

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA

ESCUELA DE POSTGRADO

MAESTRIA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA



**RIESGO GEOTÉCNICO DE LAS ASOCIACIONES DE VIVIENDA
SOL NACIENTE Y DOS DE FEBRERO, CIUDAD NUEVA-TACNA**

TESIS

Presentado por:

Br. Fredy Cleto Cabrera Olivera

Asesor:

Mag. Carmen Elena Ortiz Salas

Para optar el Grado Académico de:

MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA

TACNA – PERÚ

2018

DEDICATORIA

Dedico esta tesis al Dios Trino el que ha encaminado mi vida.

A mi hermana Nancy, mi madre que siempre me apoyó en mi vida, a mis hijas por su comprensión, a Norma por su apoyo constante para mi superación y a mis hermanos por la unión de siempre.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecerla al Dios Verdadero por su protección y bendición.

A mi hermana Nancy, mi madre y a Norma por su constante apoyo para alcanzar esta
meta.

A la Universidad Privada de Tacna por darme la oportunidad de estudiar y realizar
esta maestría.

También me gustaría agradecer a mis profesores que durante toda mi carrera
profesional han aportado a mi formación.

Son muchas las personas que han formado parte de mi vida profesional y personal; a
las que debo agradecer su amistad, consejos, apoyo, ánimo y compañía en todos los
momentos de mi vida. Algunas están aquí conmigo y otras en mis recuerdos y en mi
corazón, sin importar en donde estén quiero darles las gracias por formar parte de mí,
por todo lo que me han brindado y por todas sus bendiciones.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESÚMEN.....	xii
ABSTRAC	xiv
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
EL PROBLEMA TÉCNICO	4
1.1 SITUACION ACTUAL DEL PROBLEMA.....	4
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	5
1.2.1 Interrogante principal.....	5
1.2.2 Interrogantes secundarias.....	5
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
1.5. CONCEPTOS BÁSICOS.....	8
1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	10
CAPÍTULO II	13
MARCO TEÓRICO	13
2.1.- LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA	13
2.1.1. Geología	13
2.1.1.1. La Geología Investiga:	13

2.1.1.2. Geología como ciencia básica:	13
2.1.1.3. Geología Aplicada.....	14
2.1.1.4. Geotecnia:.....	14
2.1.2. Geomorfología.....	15
2.1.2.1. Áreas Específicas	16
2.1.3. Geofísica	21
2.2. GEOTECNIA	22
2.2.1. Historia de la Geotecnia	22
2.2.2. Conceptos	23
2.3. GESTIÓN DE RIESGO	52
2.3.1. Introducción	52
2.3.2. Marco Teórico.....	54
2.3.2.1. Peligrosidad (P).-	54
2.3.2.2. Vulnerabilidad (V)	56
2.3.2.3 Riesgo (R)	58
CAPÍTULO III.....	62
MARCO METODOLÓGICO	62
3.1.- HIPÓTESIS.....	62
3.1.1.- Hipótesis General	62
3.1.2.- Hipótesis Específicas	62
3.2.-VARIABLES.....	62
3.2.1.-Variables Independientes: Características geotécnicas	62
Dimensiones:	62
3.2.1.1.-Indicadores	62
3.2.1.2- Escala de medición	63
3.2.2.- VARIABLE DEPENDIENTE: Construcción de viviendas.....	63
3.2.2.1.- Indicadores	63

3.2.2.2.-Escala de medición	63
3.3.-TIPO DE INVESTIGACIÓN	63
3.4.-NIVEL DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA.....	64
3.5.-POBLACIÓN	64
3.6.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	65
3.6.1.- Técnicas	65
3.6.2.- Instrumentos Y Software	67
3.6.2.1.- Computador.....	67
3.6.2.2. Software.....	68
CAPITULO IV	69
GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGIA REGIONAL Y LOCAL	69
4.1. RECOPIACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA	
EXISTENTE:	69
4.1.2. Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca Boletín N° 139 Serie A INGEMMET año 2011.....	70
4.1.3. Estudio Hidrogeológico Proyecto Especial Tacna, año 2004	70
4.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	70
4.2.1. Ubicación	70
4.2.2. Accesibilidad	71
4.2.3. Características Físicas	72
4.2.3.1. Hidrografía.....	72
4.2.3.2. Clima.....	73
4.2.3.3 Flora.....	74
4.2.3.4. Fauna	75
4.3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL	75
4.4. GEOLOGÍA REGIONAL.....	78
4.4.1. Grupo Toquepala.....	78
4.4.2. Formación Huilacollo	79

4.4.3. Formación Moquegua	79
4.4.4. Formación Huaylillas	80
4.4.5. Formación Millo.....	81
4.4.6. Unidad de Conglomerados Calientes	82
4.4.7. Toba Pachía.....	82
4.4.8. Depósitos del Cuaternario Reciente	83
4.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	83
4.5.1. Sistema de Fallas Calientes-Chuschuco (Sempere y otros, 2002).....	84
4.5.2. Sistema de Fallas Magollo-Escritos.....	84
4.5.3. Flexuras	85
4.6. SISMICIDAD	86
4.7. GEOMORFOLOGÍA LOCAL.....	87
4.8. UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO	90
4.8.1. Depósito Coluvial (Qpl-col).....	90
4.8.2. Depósito de Coluvio Deluvial (Qh-col del).....	92
4.8.3. Depósito Tecnógeno (Qh-tec).....	93
4.9. GEODINÁMICA	94
4.9.1. Geodinámica Interna.....	95
4.9.2. Geodinámica Externa.....	95
4.9.2.1. Deslizamientos	96
4.9.2.2. Derrumbes.....	96
CAPITULO V.....	99
CAPACIDAD PORTANTE Y ESTABILIDAD DE TALUDES	99
5.1. INVESTIGACIONES DE MECÁNICA DE SUELOS.....	99
5.1.1. Objetivo y Alcances del Estudio de Mecánica de Suelos	99
5.1.2. Excavación de Calicatas y Trincheras	100
5.2. INVESTIGACIONES DE GEOFISICA.....	101

5.2.1. Generalidades.....	101
5.2.2. Principios del Método.....	101
5.2.3. Evaluación Geofísicas.....	102
5.3. GEOTÉCNIA	105
5.2.1. Capacidad Admisible del depósito Tecnógeno.....	107
5.2.2. Capacidad Admisible de los depósitos Coluvio-Deluvial	108
5.2.3. Capacidad Admisible del Depósito Coluvial	109
5.3. ESTABILIDAD DE TALUDES.....	110
5.3.1. Generalidades del Equilibrio Límite.....	110
5.3.2. Condiciones de Inestabilidad.....	110
5.3.3. Metodología de Cálculo.....	110
CAPITULO VI.....	113
ANÁLISIS DE RIESGO.....	113
6.1. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA ZONA	113
6.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS (Geodinámica Externa)	114
6.2.1. DETERMINACIÓN DE PELIGROS (Condiciones Seudoestáticas).....	114
6.2.2. Zonificación y Mapa de Peligrosidad.....	116
6.2.3. Determinación de la Vulnerabilidad (Condiciones Seudoestáticas).....	118
6.2.4. Estimación de riesgo (Condiciones Seudoestáticas).....	121
6.2.5 Zonificación y Mapa de Riesgo.....	124
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	127
CONCLUSIONES.....	127
RECOMENDACIONES.....	128
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS.....	133
MATRIZ LÓGICA	134
ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS.....	135

