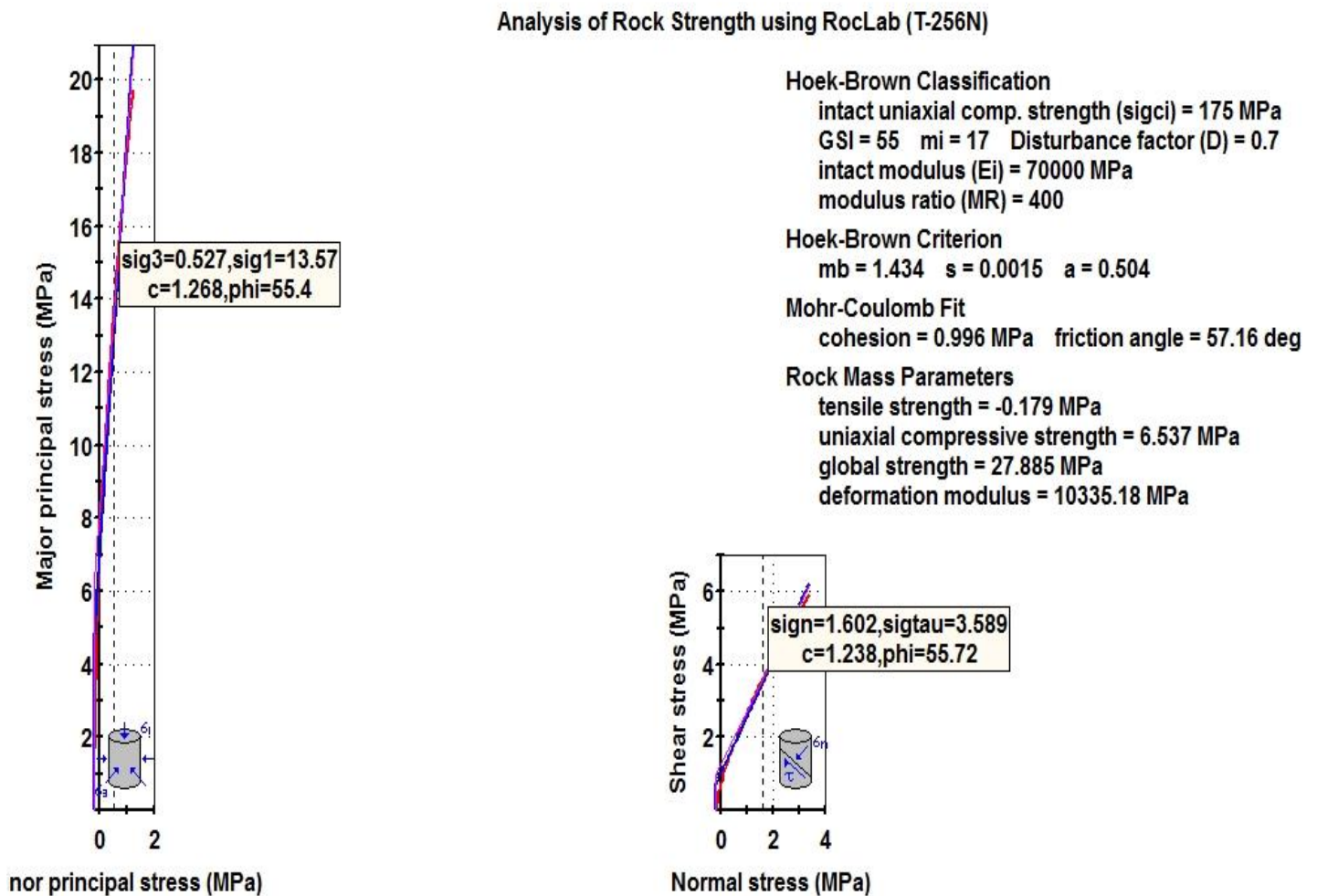


Figura 28: Gráfica de esfuerzos para la T – 256N.



## Interpretación LoadCap.

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 22.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 256N (T-256N), descrita en la tabla N°41.

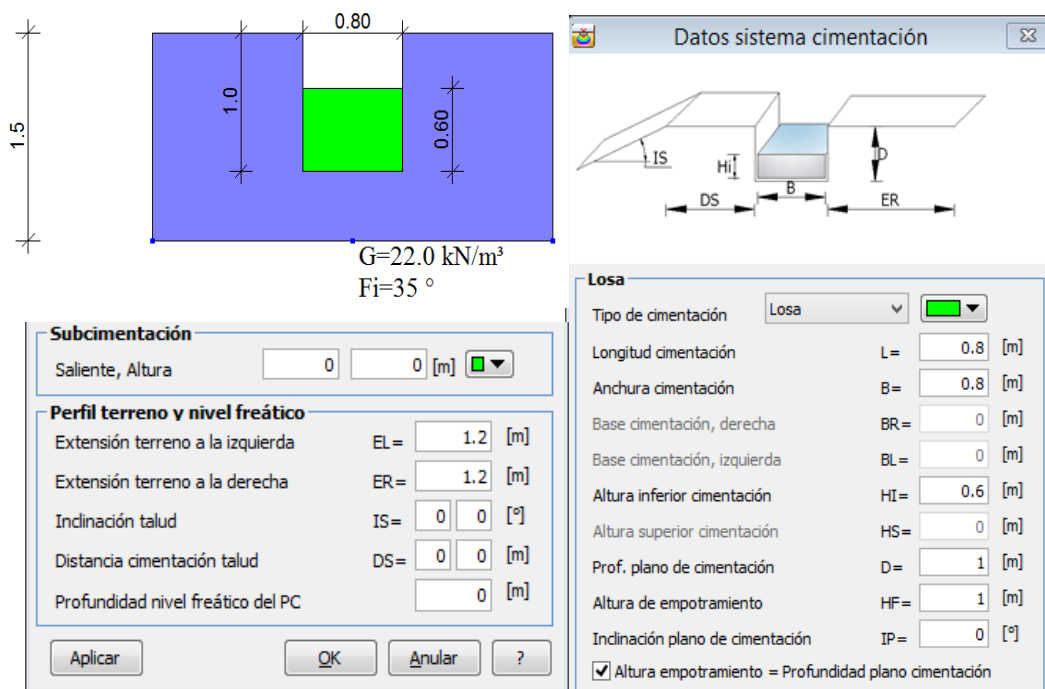


Figura 29: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al material encontrado.

Tabla 41: Valores obtenidos de LoadCap de carga última vertical y factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] ( $\text{kN/m}^2$ )	Resistencia de proyecto [Rd] ( $\text{kN/m}^2$ )	Tensión [Ed] ( $\text{kN/m}^2$ )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo ( $\text{kN/m}^3$ )
<b>Carga última</b>								
	Zienkiewicz	234.35	78.12	150.00	1.56	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=159.145; Icrit=119.301	0.00
*	Terzaghi	193.39	64.46	150.00	1.29	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=159.145; Icrit=119.301	7735.77

### 3.12.9 Torre 257N (T – 257N)

El sitio de Torre 257 está emplazado en una meseta formada en la cima de una colina, con escaza vegetación; la morfología favoreció que en el lugar se depositen suelos.



Foto 19: Ubicación de la T – 257N, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 42: Coordenadas UTM del Hito de la T-257N y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof,(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	264537	8433901	4054	H257	-----	-----
Apique	Pata B	264542	8433895	4053	A257	4.50	SUELO

Se realizó la excavación de una calicata de 1m<sup>2</sup>, para obtener muestras cada 0.50m; a partir del metro de profundidad se hizo ensayo SPT para obtener muestras en cuchara partida con un diámetro de perforación de 3.5cm. A continuación, realizaremos la clasificación de los suelos en las profundidades de 3.5m a 4.50m debido a que a esta profundidad se cimentará las patas de las futuras torres.

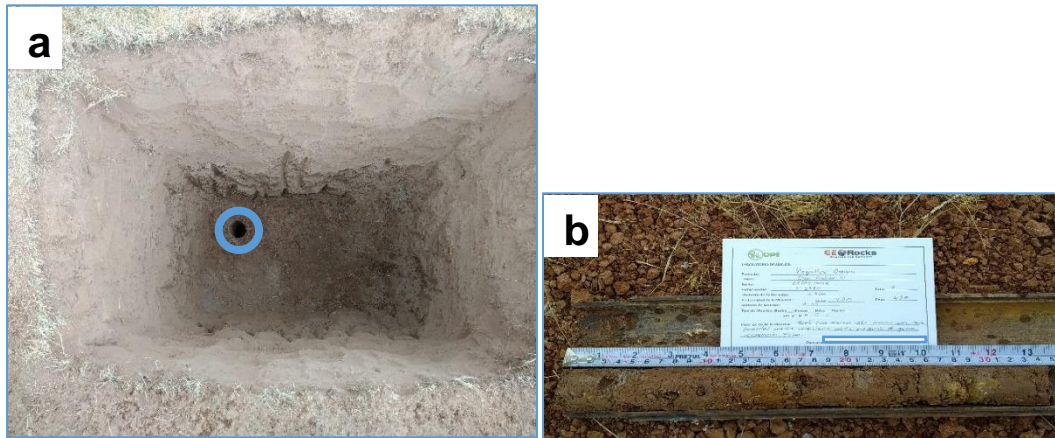


Foto 20: Calicata en la T-257N, el círculo rojo viene a ser el sitio de la perforación (a), muestra extraída en la cuchara partida, medida y rotulada (b).

Tabla 43: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 3.00m a 3.50m en la calicata para la T – 257N.