CERTIFICADOS DE CAPACIDAD PORTANTE 136
INVESTIGACIONES DE GEOFISICA 137
MAPAS 138

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficientes de Seguridad de Cimentaciones	34
Tabla 2: Tipos de Vulnerabilidad y los daños o Pérdidas Ocasionados.....	57
Tabla 3: Clasificación de Deslizamientos Según su Actividad Propuesta por Keaton y Degraff (1996)	97
Tabla 4: Detalle de los Ensayos de Laboratorio a Realizar	100
Tabla 5: Coordenadas de ubicación de los SEVs, DATUM WGS-84 19K.....	102
Tabla 6: Sección Geoeléctrica A – A’	103
Tabla 7: Parámetros geotécnicos de la zona de estudio.....	106
Tabla 8: Factores de Seguridad obtenidos para la sección A-A’	112
Tabla 9: Grados de Susceptibilidad y Valores de Intensidad	115
Tabla 10: Grado de Susceptibilidad a los Fenómenos Geológicos (Ladera del cerro Intiorko)	115
Tabla 11: Grado de Vulnerabilidad de los Elementos Bajo Riesgo al Proceso Geológico...	119
Tabla 12: Grado de Vulnerabilidad.....	121
Tabla 13: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Baja	123
Tabla 14: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Media	123
Tabla 15: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Alta.....	124
Tabla 16: Resultados de la zonificación	124
Tabla 17: Evaluación de Riesgo por Deslizamiento	125
Tabla 18: Evaluación de Riesgo por Asentamiento o Hundimiento (Capacidad Admisible)	125
Tabla 19: Evaluación de Riesgo por Erosión Hídrica.....	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de equilibrio de fuerzas.....	38
Figura 2: Círculo de falla de un talud	41
Figura 3: Método de las rebanadas	42
Figura 4: Isovalores de factores de seguridad.....	43
Figura 5: Variación del círculo de falla en función a la geometría del talud y tipo de suelo..	44
Figura 6: Talud de corte.....	45
Figura 7: Dibujo del círculo profundo pésimo.....	46
Figura 8: Ábaco de Taylor para estabilidad de taludes	46
Figura 9: Sistemas de corrección de taludes	47
Figura 10: Sistemas de corrección utilizando drenes.....	48
Figura 11: Galería en la ladera de un embalse	49
Figura 12: Pozos verticales para disminuir el nivel freático	49
Figura 13: Medidas correctoras.....	51
Figura 14: Pantallas elásticas	51
Figura 15: Pantalla dinámica elástica.....	52
Figura 16: Pantalla dinámica plástica	52
Figura 17: Vista panorámica a la Asociación de Vivienda Sol Naciente.....	64
Figura 18: Cono de densidad en campo	65
Figura 19: Aparato de Casagrande.....	66
Figura 20: Juego de Tamices	66
Figura 21: Equipo de Corte Directo.....	67
Figura 22: Ubicación de la zona de estudio	71
Figura 23: Cordillera del Barroso donde nace el río Caplina.....	73
Figura 24: Flora.....	74
Figura 25: Fauna	75
Figura 26: Vista hacia la subunidad de Valle desde el flanco de la lomada Intiorko	76
Figura 27: Río Caplina, a la altura de Calientes, en época de avenida.	78
Figura 28: Cerro Huahuapas donde se puede observar la formación Moquegua formando la base de dicha montaña y que es coronado por las tobas volcánicas de formación Huaylillas.....	80
Figura 29: Formación Millo en el sector de Magollo.	81

Figura 30: Conglomerado Calientes, le sobreyace las tobas Pachía	82
Figura 31: Depósitos piroclásticos	83
Figura 32: Areniscas tobáceas de la formación Huaylillas muy fracturadas a extremadamente fracturadas.....	85
Figura 33: Laderas de lomadas	89
Figura 34: Terraza Tecnógena, construida con material propio proveniente de la excavación de la ladera.	90
Figura 35: Depósito Coluvial representada por tobas volcánicas muy a extremadamente fracturadas.....	91
Figura 36: Depósito Coluvial representada por bloques y cantos rodados de areniscas tobáceas, que están cubiertas por una delgada capa de depósito Coluvio Deluvial.	92
Figura 37: Depósito Coluvio Deluvial en las faldas de la lomada Intiorko.	93
Figura 38: Depósitos Tecnógenos.....	94
Figura 39: En el Pueblo Joven "Ciudad Nueva" de Tacna, Justina y Leoncio Huamaní frente a la que era su casa. Tenía tres pisos.....	95
Figura 40: Potencial zona de derrumbe a expensas del depósito Tecnógeno.	97
Figura 41: Personal técnico y equipo de resistividad eléctrica preparados para empezar a realizar el SEV 01 en el Cerro Intiorko sobre materiales secos limo-arcillosos.	103
Figura 42: SEV 02, efectuado en el talud del Cerro Intiorko sobre materiales secos limo-arcillosos. Se observa el equipo de resistividad eléctrica con cables de emisión de corriente, carretes, electrodos y personal técnico.....	105
Figura 43: Perfil estratigráfico de la calicata N° 01 clasificado como un suelo areno limoso (SM).Se observa la prueba de densidad de campo.....	107
Figura 44: Perfil estratigráfico de la calicata N° 02 clasificado como un suelo areno limoso (SM).Se observa la prueba de densidad de campo.....	108
Figura 45: Factor de seguridad calculado en las diferentes zonas de la sección A-A'	112

RESÚMEN

Objetivo: Realizar un análisis de riesgo geotécnico del sector del cerro Intiorko donde se encuentran emplazadas las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero ubicadas en el distrito de Ciudad Nueva, con el objetivo de prevenir asentamientos y colapso de las viviendas ubicadas en la zona de estudio.

Metodología: Se utilizó un diseño correlacional – cuantitativo, empleando la revisión documental de los estudios realizados en la zona de estudio así como entrevistas realizadas a los pobladores del área involucrada. Se realizaron las investigaciones de campo pertinentes para su procesamiento, análisis e interpretación en gabinete lo que permitió elaborar el informe final de la tesis.

Resultados: Los factores geomorfológicos-geológicos como: la ladera de pendiente media y las características del depósito Coluvio-Deluvial y Tecnógeno, son las variables que han creado condiciones para que las características geotécnicas del suelo de cimentación no sean las más adecuadas para el emplazamiento de vivienda en dicha zona.

Conclusión: Las condiciones geológicas-geotécnicas del suelo de cimentación no son las adecuadas para el emplazamiento de viviendas en esa zona del cerro Intiorko.

Palabras clave: Factores geomorfológicos-geológicos, condiciones geológicas-geotécnicas del suelo de cimentación.

ABSTRAC

Objective: Carry out a geotechnical risk analysis of the Intiorko hill sector where the Sol Naciente y Dos de Febrero Housing Association is located in the Ciudad Nueva district, with the objective of preventing settlements and collapsing homes located in the study area.

Methodology: A correlational - quantitative design was used, using the documentary review of the studies carried out in the study area as well as interviews with the inhabitants of the area involved. The relevant field investigations were carried out for its processing, analysis and interpretation in the cabinet, which allowed for the final report of the thesis.