Tamiz	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
1/2"	12.70	21.50	7.92%	7.92%	92.08%
3/8"	9.51	12.20	4.49%	12.41%	87.59%
4	4.76	15.60	5.74%	18.16%	81.84%
8	2.38	17.30	6.37%	24.53%	75.47%
10	2.00	3.40	1.25%	25.78%	74.22%
16	1.19	9.70	3.57%	29.35%	70.65%
30	0.59	10.60	3.90%	33.25%	66.75%
40	0.42	6.30	2.32%	35.57%	64.43%
50	0.30	4.10	1.51%	37.08%	62.92%
100	0.15	15.80	5.82%	42.90%	57.10%
200	0.07	13.30	4.90%	47.80%	52.20%
Pasa 200		141.75	52.20%	100.00%	0.00%
Total		271.55			

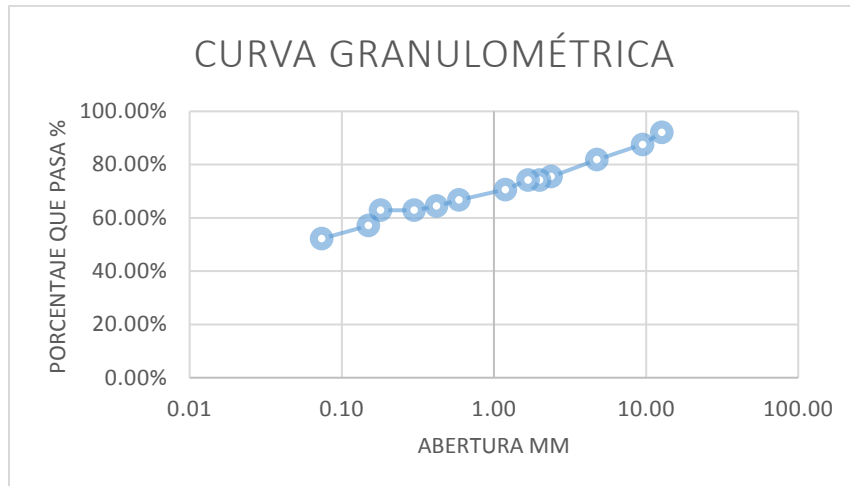


Figura 30: Curva granulométrica para una profundidad de 3.00m a 3.50m, en la calicata para la T – 257N.

Tabla 44: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.014	
<b>D<sub>30</sub></b>	0.043	
<b>D<sub>60</sub></b>	0.165	
<b>% GRAVAS</b>	100% – % pasa por el tamiz N° 4	18.16%
<b>% ARENAS</b>	% pasa por tamiz N° 4 – % pasa por el tamiz N° 200	29.64%
<b>% FINOS</b>	% que pasa por el tamiz N° 200	52.20%

Coef. Uniformidad:  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = 11.786$  Ec. 1

Coef. Curvatura:  $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 0.800$  Ec. 2

Tabla 45: Límites de consistencia.

DESCRIPCIÓN N° DE ENSAYO	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
<b>P<sub>1</sub> = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g</b>	28.00	30.50	32.47	27.17	25.02
<b>P<sub>2</sub> = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g</b>	25.00	26.64	28.39	23.24	22.79
<b>P<sub>3</sub> = Peso Recipiente, en g</b>	16.60	16.30	18.10	6.30	13.00
<b>P<sub>w</sub> = Peso del Agua, en g</b>	3.00	3.86	4.08	3.93	2.23
<b>P<sub>s</sub> = Peso Suelo Seco, en g</b>	8.40	10.34	10.29	16.94	9.79
<b>W = Contenido de agua, en %</b>	35.71%	37.33%	39.65%	23.20%	22.78%
<b>N° DE GOLPES</b>	36.00	25.00	16.00		
<b>P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub></b>	<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				37.62%
<b>P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub> - P<sub>3</sub></b>	<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				22.99%
<b>w = (P<sub>w</sub> / P<sub>s</sub>) x 100</b>	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LI - Lp)</b>				14.63%

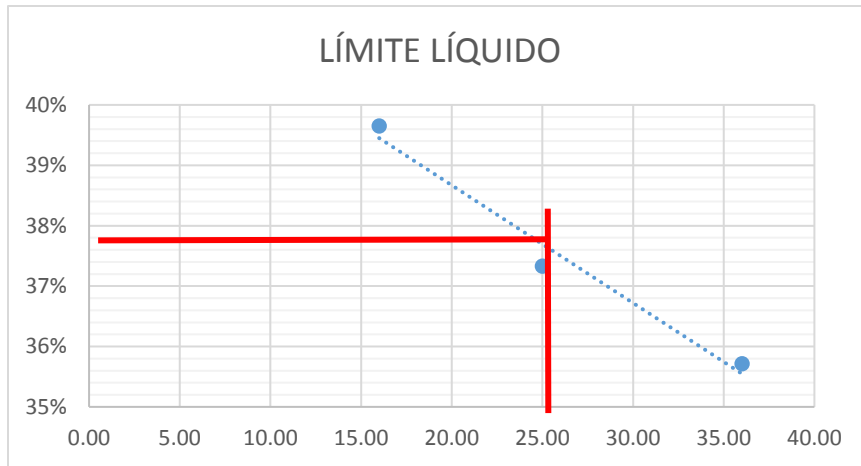


Figura 31: Ábaco para la obtención de Límite Líquido.

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 3.00m a 3.50m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos:

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es mayor al 50% por lo tanto tenemos un suelo fino.
- ❖ Utilizando los límites líquidos y plásticos ya calculados en la tabla N° 45, intersectamos los valores para obtener en presencia de qué suelo nos encontramos.

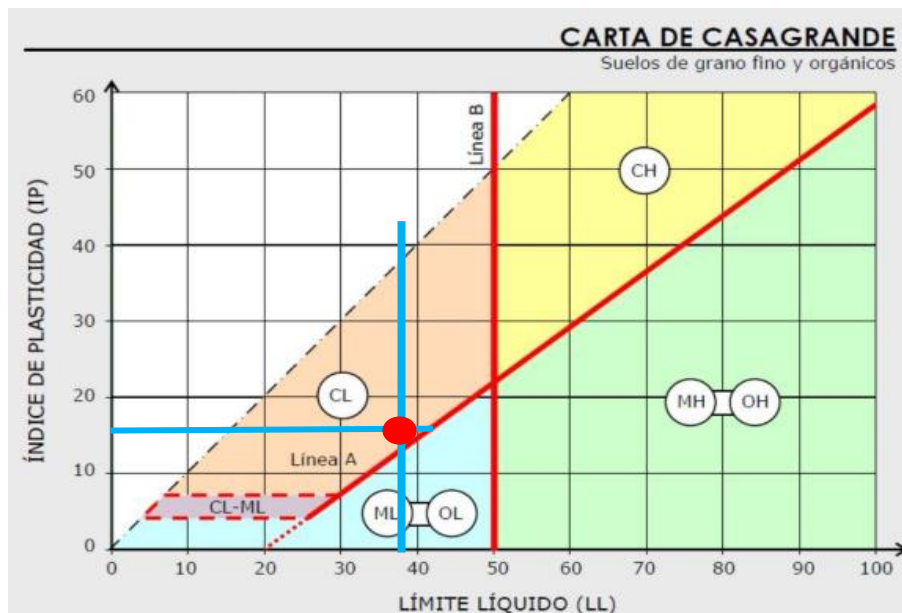


Figura 32: Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S)

Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de una arcilla de baja plasticidad (**CL**). Con un pH de 7.83.

Ensayo SPT

Prof: 4.00m a 4.50m

Pms: 271.92

Tabla 46: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 4.00m a 4.50m en la calicata para la T – 257N.

Tamiz, plg	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
1/2"	12.70	20.60	7.58%	7.58%	92.42%
3/8"	9.51	28.20	10.37%	17.95%	82.05%
4	4.76	28.00	10.30%	28.24%	71.76%
8	2.38	37.60	13.83%	42.07%	57.93%
10	2.00	6.00	2.21%	44.28%	55.72%
16	1.19	16.40	6.03%	50.31%	49.69%
30	0.59	17.60	6.47%	56.78%	43.22%
40	0.42	9.20	3.38%	60.16%	39.84%
50	0.30	7.70	2.83%	63.00%	37.00%
100	0.15	15.70	5.77%	68.77%	31.23%
200	0.07	12.10	4.45%	73.22%	26.78%
Pasa 200		72.82	26.78%	100.00%	0.00%
Total		271.92			

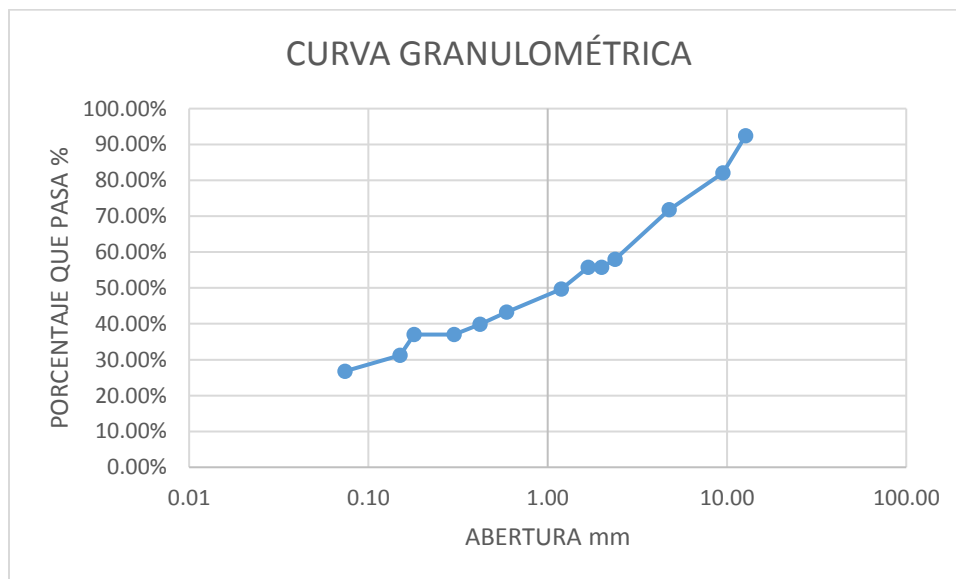


Figura 33: Curva granulométrica para una profundidad de 4.00m a 4.50m, en la calicata para la T – 257N.

Tabla 47: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.028	
<b>D<sub>30</sub></b>	0.129	
<b>D<sub>60</sub></b>	2.736	
<b>% GRAVAS</b>	100% – % pasa por el tamiz N° 4	28.24%
<b>% ARENAS</b>	% pasa por tamiz N° 4 – % pasa por el tamiz N° 200	44.98%
<b>% FINOS</b>	% que pasa por el tamiz N° 200	26.78%

Coef. Uniformidad:  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = 97.714$  Ec. 1

Coef. Curvatura:  $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 0.217$  Ec. 2

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 4.00m a 4.50m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es mayor al 50% estamos en presencia de arena.
- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 26.78%. El porcentaje de finos es mayor al 12%. Por lo tanto, debemos analizar límites de consistencia.
- ❖ Como última etapa analizamos los límites plástico y líquido que en los ensayos realizados no se obtuvieron dichos valores esto nos indica que no son suelos arcillosos por lo tanto estamos en presencia de un suelo limoso **(SM)**.

Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de arena con limo color marrón, no plástico. **(SM)**. Con un pH de 7.23.



## Interpretación LoadCap.

La torre se cimentará sobre estratos de suelos arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 20.6; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 257N (T-257N), descrita en la tabla N°48.

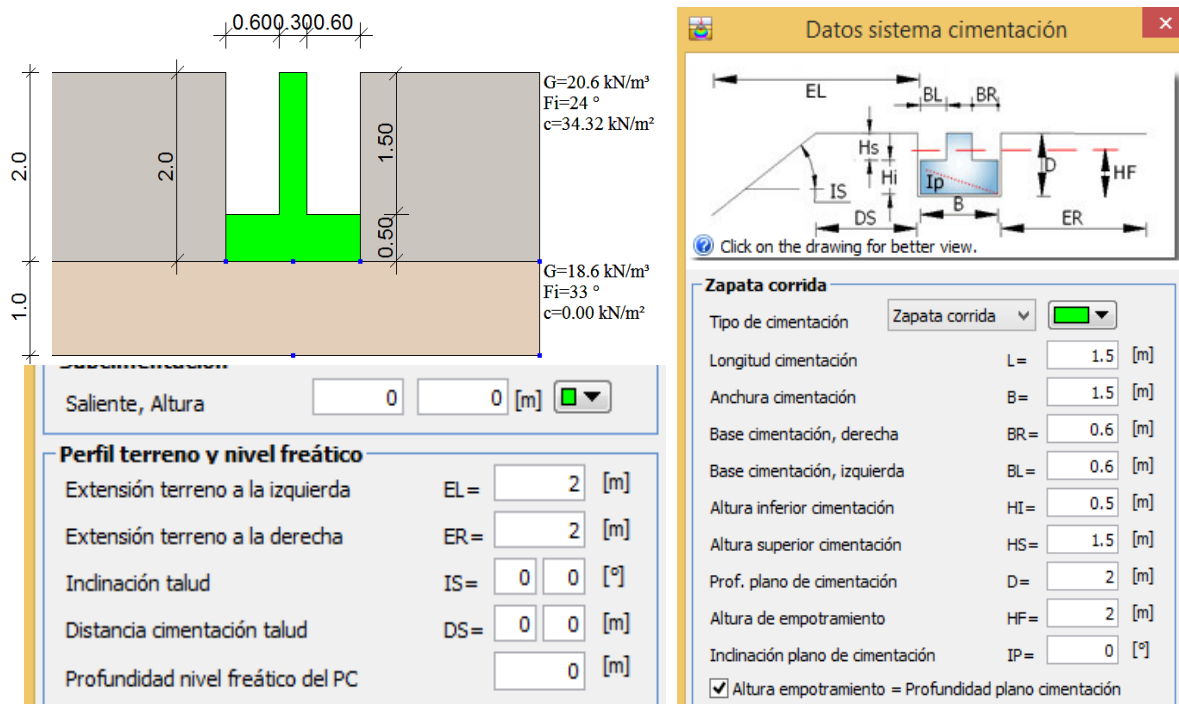


Figura 34: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 48: Carga última vertical y Factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] ( $\text{kN/m}^2$ )	Resistencia de proyecto [Rd] ( $\text{kN/m}^2$ )	Tensión [Ed] ( $\text{kN/m}^2$ )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo ( $\text{kN/m}^3$ )
Carga última								
	HANSEN (1970)	721.22	240.41	150.00	4.81	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=273.803; Icrit=95.192	28848.90
*	TERZAGHI (1955)	507.42	169.14	150.00	3.38	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=273.803; Icrit=95.192	20296.98
	MEYERHOF (1963)	617.88	205.96	150.00	4.12	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=273.803; Icrit=95.192	24715.17
	VESIC (1975)	737.47	245.82	150.00	4.92	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=273.803; Icrit=95.192	29498.83
	Brinch - Hansen 1970	717.34	239.11	150.00	4.78	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=273.803; Icrit=95.192	28693.58

### 3.12.10 Torre 259 (T - 259)

El sitio de Torre está situado a la mitad de una lomada, al Este del distrito Santa Bárbara a 1.3km aproximadamente, con escasa vegetación; los materiales que componen el área de estudio son materiales de origen cuaternario. Las coordenadas UTM del hito, así como de la calicata en la pata C se encuentran descritos en la tabla N° 49.



Foto 21: Ubicación de la T – 259, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 49: Coordenadas UTM del Hito de la T-259 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof,(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	263929	8433037	4005	H259	-----	-----
Apique	Pata C	263921	8433037	4007	A259	2.23	SUELO

Tabla 50: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 2.00m a 2.23m en la calicata para la T - 259.

Tamiz	Tamiz, mm	Peso [gr]	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3/8"	9.51	15.70	7.34%	7.34%	92.66%
4	4.76	21.70	10.14%	17.48%	82.52%
8	2.38	37.60	17.57%	35.05%	64.95%
10	2.00	6.60	3.08%	38.13%	61.87%
16	1.19	20.50	9.58%	47.71%	52.29%
30	0.59	21.20	9.91%	57.62%	42.38%
40	0.42	10.10	4.72%	62.34%	37.66%
50	0.30	5.40	2.52%	64.87%	35.13%
100	0.15	8.50	3.97%	68.84%	31.16%
200	0.07	7.60	3.55%	72.39%	27.61%
Pasa 200		59.08	27.61%	100.00%	0.00%
Total		213.98			

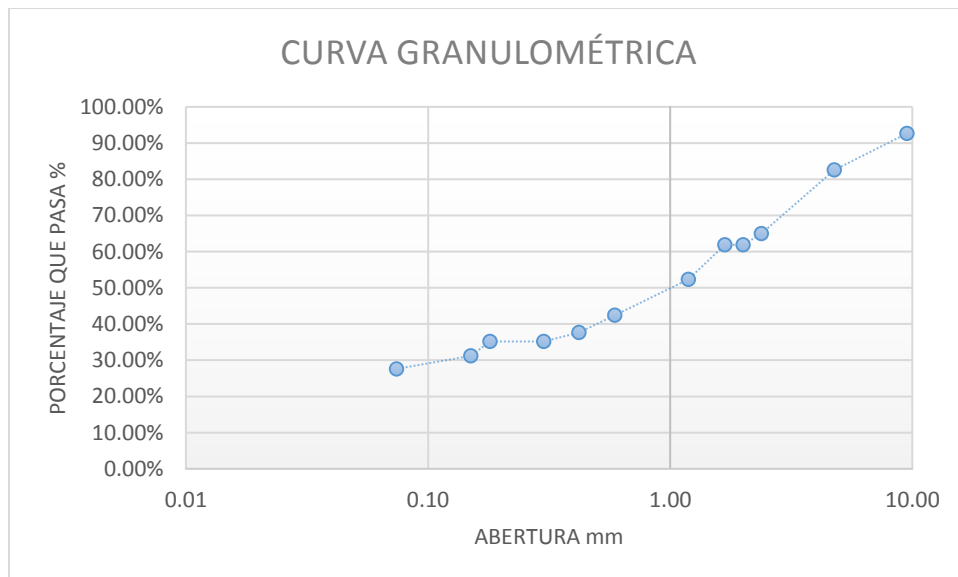


Figura 35: Curva granulométrica para una profundidad de 2.00m a 2.23m, en la calicata para la T - 259.

Tabla 51: Límites de consistencia.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
<b>P<sub>1</sub> = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g</b>	35.02	37.64	39.92	24.15	22.36
<b>P<sub>2</sub> = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g</b>	29.00	30.88	32.56	21.03	20.17
<b>P<sub>3</sub> = Peso Recipiente, en g</b>	14.60	15.30	16.30	6.20	9.30
<b>P<sub>w</sub> = Peso del Agua, en g</b>	6.02	6.76	7.36	3.12	2.19
<b>P<sub>s</sub> = Peso Suelo Seco, en g</b>	14.40	15.58	16.26	14.83	10.87
<b>W = Contenido de agua, en %</b>	41.81	43.39	45.26	21.04	20.15
<b>N° DE GOLPES</b>	35	23	14		
<b>P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub></b>	<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>			43.48	
<b>P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub> - P<sub>3</sub></b>	<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>			20.59	
<b>w = (P<sub>w</sub> / P<sub>s</sub>) x 100</b>	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LI - Lp)</b>			22.89	

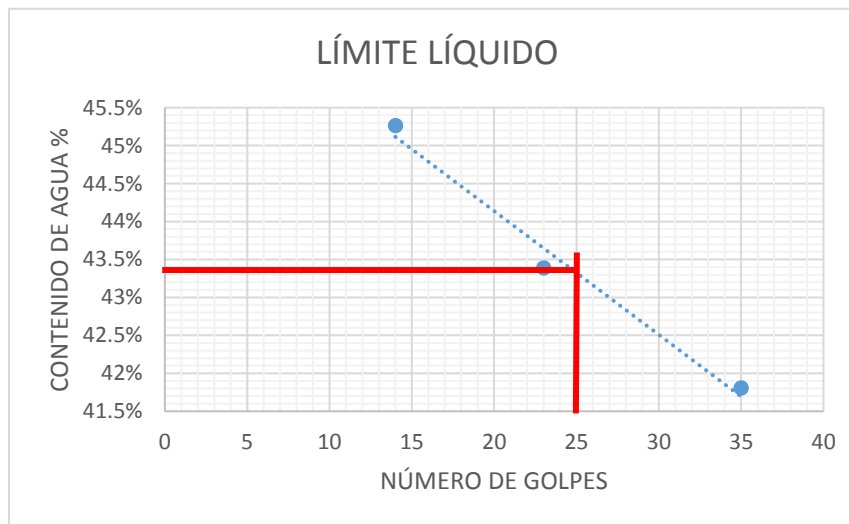


Figura 36: Ábaco para determinar el límite líquido mediante el número de golpes y el contenido de humedad.

Tabla 52: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%; además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.027	
<b>D<sub>30</sub></b>	0.125	
<b>D<sub>60</sub></b>	1.585	
<b>% GRAVAS</b>	100% - % pasa por el tamiz N° 4	17.48%
<b>% ARENAS</b>	% pasa por tamiz N° 4 - % pasa por el tamiz N° 200	54.91%
<b>% FINOS</b>	% que pasa por el tamiz N° 200	27.61%

Coef. Uniformidad:  $\frac{D_{60}}{D_{10}} = 58.704$  Ec. 1

Coef. Curvatura:  $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 0.079$  Ec. 2

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 2.00m a 2.23m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es mayor al 50% estamos en presencia de arena **(S)**.
- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 27.61%. El porcentaje de finos es mayor al 12%.
- ❖ Utilizando los límites líquidos y plásticos ya calculados en la tabla N° 51, intersectamos los valores para obtener en presencia de qué suelo nos encontramos.

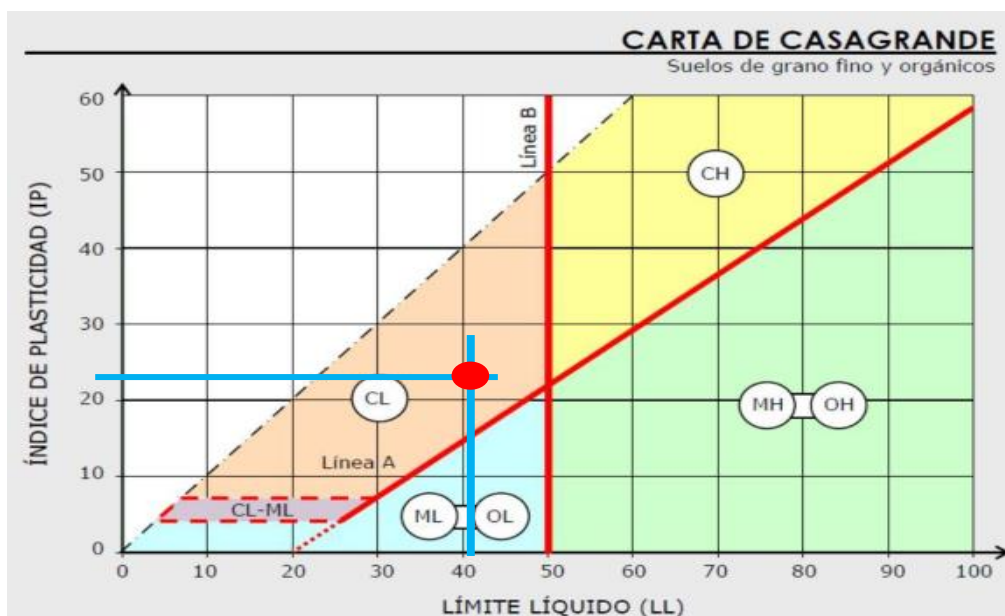


Figura 37: Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de arena arcillosa de color rojizo, con plasticidad baja **(SC)**. Con un pH de 7.14.

## Interpretación LoadCap

La torre se cimentará sobre estratos de suelos Arenos arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$ , según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 259 (T-259), descrita en la tabla N°53.

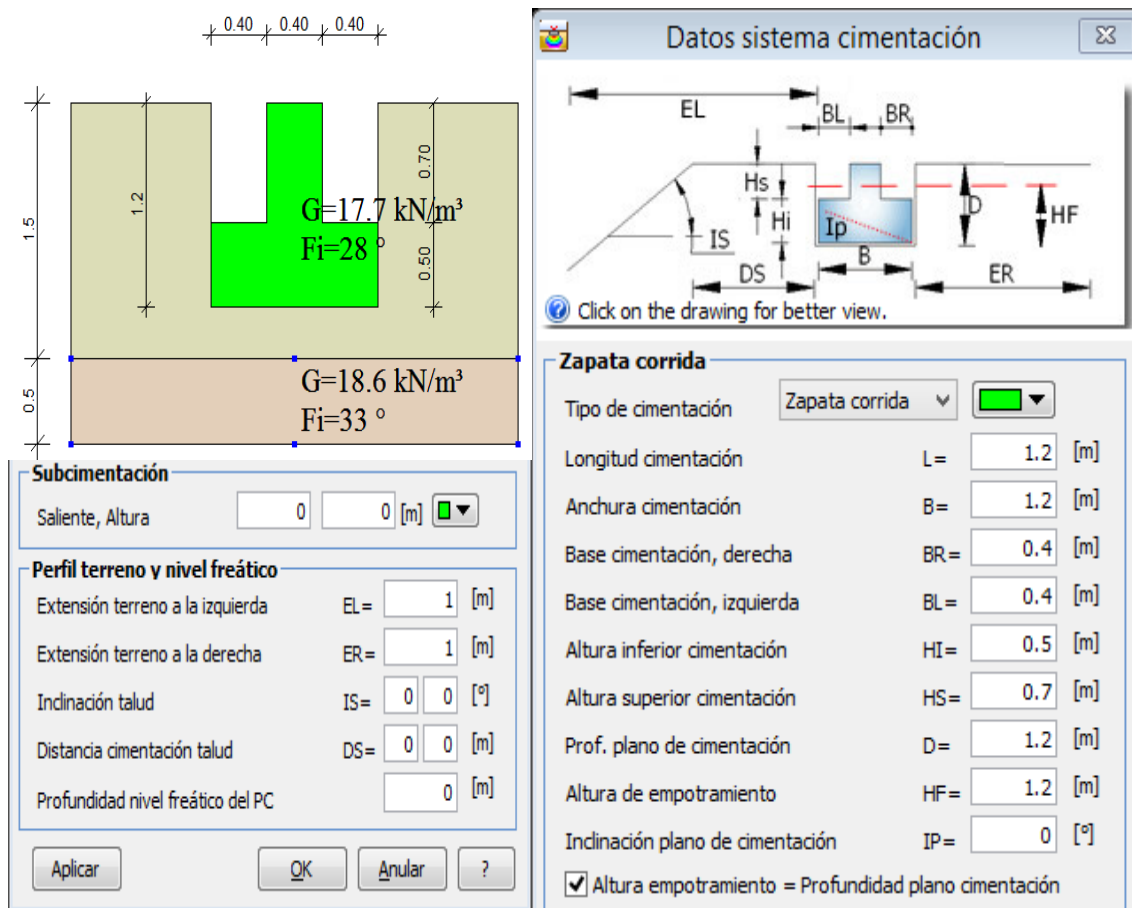


Figura 38: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 53: Valores obtenidos de LoadCap de carga última vertical y factores de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] (kN/m <sup>2</sup> )	Resistencia de proyecto [Rd] (kN/m <sup>2</sup> )	Tensión [Ed] (kN/m <sup>2</sup> )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo (kN/m <sup>3</sup> )
<b>Carga última</b>								
	HANSEN (1970)	669.66	223.22	150.00	4.46	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=287.607; Icrit=57.4	26786.21
*	TERZAGHI (1955)	490.66	163.55	150.00	3.27	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=287.607; Icrit=57.4	19626.55
	MEYER HOF (1963)	589.25	196.42	150.00	3.93	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=287.607; Icrit=57.4	23569.81
	VESIC (1975)	695.61	231.87	150.00	4.64	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=287.607; Icrit=57.4	27824.44
	Brinch - Hansen 1970	671.77	223.92	150.00	4.48	Comprobado	* Mecanismo de rotura general; Ir=287.607; Icrit=57.4	26870.79



### 3.12.11 Torre 259 A (T – 259 A)

El punto está situado sobre una terraza aluvial de superficie plana a la margen izquierda del río Irubamba al Este del distrito Santa Bárbara a unos 946 metros aproximadamente. Las coordenadas UTM del sitio explorado se muestran en la foto N° 22 en la parte inferior izquierda y en la parte inferior derecha una imagen del hito de la Torre.



Foto 22: Ubicación de la T – 259A, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

realizando un muestreo cada 0.50m, también se extrajo muestra proctor (M-Proctor) para ensayos de clasificación límites de consistencia y gradación, ensayo densidad mínima y máxima; luego se procedió a aplicar ensayo de penetración estándar SPT (Standard Penetration Test) en un primer caso avanzando hasta 1.62m dando rechazo por entrar en contacto con cantos y bloques de la terraza aluvial, procediendo a realizar verificación en la esquina diagonal donde se realizó la primera perforación dando rechazo a los 2.14m y dando por finalizado la realización del ensayo SPT, se envolvió las muestras extraídas con papel aluminio y vinipell para mantener su propiedades y así realizar una correcta clasificación en el laboratorio de Georocks Engineering.

Tabla 54: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 1.00m a 1.50m en la calicata para la T - 259A.

GRADACIÓN (ASTM D-422/MTC E 107/NTP 339.128)					
Peso inicial:	479.3	(gr)	Peso final:	449.9	(gr)
Tamiz	Tamiz, mm	Peso (gr)	% Reten.	% Ret.Acum	% Pasa
3/8"	9.51	1.60	1.0%	1.0%	99.0%
4	4.76	4.60	3.0%	4.0%	96.0%
8	2.38	10.40	6.8%	10.8%	89.2%
10	2.00	3.20	2.1%	12.9%	87.1%
16	1.19	21.00	13.7%	26.6%	73.4%
30	0.59	52.70	34.3%	60.9%	39.1%
40	0.42	20.30	13.2%	74.1%	25.9%
50	0.30	9.40	6.1%	80.3%	19.7%
100	0.15	12.00	7.8%	88.1%	11.9%
200	0.07	4.00	2.6%	90.7%	9.3%
Pasa 200		12.31	9.3%	100%	0.0%
Total		153.51			

Tabla 55: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%, además del porcentaje de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.094	
<b>D<sub>30</sub></b>	0.473	
<b>D<sub>60</sub></b>	0.955	
<b>% GRAVAS</b>	100% – % pasa por el tamiz N° 4	43.40%
<b>% ARENAS</b>	% pasa por tamiz N° 4 – % pasa por el tamiz N° 200	50.47%
<b>% FINOS</b>	% que pasa por el tamiz N° 200	6.13%

$$\text{Coef. Uniformidad: } \frac{D_{60}}{D_{10}} = 10.164 \quad \text{Ec. 1}$$

$$\text{Coef. Curvatura: } \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}} = 2.494 \quad \text{Ec. 2}$$

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 1.00m a 1.50m.

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.