Results: Geomorphological-geological factors such as: the slope of the medium slope and the characteristics of the colluvial-deluvial deposit are the variables that have created conditions so that the geotechnical characteristics of the foundation soil are not the most suitable for the placement of housing in that zone.

Conclusion: The geological-geotechnical conditions of the foundation soil are not adequate for the placement of houses in that area of the Intiorko hill.

Keywords: Geomorphological-geological factors, geological-geotechnical conditions of the foundation soil.

INTRODUCCIÓN

Después de ocurrido el terremoto del 23 de junio del 2001, se realizó una evaluación de las viviendas construidas en el valle de Tacna tanto en la zona llana así como en la ladera del cerro Intiorko, detectando que los mayores daños se produjeron en dicha ladera debido a su constitución litológica (Indeci, Estudio Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna – Cono Norte. Tacna-Perú, 2001).

En el año 2002 se realiza el mapa de peligro de la ciudad de Tacna que confirmó dicha evaluación preliminar ya que se consideró de manera general que la zona llana poseía mejores condiciones geológicas geotécnicas.

La expansión urbana de la ciudad de Tacna ha generado que zonas como la del presente estudio, fuera invadida en los años posteriores al sismo del 2001, generando gran preocupación, en vista que constituye una zona de riesgo ante una eventual acción sísmica o erosión hídrica ante la ruptura del sistema de desagüe, debido a la precariedad de las condiciones geológicas-geotécnicas de dicho lugar.

Este trabajo se encuentra estructurado en 07 capítulos los que de manera resumida se presentan a continuación:

En el capítulo I, se determina la problemática de la ladera del cerro Intiorko donde se encuentran emplazadas las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos

de Febrero, la justificación y los objetivos. Asimismo se da a conocer algunos conceptos básicos y antecedentes.

El capítulo II, está referido al marco teórico científico, es decir el marco referido a los aspectos geológicos geotécnicos así como los aspectos referentes a la Gestión de Riesgo.

En el capítulo III, se desarrolla el marco metodológico, las hipótesis, variables, tipo de investigación, diseño, ámbito, población y muestra, y finalmente las técnicas e instrumentos utilizados en la investigación.

En el capítulo IV, se presenta el resultado de los mapeos geológicos y geomorfológicos de carácter regional y local, obteniendo de esta manera el modelo conceptual de la zona de estudio, lo que permitió ubicar estratégicamente las calicatas y las investigaciones de geofísica.

En el capítulo V, se describe las investigaciones de campo realizadas como: Geofísica (método Sondajes Eléctrico Verticales), Mecánica de Suelos con la apertura de calicatas, extracción y lectura del perfil estratigráfico, para su posterior análisis de suelos en el laboratorio respectivo, con cuyos resultados se realizó la determinación de la capacidad portante y el análisis de estabilidad de los taludes de los terrenos donde se encuentra emplazada las asociaciones de vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero.

En el capítulo VI, se realiza la determinación del riesgo geotécnico a las que están expuestas las viviendas de las Asociaciones Sol Naciente y Dos de Febrero

con las respectivas recomendaciones, para ello se realizaron los mapas de pendientes, peligro, vulnerabilidad y riesgo.

En el capítulo VII, se da a conocer las conclusiones del trabajo sugerencias y recomendaciones.

Finalmente, en referencias bibliográficas se presenta un listado de las obras técnicas consultadas para la ejecución de este trabajo de investigación y en el Anexo 01 se presenta los certificados del Laboratorio de Mecánica de Suelos HI Geoproject Consultoría S.R.L. y en el Anexo 02 se presenta el estudio de Geofísica realizado por el ingeniero geofísico Walther Pacheco Ávila.

El Autor

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA TÉCNICO

1.1 SITUACION ACTUAL DEL PROBLEMA

La zona de estudio se encuentra ubicada en la ladera del cerro Intiorko que constituye el flanco derecho del valle del río Caplina, donde en el pasado se sucedieron una serie de derrumbes a expensas de las rocas volcánicas y sedimentarias de las formaciones Huaylillas y Moquegua. Dicho derrumbe, geológicamente constituye un depósito Coluvio Deluvial de más de 100 m de espesor y que granulométricamente está constituida por arenas limosas en estado suelto y que según SUCS se le clasifica como SM, por lo tanto dicho suelo presenta características geotécnicas deficientes. Este sector fue invadido y luego se emplazaron un conjunto de viviendas de manera informal, los habitantes de dicho sector, conformaron una serie de terrazas para asentar sus viviendas generando depósitos denominados como Tecnógenos, las mismas que no reunieron los requisitos técnicos de construcción debido a que no se llevó a cabo un control en la compactación de los mismos. Así mismo, el riego de árboles y arbustos que se observan en dicho lugar, generaron un incremento en la humedad de los suelos, lo cual originó, en algunas áreas, la desestabilización de los mismos. Por otro lado, considerando que la provincia y la región de Tacna se ubica en la zona sísmica 4 donde se esperan aceleraciones 0,45 g, según el reglamento (NTP

-030, 2010), dichas viviendas van a colapsar si es que no se toman las medidas técnicas para mitigar dicho riesgo, tal como ocurrió en el terremoto del 23 de junio del 2001 en las áreas circundantes a la zona de estudio.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante principal

¿Las características geotécnicas del cerro Intiorko garantizan la construcción de viviendas?

1.2.2 Interrogantes secundarias

Para dar respuesta a la pregunta anterior, se formularon las siguientes interrogantes como problemas secundarios:

- a) ¿Se producirán derrumbes de los taludes de corte de las terrazas construidas para el emplazamiento de las viviendas?
- b) ¿La presencia de un terremoto hará colapsar las actuales viviendas?
- c) ¿La rotura de alguna de las tuberías de desagüe, provocaran la erosión hídrica de los suelos?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La presente investigación se justifica por las siguientes razones:

Desde el aspecto del sísmico porque, según (Tavera & Bernal, 2005) el Perú ubicado en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico presenta un

alto potencial sísmico debido ello al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana donde se producen altas fricciones entre ambas placas generando sismos de alta magnitud y con relativa frecuencia en la deformación interna de ambas placas, siendo los sismos más destructores los que se producen a niveles superficiales.

Desde el aspecto de la construcción; porque según (Blanco, 2004), las viviendas se hacían con muros de albañilería confinada, pues este sistema estaba difundido en nuestro país. Pero, a partir del año 2001, el gobierno fomentó la construcción de la vivienda popular, se comienza a usar el sistema de muros portantes, pero con muros de concreto armado de ductilidad limitada en lugar de muros de albañilería ello debido a la mejora de la tecnología del concreto que permite hacer vaciados con espesores reducidos y a utilizar encofrados metálicos o de aluminio, y que ha evitado en las obras los tiempos muertos, al mayor uso de concreto premezclado y al hecho que con concreto se pueden hacer muros más delgados que con unidades de ladrillo, lo que redundará en una optimización del espacio útil en las viviendas.

Desde el aspecto normativo se justifica porque el D.S. N° 111-2012-PCM que incorpora la Gestión de Riesgo de Desastres como Política Nacional y cumplimiento obligatoria para las entidades del Gobierno Nacional (2012).