- ❖ % que pasa por el tamiz N° 4 es mayor al 50% estamos en presencia de arena.
- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 9.3%. El porcentaje de finos se encuentra entre el 5 y 12%.
- ❖ Analizamos los coeficientes de Allen Hazen, para una arena bien gradada el  $C_u > 6$ ;  $1 \leq C_c \leq 3$ , las ecuaciones 1 y 2 cumplen el siguiente requisito por lo tanto estamos en presencia de una arena bien gradada **(SW)**.
- ❖ Como última etapa analizamos los límites plástico y líquido que en los ensayos realizados no se obtuvieron dichos valores esto nos indica que no son suelos arcillosos por lo tanto estamos en presencia de un suelo limoso **(SM)**.

Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Estamos en presencia de arena mal gradada con limo color rojizo oscuro, con trazas de finos, humedad muy baja, no plástico. **(SW - SM)**. Con un pH de 7.38.

Ensayo SPT

Prof: 1.50m a 2.00m

Pms: 228.0gr.

Tabla 56: Análisis granulométrico de la muestra en la profundidad de 1.50m a 2.00m en la calicata para la T.259A.

GRADACIÓN (ASTM D-422/MTC E 107/NTP 339.128)					
<b>Peso inicial:</b>	<b>479.3</b>	<b>(gr)</b>	<b>Peso final:</b>	<b>449.9</b>	<b>(gr)</b>
<b>Tamiz</b>	<b>Tamiz, mm</b>	<b>Peso (gr)</b>	<b>% Reten.</b>	<b>% Ret.Acum</b>	<b>% Pasa</b>
3/8"	9.51	16.50	7.20%	7.2%	92.8%
4	4.76				
8	2.38	5.30	2.3%	9.6%	90.4%
10	2.00	1.20	0.5%	10.1%	89.9%
16	1.19	9.00	3.9%	14.0%	86.0%
30	0.59	20.60	9.0%	23.1%	76.9%
40	0.42	13.60	6.0%	29.0%	71.0%
50	0.30	9.70	4.3%	33.3%	66.7%
100	0.15	23.20	10.2%	43.5%	56.5%
200	0.07	19.50	8.6%	52.0%	48.0%
Pasa 200		109.42	48.0%	100%	0.0%
Total		228.02			

Tabla 57: Límites de consistencia.

DESCRIPCIÓN	LÍMITE LÍQUIDO			LÍMITE PLÁSTICO	
	1	2	3	1	2
<b>N° DE ENSAYO</b>					
<b>P<sub>1</sub> = Peso Recipiente + Suelo Húmedo, en g</b>	29.28	31.83	36.15	24.63	26.59
<b>P<sub>2</sub> = Peso Recipiente + Suelo Seco, en g</b>	26.00	27.49	29.73	21.91	23.20
<b>P<sub>3</sub> = Peso Recipiente, en g</b>	16.90	16.20	13.80	9.50	8.60
<b>P<sub>w</sub> = Peso del Agua, en g</b>	3.28	4.34	6.42	2.72	3.39
<b>P<sub>s</sub> = Peso Suelo Seco, en g</b>	9.10	11.29	15.93	12.41	14.60
<b>W = Contenido de agua, en %</b>	36.04	38.44	40.30	21.92	23.22
<b>N° DE GOLPES</b>	36	23	14		
<b>P<sub>w</sub> = P<sub>1</sub> - P<sub>2</sub></b>	<b>LÍMITE LÍQUIDO</b>				38.20 %
<b>P<sub>s</sub> = P<sub>2</sub> - P<sub>3</sub></b>	<b>LÍMITE PLÁSTICO</b>				22.57 %
<b>w = (P<sub>w</sub> / P<sub>s</sub>) x 100</b>	<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD (IP = LI - Lp)</b>				15.63 %

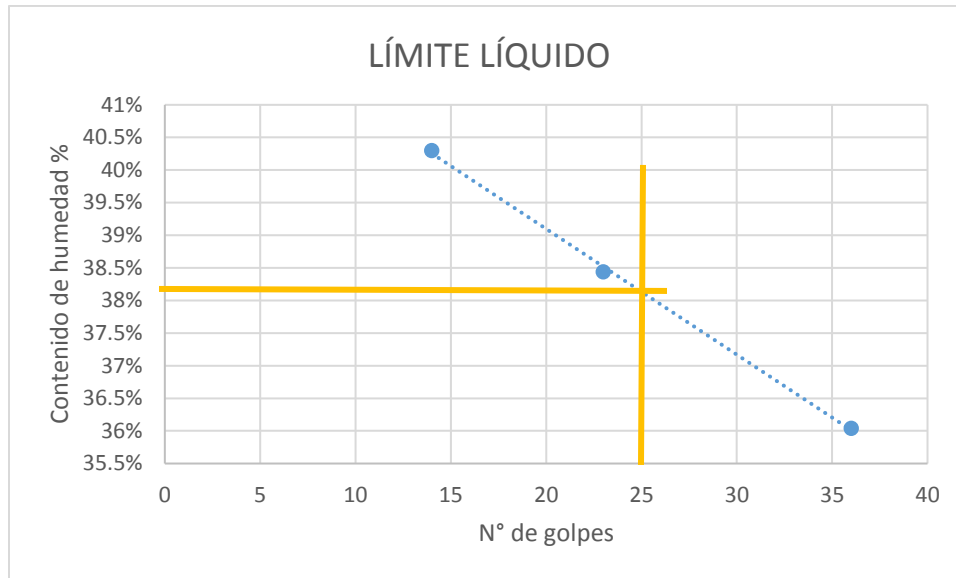


Figura 39: Ábaco para determinar el límite líquido mediante el número de golpes y el contenido de humedad.

Tabla 58: Diámetro de partículas cuando el porcentaje que pasa es del 10, 30 y 60%, además de los coeficientes de uniformidad y curvatura, y los porcentajes de gravas arenas y finos.

<b>D<sub>10</sub></b>	0.015
<b>D<sub>30</sub></b>	0.046
<b>D<sub>60</sub></b>	0.160
<b>% GRAVAS</b>	7.2%
<b>% ARENAS</b>	48.0%
<b>% FINOS</b>	40.8%
Coef. Uniformidad: $\frac{D_{60}}{D_{10}}$	10.667
Coef. Curvatura: $\frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$	0.875

### Clasificación S.U.C.S. para la profundidad de 1.50 a 2.00m

Para identificar el tipo de suelo seguimos los siguientes pasos

- ❖ % que pasa por el tamiz 200 es menor al 50% por lo tanto tenemos un suelo grueso.
- ❖ El % de arenas con respecto a los finos y gravas es mayor por lo tanto estamos en presencia de una arena (**S**).

- ❖ % de finos que contiene este suelo grueso que vendría a ser el % que pasa por la malla N° 200, para este caso es 48.0%. El porcentaje es mayor al 12%. Por lo tanto, debemos analizar si nos encontramos en presencia de arena limosa (**SM**) o arena arcillosa (**SC**).
- ❖ Utilizando los límites líquidos y plásticos ya calculados en la tabla N° 57, intersectamos los valores para obtener en presencia de qué suelo nos encontramos.

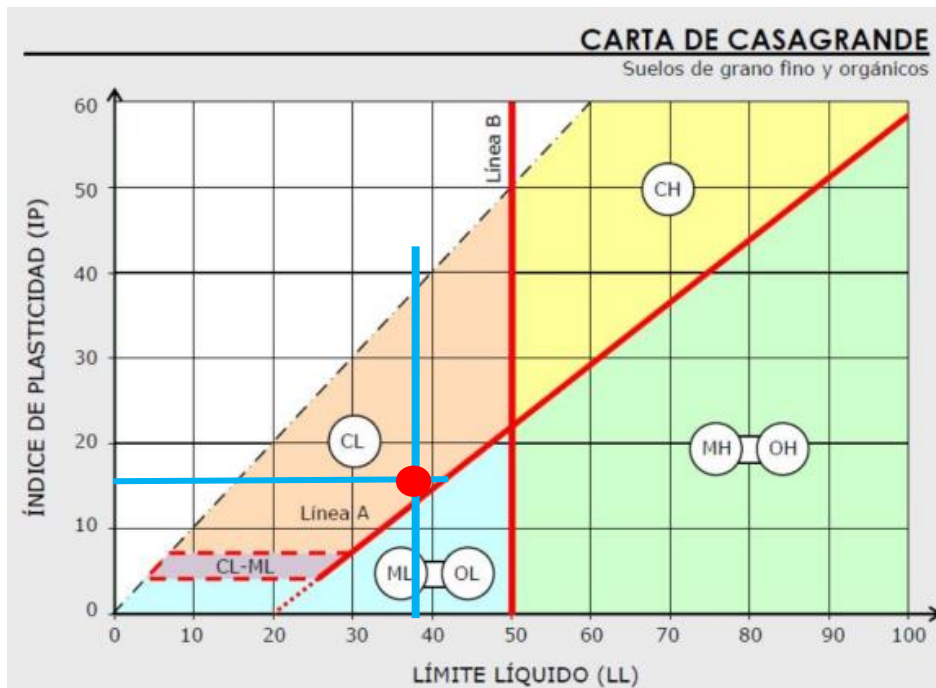


Figura 40: Carta de plasticidad de Casagrande (S.U.C.S)

Intersectando el índice de plasticidad con el límite líquido, estamos en presencia de una arcilla (**C**). Finalmente obtenemos la clasificación SUCS: Arena Arcillosa (**SC**). Con un pH de 7.41.

## Interpretación LoadCap.

La torre se cimentará sobre estratos de suelos arenosos mal gradados, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$  y suelos areno arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 18.6, ángulo de resistencia al corte  $33^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 255 (T-255), descrita en la tabla N°59.

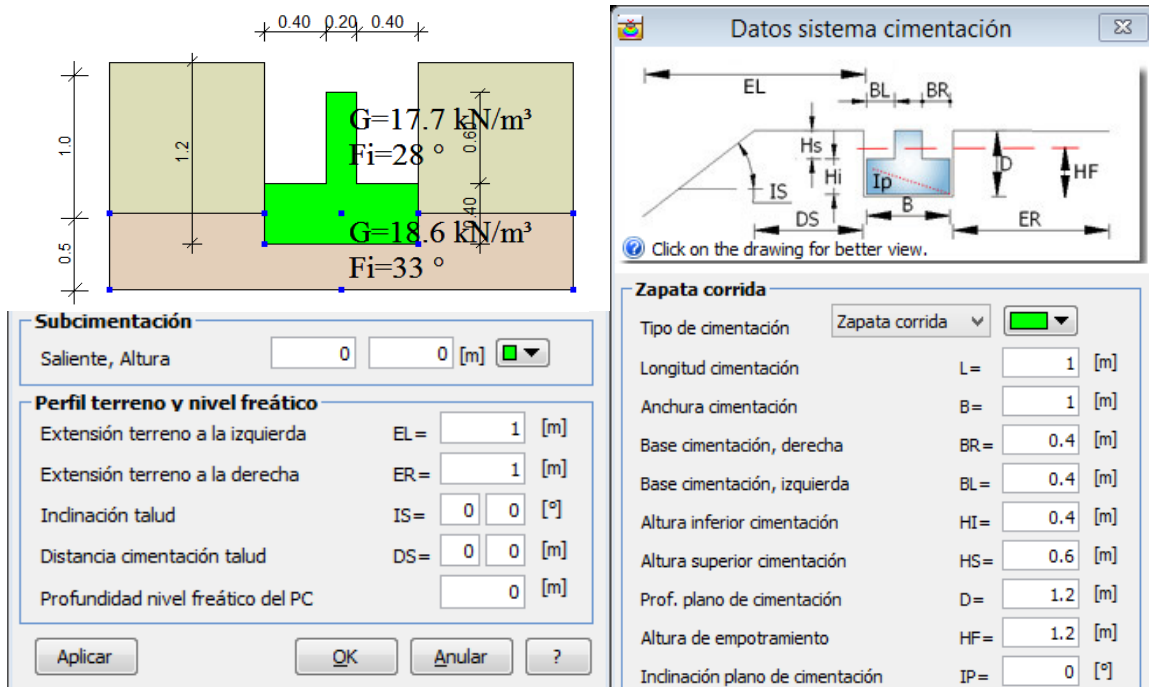


Figura 41: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 59: Valores obtenidos de LoadCap para la carga última vertical y factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] ( $\text{kN/m}^2$ )	Resistencia de proyecto [Rd] ( $\text{kN/m}^2$ )	Tensión [Ed] ( $\text{kN/m}^2$ )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo ( $\text{kN/m}^3$ )
Carga última								
	HANSEN (1970)	373.47	124.49	150.00	2.49	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	14938.62
*	TERZAGHI (1955)	272.52	90.84	150.00	1.82	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	10900.68
	MEYERHOF (1963)	323.99	108.00	150.00	2.16	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	12959.51
	VESIC (1975)	384.28	128.09	150.00	2.56	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	15371.19
	Brinch - Hansen 1970	373.56	124.52	150.00	2.49	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=0.0; Icrit=0.0	14942.50



### 3.12.12 Torre 260 (T - 260)

El sitio de Torre está situado a la mitad de un escarpe al Suroeste del Distrito de Santa Bárbara, con escasa vegetación. El área de estudio lo compone una capa de espesor 45 cm aproximadamente para luego encontrarse con estratos potentes de Calizas que predominan el área explorada. Las coordenadas UTM del hito y de las calicatas en las patas "D" y "B" están descritos en la tabla N° 60.



Foto 23: Ubicación de la T – 260, el círculo rojo viene a hacer el centro donde se cimentará la estructura de la Torre.

Tabla 60: Coordenadas UTM del Hito de la T-260 y de los puntos donde se realizaron las excavaciones de las calicatas con sus respectivas profundidades.

Tipo	Punto investigación	Coordenadas				Prof.(m)	Comentario
		Este	Norte	Altitud	waypoint		
Hito	Centro	263100	8432174	4110	H260	-----	-----
Apique	Pata D	263097	8432183	4107	A260	0.47	ROCA SEDIMENTARIA
Apique verificación	Pata B	263103	8432167	4108	AV260	0.21	ROCA SEDIMENTARIA

## Caracterización del macizo.

### Asignación de puntaje. (Clasificación Geomecánica Bieniawski 1989.)

Tabla 61: Asignación de valores para el macizo rocoso, T-248.

VALORACIÓN DEL MACIZO ROCOSO (RMR)							
PARÁMETRO	RANGO DE VALORES Y VALORACIONES					Val	
Resistencia a la compresión uniaxial (Mpa)	> 250 (15)	250 - 100 (12)	100 - 50 (7)	50 - 25 (4)	<25 (2) <5 (1) <1 (0)	6	
RQD (%)	90 - 100 (20)	75 - 90 (17)	50 - 75 (13)	25 - 50 (8)	<25 (3)	11	
Espaciamiento (M)	>2 m (20)	0.6 - 2 m (15)	0.2 - 0.6 (10)	0.06 - 0.2 (8)	<0.06 (5)	8	
Condición de las juntas	Persistencia	< 1m (6)	1 - 3 m (4)	3 - 10 m (2)	10 - 20 m (1)	> 20 m (0)	3
	Apertura	Cerrada (6)	< 0.01 mm (5)	0.1 - 1.0 mm (4)	1 - 5 mm (1)	> 5 mm (0)	3
	Rugosidad	Muy Rugosa (6)	Rugosa (5)	Lig. Rugosa (3)	Lisa (1)	Suave (0)	2
	Relleno	Ninguno (6)	Duro 5mm < (4)	Duro > 5mm (2)	Suave < 5mm (1)	Suave > 5mm (0)	1
	Alteración	Sana (6)	Lig. Alterada (5)	Moder. Alterada (3)	Muy Alterada (1)	Descompuesta (0)	4
AGUA SUBTERRÁNEA	Seco (15)	Ligeramente Húmedo (10)	Húmedo (7)	Goteando (4)	Agua Fluyendo (0)	9	
<b>VALOR TOTAL RMR</b>						<b>47</b>	

## Clasificación RMR.

Según la clasificación geomecánica RMR (47) tenemos una roca de clase III, y calidad regular.

Tabla 62: Clasificación de calidad de roca, según valor RMR para la T-248.

VALOR RMR						47
CLASE DE MACIZO ROCOSO						
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	20 - 0	III
DESCRIPCIÓN	I MUY BUENA	II BUENA	III REGULAR	IV MALA	V MUY MALA	REGULAR

## Asignación de valor GSI.

Con las observaciones realizadas en campo estimamos en valor del GSI, de acuerdo a la disposición de los estratos de los macizos rocosos, fracturamiento, y la acción de agente meteóricos externos; designando un valor de 52 como se muestra en la Figura N° 42.

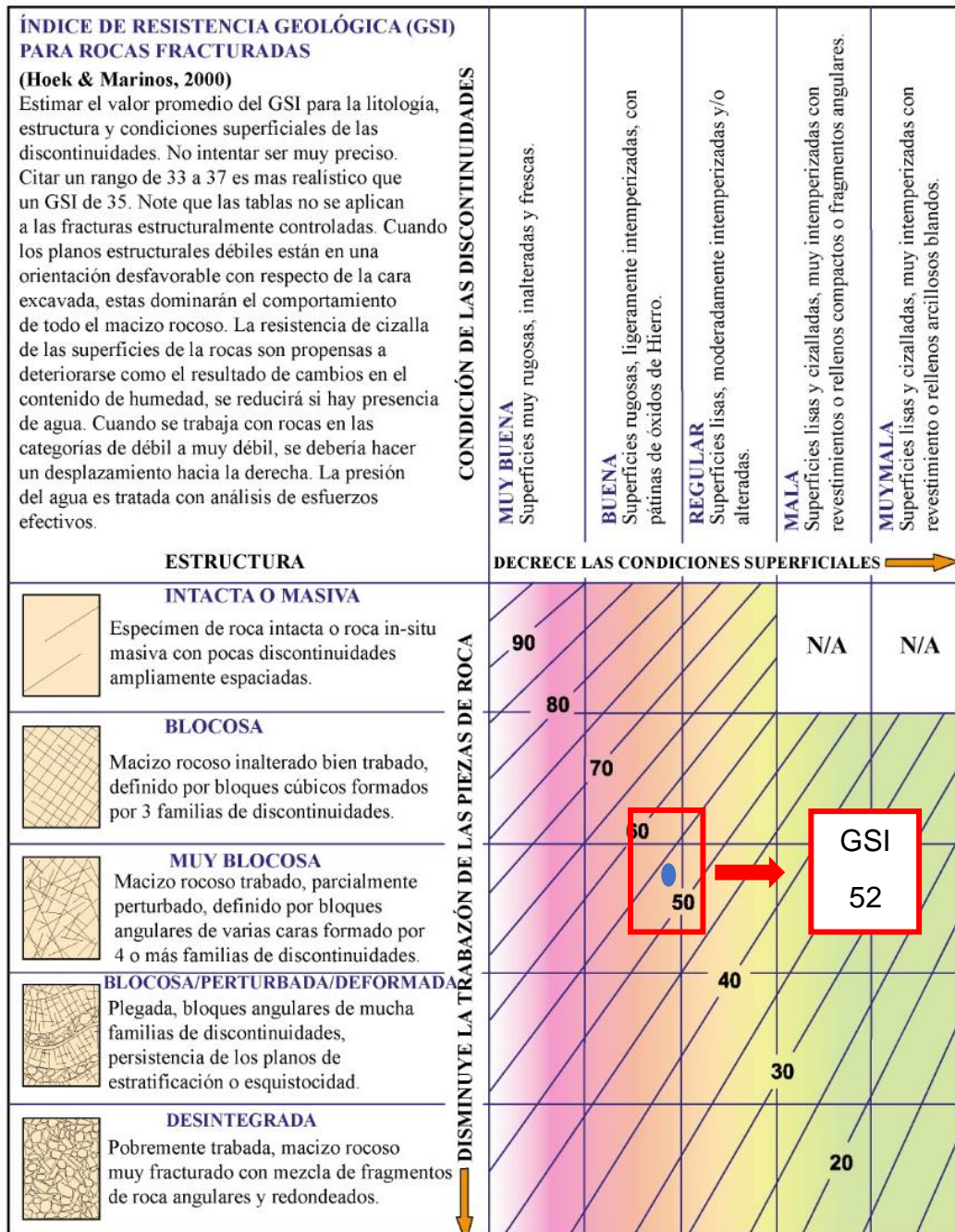


Figura 42: Asignación de GSI para el macizo rocoso de la T-260.



## Interpretación RockLab

Teniendo en cuenta la valoración RMR realizada en la tabla N° 61, insertamos dichos valores al Software Rock Data, para la obtención de los distintos parámetros; en la Figura N° 43 podemos apreciar en la parte “a” la relación existente entre los esfuerzos principales tanto el mayor como el menor; en la parte “b” la relación entre la tensión normal con la cortante.