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Analizar las características geotécnicas del sector del cerro Intiorko donde se encuentra emplazada las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero ubicados en el distrito de Ciudad Nueva, provincia y región Tacna, con la finalidad de conocer si garantizan la construcción de viviendas y de esta manera prevenir riesgos de asentamientos y colapso.

1.4.2 Objetivos específicos

- a. Caracterizar Geomorfológica y Geológicamente el área de estudio para determinar si se producirán derrumbes en los taludes de corte donde se han emplazado las viviendas.
- b. Caracterizar los suelos de cimentación para determinar la capacidad portante y analizar la estabilidad de los taludes de corte en condiciones seudoestáticas y conocer si las viviendas colapsarían frente a la ocurrencia de un sismo.

Lo cual permitirá determinar el tipo de Peligro y el nivel de Vulnerabilidad de las viviendas actuales para la definir el nivel de Riesgo del área en estudio y definir las acciones de mitigación.

- c. Analizar el tipo de suelo, granulometría y densidad natural de campo para determinar su resistencia a la erosión hídrica.

1.5. CONCEPTOS BÁSICOS

a. Ladera

La noción de ladera suele utilizarse para nombrar al declive de una montaña, de un monte o de una altura en general. Puede decirse, en este sentido, que la ladera es uno de los lados de la montaña en cuestión.

b. Capacidad portante de los suelos

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él (Braja, 2012). Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales:

- Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la
- deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento.

- Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

c. Estabilidad de taludes

Es el análisis de la estabilidad o posible inestabilidad de un talud en el momento de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica – geotécnica (Ayala, 1986).

d. Concepto de peligro

Un peligro es cualquier situación (acto o condición) o fuente que tiene un potencial de producir un daño, en términos de un daño a las personas, a la propiedad, daño al ambiente o una combinación de éstos. En su mayor parte son latentes o potenciales, aunque una vez que un peligro se vuelve “activo”, puede crear una situación.

e. Concepto de vulnerabilidad

La vulnerabilidad es la incapacidad de resistencia cuando se presenta un fenómeno amenazante, o la incapacidad para reponerse después de que ha ocurrido un desastre.

f. Sismo

Un sismo es un temblor o una sacudida de la tierra por causas internas. El término es sinónimo de terremoto o seísmo, aunque en algunas

regiones geográficas los conceptos de sismo o seísmo se utilizan para hacer referencia a temblores de menor intensidad que un terremoto.

1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

De manera regional, provincial se ha realizado estudios de peligro y riesgo. A continuación se describe brevemente las investigaciones realizadas en esos rubros:

- **Mapa de Peligros de la ciudad de Tacna (Distritos de Tacna, Gregorio Albarracín, Pocollay y Complemento Alto de la Alianza y Ciudad Nueva). 2004.**

El objetivo del estudio fue identificar los peligros para la sostenibilidad física de la ciudad de Tacna incluidos sus distritos metropolitanos, teniendo en cuenta su entorno geográfico y particularmente las características físicas de los suelos, zona donde necesariamente se asienta o tienen que asentarse las diferentes edificaciones existentes o por construir (Indeci, 2004).

- **Programa de Prevención y Medidas de Mitigación Ante Desastres de la Ciudad de Tacna. 2007.**

El estudio tuvo como objetivo servir de base para la elaboración de los Planes de Desarrollo Urbano, cuya formulación debe abarcar aspectos más allá que los de la seguridad física, así como servirá también, como

una forma de sensibilización de la autoridad para la mayor comprensión de los problemas que aquejan al territorio que se encuentra bajo su administración. Diversas experiencias a nivel nacional y mundial han demostrado que las acciones de prevención y mitigación son de mayor costo – beneficio que las acciones post – desastre (Indeci, 2007). En este contexto es que se desarrolla el presente estudio, teniendo como meta la identificación de acciones y proyectos de mitigación de peligros para la ciudad de Tacna.

- **Determinación del Espectro de Peligro Sísmico uniforme para Tacna (2007)**

El espectro de peligro sísmico uniforme para Tacna se ha determinado a partir de un estudio de peligro sísmico el mismo que fue evaluado probabilísticamente con el método desarrollado por (Cornell, 1968). Este método incorpora los efectos de todos los sismos de las fuentes sismogénicas considerando las características tectónicas en el entorno del sitio, los valores de magnitud máxima, la relación frecuencia-magnitud y las distancias al sitio medidas desde todos los puntos dentro de cada una de las fuentes, de esta forma se logra considerar la probabilidad de ocurrencia de diferentes sismos. Las aceleraciones así obtenidas no proviene de ningún sismo específico sino del efecto combinado de todos los sismos ubicados en las fuentes sismogénicas.

La Tabla N° 01 muestra los valores de máximas aceleraciones espectrales para la Determinación del Espectro de Peligro Sísmico Uniforme para Tacna, obtenido con el programa CRISIS 2007 (Ordaz et al, 2007).

- **Estudio de Riesgo Sísmico en el Distrito de Ciudad Nueva Tacna**

El propósito del estudio de investigación es identificar el riesgo sísmico en el distrito de Ciudad Nueva-Tacna. La región sur occidental del Perú está situada en la zona de subducción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana, zona de alta actividad sísmica. De acuerdo con la sismicidad histórica, han ocurrido sismos severos hasta de una magnitud de 8,5 grados en la escala de Richter y XI en la escala de Mercalli. El distrito de Ciudad Nueva se ubica en la mencionada zona. Los estudios geotécnicos de suelos de cimentación caracterizan suelos areno limosos de baja capacidad portante de 0,25 a 1,00 kg/cm². Por estas condiciones el peligro sísmico es alto. La vulnerabilidad sísmica de las viviendas y vulnerabilidad social de la zona, por estudios realizados en una muestra representativa de 98 viviendas, evaluando sus características estructurales, procedimientos constructivos, y organización de la población, determinan que la vulnerabilidad es de un nivel alto. Por las características de peligro y vulnerabilidad sísmicas identificadas, el riesgo sísmico de la zona es de un nivel alto.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1.- LA GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

2.1.1. Geología

Ciencia que estudia la composición y estructura interna de la TIERRA, los procesos que se producen en ella y su Historia.

2.1.1.1. La Geología Investiga:

- Origen de la Tierra
- Evolución Histórica, cambios que han actuado desde su origen hasta el presente.
- Composición y estructura de los materiales que conforman.
- Procesos que la caracterizan y la
- Morfología.

2.1.1.2. Geología como ciencia básica:

A. Ejes principales:

- Mineralogía
- Petrología
- Geomorfología
- Estratigrafía
- Tectónica

- Geología Estructural
- Sedimentología

B. Ramas Específicas:

- Vulcanología
- Paleontología
- Glaciología
- Sismología
- Metalogenia
- Gemología
- Geología del Cuaternario.

2.1.1.3. Geología Aplicada

- Saberes científicos y técnicos, al servicio de las necesidades del hombre.
- Incorporando saberes del área necesarios para su desarrollo.
- Considerando factores de riesgo.
- Gestión.
- Proyección.

2.1.1.4. Geotecnia:

- Construcción de canales, carreteras.
- Construcción de obras hidráulicas.

- Estabilidad de obras e infraestructura en general.
- Riesgos.