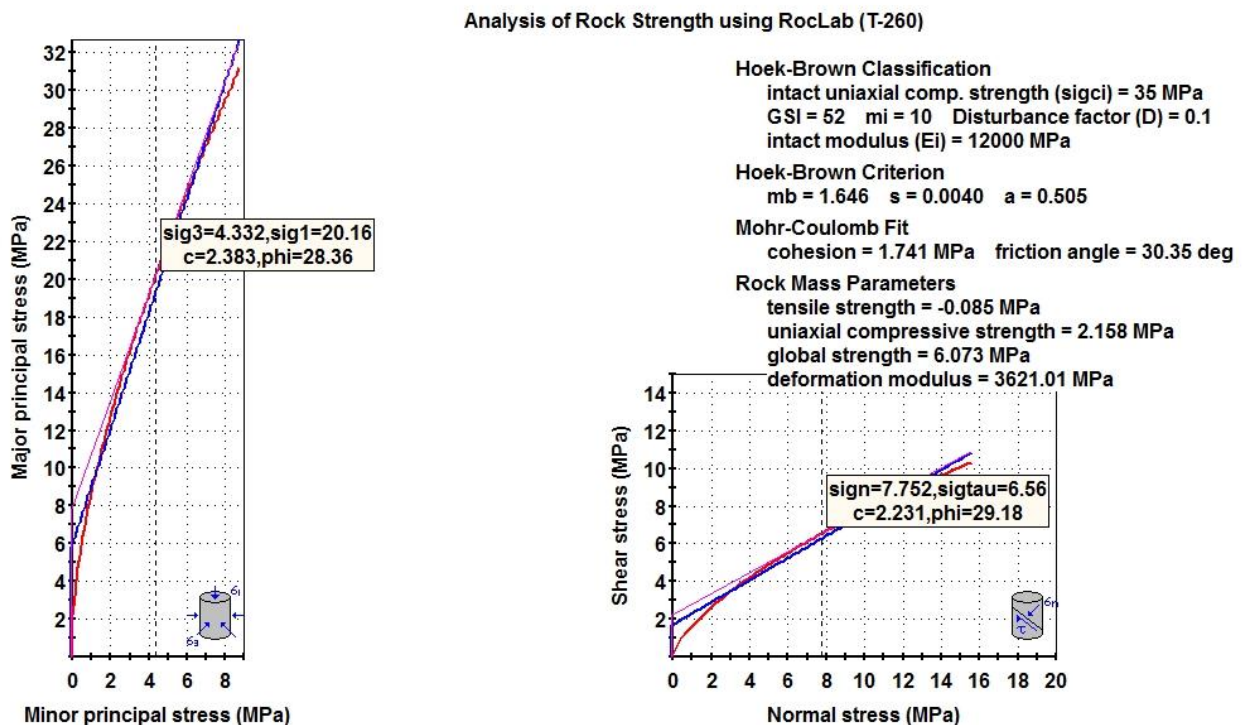


Figura 43: Gráfica de esfuerzos para la T - 260.

## Interpretación LoadCap

Con los datos obtenidos en laboratorio tales como peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 22.0, ángulo de resistencia al corte  $35^\circ$ ; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25; se procedió a insertar dichos datos en el software LoadCap para la obtención del Factor de Seguridad y Carga Última para el sitio de Torre 260 (T-260), descrita en la tabla N°63.

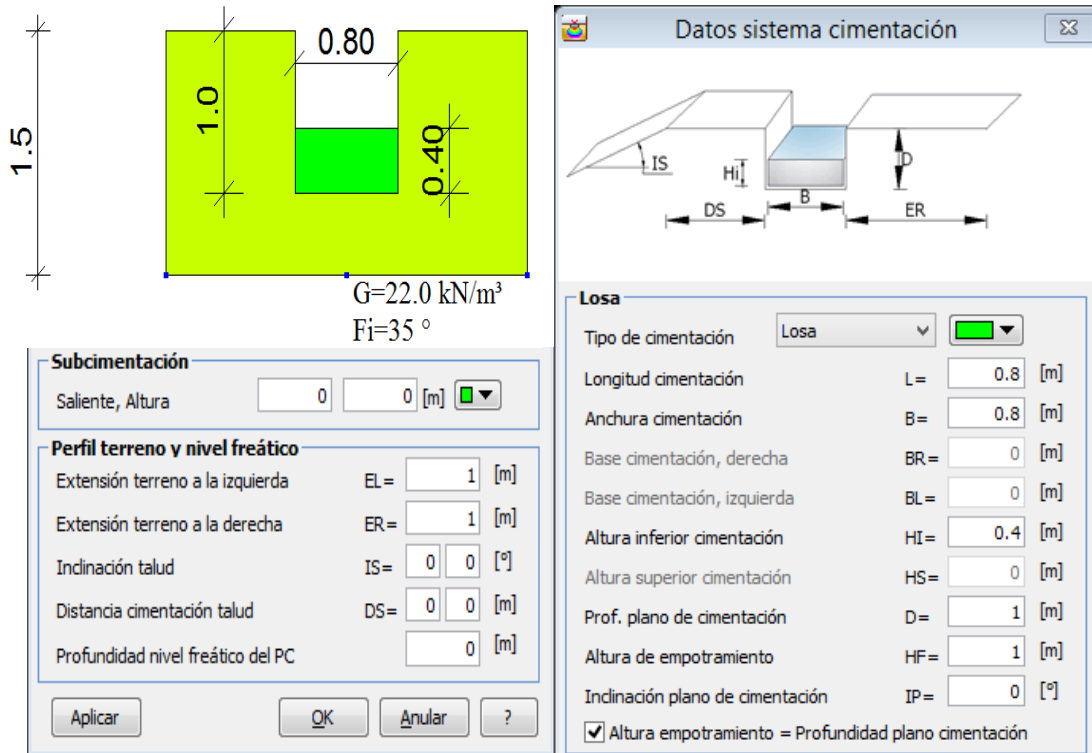


Figura 44: Diseño del tipo de cimentación de acuerdo al tipo de material encontrado.

Tabla 63: Valores obtenidos de LoadCap para la carga última vertical y factor de seguridad.

Nombre combinación	Autor	Carga última [Qult] ( $\text{kN/m}^2$ )	Resistencia de proyecto [Rd] ( $\text{kN/m}^2$ )	Tensión [Ed] ( $\text{kN/m}^2$ )	Factor de seguridad [Fs=Qult/Ed]	Condición de comprobación [Ed<Rd]	Tipo ruptura	Constante subsuelo ( $\text{kN/m}^3$ )
Carga última								
	Zienkiewicz	165.71	55.24	100.00	1.66	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=2029.996; Icrit=119.301	0.00
*	Terzaghi	136.75	45.58	100.00	1.37	Sin comprobar	* Mecanismo de rotura general; Ir=2029.996; Icrit=119.301	5470.11

## **CAPÍTULO IV.**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Los resultados han determinado Factores de Seguridad en los taludes de rocas y suelos ubicados en La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), de los 12 sitios de Torre seleccionados comprendido entre la T-246 hasta T-260, van desde estables hasta muy inestables las cuales, a las fuertes precipitaciones sólidas, las cuales ingresan en las fracturas de las rocas disminuyendo la resistencia. La precipitación sólida al depositarse en la superficie cuaternaria se descongela y se infiltra por los poros alterando las propiedades geomecánicas. Esto significa que la empresa encargada del Diseño debe tener en cuenta estas condiciones para no presentar problemas de asentamientos de las futuras estructuras.

#### **4.1 Procesamiento de la información y presentación de resultados**

##### **4.1.1 LoadCap.**

Para realizar la interpretación de la información obtenida en taludes de rocas y suelos se han elaborado modelamiento de perfiles en 2D, determinando el Factor de Seguridad y carga última que posee los distintos tipos de materiales. Los parámetros usados por el Software geotécnico LoadCap, para dicho análisis son:

El tipo de litología, que en la investigación se ha determinado rocas sedimentarias e ígneas, y suelos que fueron clasificados mediante S.U.C.S, a partir de las muestras obtenidas en campo para ser analizadas en el laboratorio, el método de análisis que se usará en este caso es Bishop Simplificado.

#### 4.1.2 Análisis RockLab.

Para el análisis de los macizos rocosos usamos el método de análisis de Mohr-Coulomb, donde interviene el GSI, hallado en campo. Y así determinamos el ángulo de fricción expresados en grados y la cohesión expresado en Mpa.

#### 4.2 Clasificación geotécnica de los taludes

Se obtuvieron los parámetros geotécnicos requeridos, descritos con anterioridad, logrando una clasificación de los taludes en suelos y rocas. Para esta clasificación se tuvo en cuenta Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), Rock Mass Rating (RMR 1989), Geological Index (GSI).

##### 4.2.1 Torre 246 (T - 246)

Talud inestable, conformado por rocas sedimentarias limolitas con alto fracturamiento y meteorización, de color rojizo, de grano fino con presencia de óxidos; al realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso se obtiene un valor RMR de 43, lo cual nos indica es una roca tipo III, de calidad regular, además se asigna un valor RQD (%) entre 50 y 75.

Luego de realizar el análisis mediante el software Rock Data, con los datos obtenidos en campo, se obtiene:

<b>Torre 246 (T - 246)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
35 Mpa	42	0.255	36.31	783.36

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 1.42 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 141.52; lo cual nos indica que es un sitio de torre es inestable.



#### 4.2.2 Torre 247 (T - 247)

Talud conformado por rocas sedimentarias limolitas con alto fracturamiento y meteorización en superficie, de color rojizo, de grano fino con presencia de óxidos; al realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso se obtiene un valor RMR de 42, lo cual nos indica es una roca tipo III, de calidad regular, además se asigna un valor RQD (%) entre 50 y 75.

Luego de realizar el análisis mediante el software Rock Data, con los datos obtenidos en campo, se obtiene:

<b>Torre 247 (T - 247)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
35	42	0.255	36.31	783.36

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 2.88 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 287.51; lo cual nos indica que es un sitio de torre estable.

#### 4.2.3 Torre 248 (T - 248)

Talud compuesto por rocas areniscas cuarzosas bastante competentes, los estratos tienen una potencia de 3 a 5m, con erosión mecánica; al realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso se obtiene un valor RMR de 63, lo cual nos indica es una roca tipo II, de calidad buena, además se asigna un valor RQD (%) entre 75 y 90.