2.1.2. Geomorfología

Etimológicamente Geomorfología deriva del griego geo = tierra, morphos = forma logos = estudio

Es la ciencia que se ocupa de la forma de la Tierra y explica su génesis.

La geomorfología se define como la ciencia que estudia los fenómenos sobre y cerca de la superficie terrestre y se preocupa de las interacciones entre varios materiales y procesos (Schumm , 1991).

La geomorfología entiende y estudia el relieve del planeta como un sistema dinámico producto de la interacción de fuerzas internas y externas.

Las fuerzas internas dan origen a las grandes elevaciones y depresiones que presenta el relieve terrestre.

Las fuerzas externas originan procesos de meteorización - erosión, transporte y sedimentación, cada uno con características particulares.

La geomorfología se relaciona con otras ciencias de la Tierra, con ciencias biológicas y antropología.

2.1.2.1. Áreas Específicas

a. Geomorfología Climática: estudia la influencia del clima en el desarrollo del relieve. El clima representa el tipo de modelado predominante: glacial, eólico, fluvial y litoral.

- Geomorfología fluvial: se encarga del estudio de los accidentes geográficos, formas y relieves ocasionados por la dinámica fluvial.
- Geomorfología de laderas: estudia los fenómenos producidos en las vertientes de las montañas, así como también estudia los movimientos en masa, y estabilización de taludes. Se relaciona con el estudio de riesgos naturales.
- Geomorfología eólica: se encarga de los procesos y las formas de origen eólico, en las zonas litorales, los desiertos y las zonas polares.
- Geomorfología glacial: estudia las formaciones y los procesos de los accidentes geográficos, formas y relieves glaciares y periglaciares.
- Geomorfología litoral: estudia las formas del relieve propias de las zonas costeras.

b. Geomorfología Estructural

Está relacionada al estudio del relieve originado a partir de la litología y de las diferentes estructuras de las rocas, así como de sus transformaciones.

Estudia el relieve originado por procesos endógenos pero que aún no ha sido alterado por procesos exógenos.

Prioriza la influencia de estructuras geológicas en el desarrollo del relieve.

Esta disciplina es muy relevante en zonas de marcada actividad geológica donde fallas y plegamientos son predominantes.

c. La Geomorfología Aplicada

Se ocupa de relacionar los conceptos geomorfológicos para estudiar y dar soluciones a problemas relacionados con manejo de recursos, gestión y planificación ambiental.

Otros autores la definen como el estudio de la interacción del hombre, el relieve y el paisaje.

La geomorfología aplicada puede dividirse en 2 áreas:

- Una que estudia al hombre como agente geomorfológico.

- Segunda como herramienta para el estudio de la planificación y construcción ingenieril.

d. Relación con Gestión Ambiental

Información de base

- Interacción humano-ambiente
- Planificación territorial
- Estudios interdisciplinarios

Se Genera Información:

- Riesgos geológicos
- Estudios geotécnicos
- Presencia y calidad de agua superficial y subterránea.
- Vulnerabilidad a la contaminación
- Caracterización y distribución de los recursos rocas – minerales.
- Patrimonio Geológico – Cultural.
- Mapas 1:25 000 a 1:250 000 junto a los informes.

e. Caracterización del relieve

La morfología es entendida como la configuración de la superficie o corteza externa es decir las características del relieve. Estas características permiten identificar formas de ocurrencia y exposición genéricas y específicas según su

origen, naturaleza, dinamicidad, etc. conocidas como geoformas o formas del relieve con las que se relacionan los procesos y fenómenos morfodinámicos que las tipifican, afectan y/o resultan de ellas.

La geomorfología nos representa las formas topográficas del terreno, aunque la mayoría de ellas son producto de los agentes de erosión y sedimentación que actúan en la superficie terrestre, algunas se deben a la acción de fuerzas subterráneas. A esta última categoría pertenecen los volcanes, las coladas de lava, las escarpas de fallas, etc.

De las formas topográficas resultantes de la erosión y de la sedimentación, las que se proyectan hacia arriba (colinas, etc.) son positivas y las que tienen naturaleza de depresiones son negativas. Aquellas que se reconocen como efecto directo del desgaste son destructivas y las que fueron edificadas por procesos de acumulación son constructivas.

Las formas topográficas destructivas están en inmediata dependencia de la resistencia relativa de los materiales erosionados. La estructura infrayacente es de valor secundario, aunque, como es natural, gobierna la forma y distribución de los elementos topográficos. Las formas constructivas se hallan

casi siempre situadas en regiones más bajas que aquellas de donde proceden los materiales. Esto, por supuesto a que los productos de erosión son por lo general arrastrados hacia abajo.

La identificación y clasificación de las unidades morfológicas está condicionada a la escala sobre la cual se piensa realizar el análisis geomorfológico, la extensión del área de estudio está íntimamente relacionada con la clasificación geomorfológica que se pretende utilizar, por lo que es necesario aplicar una clasificación basada en la escala de trabajo. Así tenemos:

Geoformas de Primer Orden; denominada también como sistema de terreno y abarca extensiones muy grandes, comprende denominaciones tales como cordillera, llanuras, altiplanicies, etc.

Geoformas de Segundo Orden; agrupan a las geoformas de extensión relativamente más pequeñas, generalmente utilizadas a escala regional tales como terrazas, valles, montañas, cañones, a estas geoformas se les puede considerar como los rasgos del terreno.

Geoformas de Tercer Orden; en este grupo se consideran a las formas topográficas del terreno y constituyen formas como

colinas, valles, llanuras de inundación, escarpas, todos ellos agrupados viene a ser elementos del terreno.

En el presente trabajo se utiliza las Geoformas de Tercer Orden para identificar el relieve.

2.1.3. Geofísica

El método Geofísico utilizado en la presenta tesis es el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) que consiste en determinar el parámetro de resistividad a profundidad, mediante la inyección de corriente eléctrica en el subsuelo y la medición del potencial resultante a través de un arreglo electródico tetraelectródico.

El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) como método geofísico de corriente directa (DC) es muy utilizado por su sencillez y la relativa economía instrumental apropiado para la adquisición en campo.

Para la aplicación del método en campo, se distribuyen los electrodos con un orden definido, denominado dispositivo electródico.

En la técnica Schlumberger, el arreglo consiste en cuatro electrodos alineados y simétricos respecto al centro de sondeo, utilizando la separación entre los electrodos de potencial, que es pequeña en relación con los electrodos de corriente ($AB/5 > MN > AB/20$).

2.2. GEOTECNIA

Es la rama de la geología y a su vez, recibe aportes de la ingeniería civil (con la que se entrelaza) que se ocupa de la aplicación de los principios geológicos en la investigación de materiales naturales -como rocas- que forman la corteza terrestre que participan en el diseño, construcción y operación de proyectos de ingeniería civil, como carreteras, ferrocarriles, puentes, presas, oleoductos, acueductos, unidades de vivienda, sitios de confinamiento y edificios en general.

2.2.1. Historia de la Geotecnia

A partir del siglo XVIII los problemas relacionados con las cimentaciones y otros aspectos geotécnicos son estudiados de una forma más metódica.