<b>Torre 248 (T - 248)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
175	50	0.815	49.11	7509.63

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 2.71 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 406.77; lo cual nos indica que es un sitio de torre estable.

#### 4.2.4 Torre 250 (T - 250)

Sitio de torre compuesto por gravas de Limolitas intercaladas con suelos limo arcillosos, con una pendiente moderada.

<b>Torre 250 (T - 250)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Coluvio-Aluvial	GP-GC	7.91	1.86	278.86

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 1.86 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 278.86; lo cual nos indica que es un sitio de torre es inestable.

#### 4.2.5 Torre 252 (T - 252)

Sitio de torre situado sobre un depósito coluvio-aluvial, compuesto por limos de color rojizo intercalados con gravas de Limolitas.

<b>Torre 252 (T - 252)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Coluvio-Aluvial	GW – GM	7.83	2.39	357.79

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es estable.

#### 4.2.6 Torre 254 (T - 254)

Sitio de torre asentado sobre rocas sedimentarias calizas de color gris blanquecino, con abundante fracturamiento, escaza vegetación; con presencia de venillas de calcita.

<b>Torre 254 (T - 254)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
35	45	1.798	32.19	3983.28

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 1.29 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 193.39; lo cual nos indica que es un sitio de torre es inestable.

#### 4.2.7 Torre 255 (T - 255)

Depósito Coluvio-aluvial, compuesto por clastos angulosos de rocas areniscas intercalado con matriz limosa. Pendiente moderada (entre 15 – 20%), y escaza vegetación.

<b>Torre 255 (T - 255)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (kN/m<sup>2</sup>)</b>
Coluvio-Aluvial	GP – GM	7.92	2.62	261.96

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es estable.

#### 4.2.8 Torre 256N (T – 256N)

Presencia de Lodolitas de color gris oscuro, altamente fracturadas, la fracturación es laminar; moderadamente meteorizadas; con presencia de oxidaciones de hierro.

<b>Torre 256N (T – 256N)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
175	55	0.996	57.16	10335.28

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es estable.

#### 4.2.9 Torre 257N (T – 257N)

La torre se cimentará sobre estratos de suelos arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 20.6; según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2.

<b>Torre 257N (T – 257N)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (<math>\text{kN/m}^2</math>)</b>
Suelo Arcillo	CL	7.83	3.38	507.42

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es estable.

#### 4.2.10 Torre 259 (T – 259)

La torre se cimentará sobre estratos de suelos Areno arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$ , según la zonificación sísmica del Perú, el área de estudio se encuentra en la zona N° 2 con un valor de 0.25.

<b>Torre 259 (T - 259)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (<math>\text{kN/m}^2</math>)</b>
Suelo Areno-Arcilloso	SC	7.14	3.27	490.66

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es estable.

#### 4.2.11 Torre 259A (T – 259A)

La torre se cimentará sobre estratos de suelos arenosos mal gradados, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 17.7, ángulo de resistencia al corte  $28^\circ$  y suelos areno arcillosos, peso específico ( $\text{kN/m}^3$ ) con un valor de 18.6, ángulo de resistencia al corte  $33^\circ$ .

<b>Torre 252 (T - 252)</b>				
<b>Litología</b>	<b>SUCS</b>	<b>pH</b>	<b>Fs</b>	<b>Carga Última (<math>\text{kN/m}^2</math>)</b>
Arena con Limo	<b>(SW - SM)</b>	7.83	1.82	272.52
Arena-Arcillosa	<b>SC</b>	7.41	1.82	272.52

Según los valores del factor de seguridad y carga última analizadas en el software LoadCap. podemos indicar que el sitio de torre es inestable.

#### 4.2.12 Torre 260 (T – 260)

Talud compuesto por rocas areniscas cuarzosas bastante competentes, los estratos tienen una potencia de 3 a 5m, con erosión mecánica; al realizar la caracterización geomecánica del macizo rocoso se obtiene un valor RMR de 63, lo cual nos indica es una roca tipo II, de calidad buena, además se asigna un valor RQD (%) entre 75 y 90.

<b>Torre 248 (T - 248)</b>				
$\sigma_{ci}$	<b>GSI</b>	$C'$	$\Phi'$	<b>Em</b>
35	52	1.741	30.35	3621.01

Analizando el Software LoadCap. obtenemos un factor de seguridad igual a 2.71 según Terzaghi, la carga última(kN/m<sup>2</sup>) igual a 406.77; lo cual nos indica que es un sitio de torre estable.



### **4.3 Contrastación de la hipótesis**

Las características litológicas como el tipo de roca; las características morfológicas; las características estructurales; están directamente relacionadas con el comportamiento geomecánico y geotécnico. Esto en conjunto generaran un macizo rocoso y depósitos cuaternarios con ciertas características de inestabilidad, que al interactuar con las fuertes precipitaciones sólidas y la sismicidad de la zona; dan como resultado una inestabilidad en los sitios de torre, ya sea de grado bajo, mediano y alto. La hipótesis planteada es aceptada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 Conclusiones**

La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), para el tramo comprendido entre las torres T-246 a T-260, presenta zonas inestables, debido a las fuertes precipitaciones sólidas, sismicidad de la zona, litología perteneciente a rocas sedimentarias e ígneas que afectadas por el agua de las precipitaciones originan alto grado de fracturamiento y erosión de macizos rocosos.

La investigación geotécnica del terreno sobre el cual se apoyarán las torres de La Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III). En cada sitio de torre, se seleccionó una pata representativa y se realizó un punto de exploración.

El cartografiado geológico se identificaron las unidades estratigráficas siguientes: Grupo Moho, Formación Vilquechico, Formación Viluyo, Formación Auzangate y los Depósitos Cuaternarios.

Los sitios de torre críticos se identificaron de la siguiente manera:

Sitios de alta peligrosidad, T-246, T-250, T-254, T-259 A.

Sitios de media peligrosidad, T-247, T-248, T-252, T-255, T-256 N, T-260.

Sitios de baja peligrosidad, T-257 N, T-259.

El principal agente detonante identificado es el agua producto del deshielo de las precipitaciones sólidas, siendo la causa fundamental de la inestabilidad en los Sitios

de Torre de la Línea de Transmisión Paquillusi - Onoccora (San Gabán III), ya que mediante la infiltración produce fracturamiento de la roca.

Los resultados para la caracterización geomecánica y geotécnica de los sitios de torre tanto en suelos como en rocas son: estimación de factor de seguridad, resistencia a la compresión simple (MPA), índice geológico de resistencia (GSI), clasificación del macizo rocoso (RMR), (SUCS).

## **5.2 Recomendaciones**

Realizar la estabilización de los sitios de torre T-246, T-250, T-254, T-259 A; de la Línea de transmisión Paquillusi-Onoccora (San Gabán III), para evitar daños a las estructuras que se van a cimentar y generar colapsos.

La empresa ejecutora Desarrollo de Proyectos de Infraestructura Peruanos S.A.C (DPI), debe tener un acercamiento con la población con el fin de concientizar acerca de los alcances del proyecto a ejecutar con la finalidad que las partes con influencia directa del proyecto tengan mayor conocimiento y evitar conflictos de índole social.

Para la construcción de las cimentaciones se recomienda tener en cuenta los siguientes puntos:

- Prever un sistema de excavación en roca (mediante explosivos) para nivelar la base de la cimentación: Debido a la dureza de las rocas existentes
- Para las cimentaciones con zapata convencional en la zona plana, las excavaciones serán predominantemente manuales y el suelo previsto a excavar consiste en mezclas de gravas, arenas y bloques de roca, compactos. Para las cimentaciones con zapata convencional en las zonas de montaña, la excavación será hecha predominantemente en roca fracturada y alterada, pero puede ser necesario el uso de explosivos para remover grandes bloques presentes en la excavación

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AUDEBAUD, E. (1971) Mise au point sur la stratigraphie et la tectonique des calcaires cénomaniens du Sud-Est péruvien (formation Ayavacas) C. R. Acad. Sc. Paris, T. 272, serie D, pg. 1059-1062.

AUDEBAUD, E. (1973) Geología de los cuadrángulos de Ocongate y Sicuani. Bol. N° 25, serie A. Servicio de Geología y Minería.

Braja M. DAS. 2001. Principios de Ingeniería de Cimentaciones. Cuarta edición. México, DF. International Thomson Editores.

Braja M. DAS. 2015, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica. Cuarta edición. México, DF. Cenage Learning.

Braja M. DAS. 2012. Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. Séptima edición. México, DF. Cenage Learning.

Bieniawski, Z. (1989). "Engineering rock mass classifications". Edit. John Wiled and Sons.

CABRERA LA ROSA, A. y PETERSEN, G. (1936) Reconocimiento geológico de los yacimientos petrolíferos del departamento de Puno. Bol. Cuerpo Ing. Minas del Perú, 115.

CONSULTORÍA COLOMBIANA S.A (CONCOL). 2012. Diseño de la línea de transmisión talara – Piura a 220 Kv. Informe de Geotecnia PE-TAPI-DILT-I00-0003 REV. 1. Bogotá. Colombia.

González de Vallejo, L. 2004. Ingeniería Geológica. Madrid, España: Prentice Hall.

Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C; Baptista Lucio, P. 2010. Metodología de la Investigación. México, DF. McGRAW-HILL.

Hoek, E., Carranza Torres, C., & Corkum, B. 2002. El criterio de rotura de Hoek Brown - Edición 2002. Minnesota.

Hoek, E. 2013. Quantification of the Geological Strength Index Chart. 47th US Rock Mechanics / Geomechanics Symposium.

Lambe, WT y Whitman, RV.1984. Mecánica de Suelos. 4ta Edición. México. Edit LIMUSA.

NEWELL, N.D. (1949) - Geology of the Lake Titicaca region, Perú and Bolivia. Geological Society of America, New York, Memoir 36, 111 p.

Robert W. Monge Miguel, C. M. (2003). Memoria descriptiva de la revisión y actualización de los cuadrángulos de Huancané (31-x, Moho (31-y), e Isla Soto (32-y)). Lima, Perú: INGEMMET.

Rodríguez, SR. 2016. Método de investigación geológico-geotécnico para el análisis de Inestabilidad de Laderas por Deslizamientos. Zona Ronquillo Corisorgona. Tesis Magister. Lima, Perú, UNMSM.

Ruíz Limón, R. 1999. Historia de la ciencia y el método científico. Atlanta, Georgia. USA.

# **ANEXOS**