Entre principios del siglo XVIII y mediados del siglo XX, la historia de la Ingeniería Geotécnica suele dividirse en cuatro épocas:

a. Periodo pre-clásico (1700-1776)

1ª etapa de la Mecánica de Suelos clásica (1776-1856)

2ª etapa de la Mecánica de Suelos clásica (1856-1910).

b. Mecánica de Suelos moderna (1910- años '30/'40)

Karl von Terzaghi (1883- 1963), se le considera el “padre” de la Mecánica de Suelos.

En 1925 publica Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer y enuncia la Ley de las Tensiones Efectivas.

En 1943 publica el texto Theoretical Soil Mechanics. En 1948, en colaboración con Ralph B. Peck publica Soil Mechanics in Engineering Practice.

2.2.2. Conceptos

A pesar de las diferencias conceptuales, existe un cuerpo de conocimiento común entre la ingeniería geotécnica, la geología y la edafología

Una roca, es un material geológico con mucha mayor cohesión que un suelo.

La división entre suelo y roca es completamente arbitraria y muchos materiales geológicos comunes pueden ser clasificados de las dos maneras (rocas blandas o suelos duros).

La Mecánica de Suelos es una rama de la Ingeniería Geotécnica que se ocupa del estudio del comportamiento y propiedades geotécnicas de los suelos.

La Mecánica de Rocas, es una rama de la Ingeniería Geotécnica que se ocupa del estudio y del comportamiento y las propiedades geotécnicas de las rocas.

El conocimiento exacto de las propiedades mecánicas del suelo y las condiciones ambientales y físicas, donde se pretende construir, son el mejor medio de prevención de los desastres naturales que pueden causar graves daños a las obras civiles y los seres humanos que los habitan.

Por ello, los ingenieros geotécnicos, además de entender cabalmente los principios de la mecánica y de la hidráulica, necesitan un claro y adecuado dominio de los conceptos fundamentales de la geología y la geofísica. Es de especial importancia conocer las condiciones bajo las cuales determinadas rocas fueron creadas o depositadas así como su adecuada clasificación, su edad en millones de años, y los posteriores procesos estructurales o diagenéticos (procesos metamórficos, de sustitución, cristalización, plegamientos, fallamientos etc.) que han sufrido.

Los ingenieros geotécnicos también investigan el riesgo para los seres humanos, las propiedades y el ambiente de fenómenos naturales o propiciados por la actividad humana tales como deslizamientos de terreno, hundimientos de tierra, flujos de lodo (mudflow) y caída de rocas (procesos de remoción en masa), así como medidas para mitigar este riesgo, como diseños de estructuras de contención (anclajes y muros), control de aguas de infiltración y de escorrentía en el medio geológico (subdrenes, cunetas, filtros).

a. Capacidad Portante

En cimentaciones se denomina capacidad portante a la capacidad del terreno para soportar las cargas aplicadas sobre él. Técnicamente la capacidad portante es la máxima presión media de contacto entre la cimentación y el terreno tal que no se produzcan un fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo. Por tanto la capacidad portante admisible debe estar basada en uno de los siguientes criterios funcionales:

Si la función del terreno de cimentación es soportar una determinada tensión independientemente de la deformación, la capacidad portante se denominará carga de hundimiento.

Si lo que se busca es un equilibrio entre la tensión aplicada al terreno y la deformación sufrida por éste, deberá calcularse la capacidad portante a partir de criterios de asiento admisible.

De manera análoga, la expresión capacidad portante se utiliza en las demás ramas de la ingeniería para referir a la capacidad de una estructura para soportar las cargas aplicadas sobre la misma.

Capacidad de carga a corto y a largo plazo

Las propiedades mecánicas de un terreno suelen diferir frente a cargas que varían (casi) instantáneamente y cargas

cuasipermanentes. Esto se debe a que los terrenos son porosos, y estos poros pueden estar total o parcialmente saturados de agua.

En general los terrenos se comportan de manera más rígida frente a cargas de variación cuasinstantánea ya que éstas aumentan la presión intersticial, sin producir el desalojo de una cantidad apreciable de agua. En cambio bajo cargas permanentes la diferencia de presión intersticial entre diferentes partes del terreno produce el drenaje de algunas zonas.

En el cálculo o comprobación de la capacidad portante de un terreno sobre el que existe una construcción debe atenderse al corto plazo (caso sin drenaje) y al largo plazo (con drenaje). En el comportamiento a corto plazo se desprecian todos los términos excepto la cohesión última, mientras que en la capacidad portante a largo plazo (caso con drenaje) es importante también el rozamiento interno del terreno y su peso específico.

Fórmula de Terzaghi

(Terzaghi, 1943) propuso una fórmula sencilla para la carga máxima que podría soportar una cimentación continua con carga vertical centrada, apoyada sobre la superficie de un suelo dada por:

$$\frac{p_u}{b} = qN_q + cN_c + \frac{\gamma b}{2} N_\gamma$$

Dónde:

P_u = carga vertical máxima por unidad de longitud.

q = Sobrecarga sobre el terreno adyacente a la cimentación.

c = Cohesión del terreno.

b = ancho transversal de la cimentación

γ = Peso específico efectivo (ver tensión efectiva) del terreno.

$N_q(\varphi), N_c(\varphi), N_\gamma(\varphi)$ = Coeficientes dependientes de ángulo de rozamiento interno, para las que Terzaghi sugirió algunas aproximaciones particulares, como por ejemplo $N \approx 5,0$

Anteriormente (Prandtl, 1920) había resuelto el problema para una cimentación de longitud infinita y ancho b sobre un terreno arcilloso con ángulo de rozamiento nulo y peso despreciable, obteniendo:

$$(N_c, N_q, N_\gamma) = (2 + \pi, 1, 1) \Rightarrow \frac{P_u}{b} = (2 + \pi)c + q$$

La fórmula de Terzaghi por tanto generaliza el cálculo de Prandtl para la capacidad portante a corto plazo. La fórmula (1) es aplicable tanto al largo plazo como a corto plazo:

Capacidad portante a corto plazo o no-drenada. En este caso se puede tomar $N_q \approx \gamma$ y se puede despreciar el peso del terreno, pero debe

tomarse como cohesión como la resistencia al corte no drenada $c=c_D$.

Capacidad portante a largo plazo o drenada. En este caso se toma la cohesión como resistencia al corte drenado, y debe considerarse las variables como función del ángulo de rozamiento interno.

La fórmula de Prandtl fue mejorada por Skempton para tener en cuenta la longitud finita (L) de las cimentaciones rectangulares reales, y el hecho de que se encuentran a una profundidad finita (D), la fórmula Skempton es:

$$p_u \approx 5c \left(1 + 0.2 \frac{b}{L}\right) \left(1 + 0.2 \frac{D}{L}\right) + q$$

b. Estabilidad de Taludes

El campo de la estabilidad de taludes estudia la estabilidad o posible inestabilidad de un talud a la hora de realizar un proyecto, o llevar a cabo una obra de construcción de ingeniería civil, siendo un aspecto directamente relacionado con la ingeniería geológica - geotécnica. La inestabilidad de un talud, se puede producir por un desnivel, que tiene lugar por diversas razones:

Razones geológicas: laderas posiblemente inestables, orografía acusada, estratificación, meteorización, etc.

Variación del nivel freático: situaciones estacionales, u obras realizadas por el hombre.

Obras de ingeniería: rellenos o excavaciones tanto de obra civil, como de minería.

Los taludes además serán estables dependiendo de la resistencia del material del que estén compuestos, los empujes a los que son sometidos o las discontinuidades que presenten. Los taludes pueden ser de roca o de tierras. Ambos tienden a estudiarse de forma distinta.

"En las primeras etapas de estudio es precisa la presencia del geólogo para hacer un reconocimiento a nivel macro del terreno, para lo cual es deseable que vaya acompañado de un geotecnista. En estos términos resultan ser una buena opción que este trabajo sea realizado precisamente por un ingeniero geólogo, quien combina conocimientos de geología y geotecnia" NAG - 2013.

Tipos de inestabilidad

Desprendimientos o desplomes

Son movimientos de inestabilidad producidos por falta de apoyo, englobando a una escasa cantidad de terreno. Suele tratarse de rocas que caen por una ladera, debido a la pérdida del apoyo que las sustentaba. Entre los desprendimientos o desplomes, se puede

incluir el caso del desplome de una columna rocosa en un acantilado, debido a la erosión en la base del mismo, pueden ser ocasionados por la naturaleza o por la humanidad (Ramírez & Alejano, 1981) .

Corrimientos

Son movimientos que afectan a una gran cantidad de masa de terreno. Un tipo particular de corrimiento de tierra son los deslizamientos, que se producen cuando una gran masa de terreno o zona inestable, desliza con respecto a una zona estable, a través de una superficie o franja de terreno de pequeño espesor. Los deslizamientos se producen cuando en la franja se alcanza la tensión tangencial máxima en todos sus puntos. Estos tipos de corrimiento son ingenierilmente evitables. Sin embargo, los siguientes no lo son:

Un flujo de arcilla se produce en zonas muy lluviosas afectando a zonas muy grandes. Los terrenos arcillosos, al entrar en contacto con el agua, se comportan como si alcanzasen el límite líquido, y se mueven de manera más lenta que los deslizamientos. Se da en pequeñas pendientes, pero en gran cantidad.

Licuefacción: se da en zonas de arenas limosas saturadas, o en arenas muy finas redondeadas (loess). Debido a la gran cantidad de

agua intersticial que presentan, las presiones intersticiales son tan elevadas que un seísmo, o una carga dinámica, o la elevación del nivel freático, pueden aumentarlas, llegando a anular las tensiones efectivas. Esto motiva que las tensiones tangenciales se anulen, comportándose el terreno como un «pseudolíquido». Se produce, entre otros terrenos, en rellenos mineros.

Reptación: movimiento muy lento que se da en capas superiores de laderas arcillosas, de en torno a 50 centímetros de espesor. Está relacionado con procesos de variación de humedad estacionales. Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones, y suelen ser signo de una posible futura inestabilidad generalizada.

Causas de la inestabilidad

Por cambio en las condiciones geométricas o de las acciones actuantes:

- Excavaciones
- Relleno.
- Erosión de la zona inferior (oleaje, arrastre fluvial, etc.).
- Cimentaciones de estructuras que no profundicen lo suficiente y apoyen sobre terreno potencialmente inestable.
- Elevación en el nivel freático (por cambios estacionales u otras causas).

- Acciones sísmicas.

Coeficiente de seguridad

En el análisis de taludes se plantea la hipótesis de que este cociente se mantiene constante en todos los puntos de la superficie que se estudia.

Este cociente se define como coeficiente de seguridad al deslizamiento (o al corte) particular dicha superficie. Al mantenerse constante puede establecerse una definición equivalente: cociente entre la fuerza resistente máxima que el terreno puede desarrollar a lo largo de la superficie (suma de todas las tensiones máximas) y la fuerza necesaria para equilibrar mecánicamente el peso y las acciones actuantes (suma de todas las tensiones existentes).

En una situación lejana a la rotura la tensión tangencial de los puntos de cualquier superficie de un talud es menor que la tensión máxima posible, por lo que:

$$\frac{c + \sigma \cdot \text{tang } \phi}{\tau} > 1$$

En el análisis de taludes se plantea la hipótesis de que este cociente se mantiene constante todos los puntos de la superficie que se estudia.

Este cociente se define como coeficiente de seguridad al deslizamiento (o al corte) particular de dicha superficie. Al mantenerse constante puede establecerse una definición equivalente: cociente entre la fuerza resistente máxima que el terreno puede desarrollar a lo largo de la superficie (suma de todas las tensiones máximas) y la fuerza necesaria para equilibrar mecánicamente el peso y las acciones actuantes (suma de todas las tensiones existentes).

$$\frac{c \cdot l + N \cdot \tan \phi}{T}$$

Siendo l la longitud de la línea estudiada y N la suma de las tensiones normales σ .

El coeficiente de seguridad de un talud corresponde al valor menor de este cociente entre todos aquellos que han proporcionado las superficies posibles. A éste se le define como coeficiente de seguridad del talud “F”. A la línea que lo proporciona se le denomina superficie pésima.

Si el terreno tuviera un valor de los parámetros resistentes (c^* y ϕ^*) igual a los reales (c y ϕ) afectados por el coeficiente de seguridad al deslizamiento del talud, de la forma:

$$c^* = \frac{c}{F}$$

$$\text{tang } \phi^* = \frac{\text{tang } \phi}{F}$$

El talud estaría en situación de rotura.

El valor del coeficiente de seguridad depende de la importancia de la obra y de los daños inherentes a la rotura del talud. Se recomienda, para procesos permanentes a largo plazo valor superior a 1,4, y preferiblemente por encima de 1,5. Puede reducirse a valores de 1,3 en situaciones transitorias, e incluso a valores menores, de 1,1 a 1,2, en situaciones accidentales (p.e. sollicitaciones sísmicas).

Tabla 1: Coeficientes de Seguridad de Cimentaciones

COMBINACIÓN DE ACCIONES	COEFICIENTE NORMAL	COEFICIENTE REDUCIDO
Casi permanente (*)	$F_1 \geq 1,50$	$F_{1,red} \geq 1,30$
Característica	$F_2 \geq 1,30$	$F_{2,red} \geq 1,20$
Accidental	$F_3 \geq 1,10$	$F_{3,red} \geq 1,05$

Fuente: Apuntes de Ingeniería Civil

Datos necesarios para el análisis de estabilidad

Se requiere conocer:

- Geometría y orientación del talud, considerando una sección (o secciones) representativa, de forma que con ella se obtengan los valores críticos.

- Definición de las capas o estratos de terreno existentes.
- Parámetros resistentes a corto (c_u) y largo plazo (c y ϕ), y γ de cada terreno.
- Situación del nivel freático si es que existe.
- Otras acciones, como cargas transmitidas por estructuras cimentadas en el talud o en su entorno.
- Existencia de elementos estructurales estabilizadores.
- Estructura de la roca: familias de discontinuidades, buzamiento y dirección de buzamiento, estado de las discontinuidades.

Efecto del agua

A corto plazo (sólo en terreno cohesivo):

- Considerar el γ_{nat} . (Puede estar saturado) del terreno encima del N.F. y γ_{sat} . por debajo.
- El parámetro resistente es la resistencia al corte sin drenaje c_u .
- No deben considerarse presiones intersticiales a lo largo de la línea analizada.
- Si existe agua libre por encima del plano inferior del talud, hay que considerar el peso de esta agua gravitando sobre el terreno.

A largo plazo (régimen hidrostático - alternativa 1):

- Considerar el γ_{nat} . (Puede estar saturado) del terreno encima del N.F. y γ_{sat} . por debajo.
- Los parámetros resistentes son c y ϕ (parámetros en efectivas).
- Deben considerarse presiones intersticiales a lo largo de la línea analizada.
- Si existe agua libre por encima del plano inferior del talud, hay que considerar el peso de esta agua gravitando sobre el terreno.

A largo plazo (régimen hidrostático - alternativa 2):

- Considerar el γ_{nat} . (Puede estar saturado) del terreno encima del N.F. y γ_{sum} . ($\gamma_{sat} - \gamma_w$) por debajo.
- Los parámetros resistentes son c y ϕ .
- No deben considerarse presiones intersticiales a lo largo de la línea analizada (puesto que ya están contempladas implícitamente al plantear γ_{sum} . bajo el N.F.).
- Aunque exista agua libre por encima del plano inferior del talud, no hay que considerar el peso del agua gravitando sobre el terreno (por la razón anterior).

- A largo plazo (en régimen de filtración).
- Si existe agua es el caso más frecuente.

Sólo debe utilizarse la alternativa 1

Métodos de cálculo

Principalmente los de equilibrio límite, que obtienen, en una superficie (*) cualquiera estudiada, el valor de la fuerza resistente necesaria para alcanzar el equilibrio estricto de la masa de terreno limitada por dicha superficie. De la comparación de esta fuerza con el valor de la máxima fuerza resistente que la línea puede desarrollar se obtiene el coeficiente de seguridad.

En casi todos los métodos de equilibrio límite deben analizarse sucesivas líneas de rotura hasta encontrar la que proporciona el valor del coeficiente de seguridad mínimo. Esto requiere un proceso de cálculo laborioso, por lo que el uso de estos métodos requiere, generalmente, el empleo de programas de ordenador.

Con estos métodos no se pueden conocer deformaciones y movimientos del terreno.

También pueden utilizarse métodos tensodeformacionales (elementos finitos) para el análisis de estabilidad de un talud.

(*) Generalmente el análisis es bidimensional, por lo que la superficie deviene en una línea.

Método del talud indefinido

Se utiliza en el estudio de estabilidad de laderas naturales que tienen un substrato rocoso (o terreno más resistente) paralelo a la superficie a una profundidad relativamente pequeña inestabilidad esperable de deslizamiento plano paralelo a la superficie del terreno.

Puede existir, o no, filtración paralela al talud.

En una franja de terreno de ancho “a” y profundidad “d” se tiene el siguiente esquema de fuerzas:

Por ser talud indefinido $\rightarrow R$ es cte.

W, peso del terreno

$$W = a \cdot (\gamma_{nat} \cdot h_w + \gamma_{sat} \cdot (d - h_w))$$

N', suma de las tensiones efectivas σ

U, suma de las presiones de agua

$$U = a \cdot (d - h_w) \cdot \gamma_w \cdot \cos \beta$$

T, suma de las tensiones tangenciales.

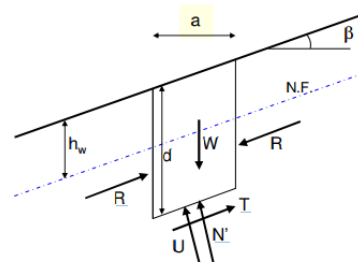


Figura 1: Diagrama de equilibrio de fuerzas

Planteando el equilibrio de fuerzas en la dirección de N' y de T, se obtiene:

$$N' + U = W \cdot \cos \beta \quad T = W \cdot \sin \beta$$

La fuerza tangencial máxima que se puede generar en la base de la franja es:

$$T_{\max} = c \cdot a / \cos \beta + N' \cdot \tan \phi$$

El valor del coeficiente de seguridad es:

$$F = \frac{c \cdot \frac{a}{\cos \beta} + N' \cdot \tan \phi}{T}$$

Que al sustituir con las expresiones anteriores resulta la siguiente expresión:

$$F = \frac{c}{\sin \beta \cdot \cos \beta \cdot (\gamma_{\text{nat}} \cdot h_w + \gamma_{\text{sat}} \cdot (d - h_w))} + \frac{\gamma_{\text{nat}} \cdot h_w + \gamma_{\text{sum}} \cdot (d - h_w)}{\gamma_{\text{nat}} \cdot h_w + \gamma_{\text{sat}} \cdot (d - h_w)} \cdot \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

Que en el caso de no existir filtración se simplifica a:

$$F = \frac{c}{\sin \beta \cdot \cos \beta \cdot \gamma_{\text{nat}} \cdot d} + \frac{\tan \phi}{\tan \beta}$$

El coeficiente de seguridad disminuye al aumentar “d”. La línea pésima es la más profunda posible y coincide con la del substrato

rocoso.

Método del círculo de rozamiento

En el caso de terreno homogéneo (o que pueda considerarse como tal sin grandes simplificaciones) se plantean líneas de rotura circular de centro O y radio R.

Hay que tantear diferentes líneas para obtener el coeficiente de seguridad mínimo

En cada una de ellas se tiene el siguiente esquema de fuerzas:

W, peso del terreno.

P_{ext}, cargas y sobrecargas externas.

Subpresión U, suma de presiones intersticiales a lo largo de la línea analizada (Conocida).

Fuerza reactiva N', suma de las tensiones normales efectivas σ' (desconocida en valor y punto de aplicación)

Las presiones intersticiales y las tensiones σ' son perpendiculares a la línea estudiada. Al ser ésta circular pasan todas por el centro O, por lo que → Las fuerzas U y N' pasan por el centro O.

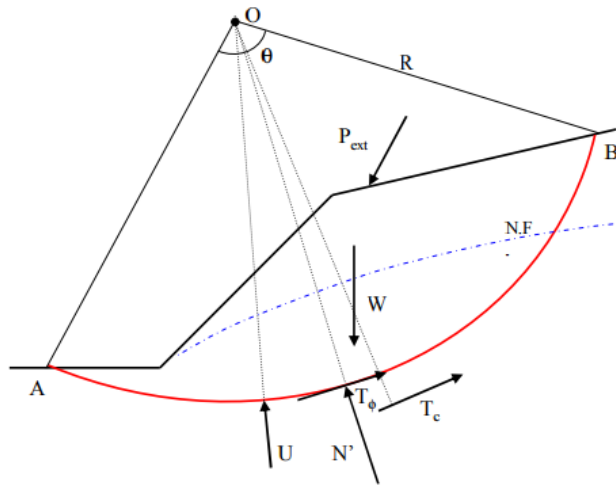


Figura 2: Círculo de falla de un talud

La Fuerza reactiva tangencial, que tiene dos componentes:

- T_c componente proporcionada por la cohesión c , de la que es fácil deducir su inclinación (paralela a la recta que une puntos A y B), y cuya distancia al centro O resulta ser

$$R \cdot \frac{\theta}{2 \cdot \text{sen} \frac{\theta}{2}}$$

- La componente friccional T_ϕ , que debe ser perpendicular a la fuerza normal N' , pero no se conoce su distancia al centro O.

Hay cuatro incógnitas (punto de aplicación de N' , valor de N' , distancia de T_ϕ al centro O y valor del coeficiente de seguridad) y sólo 3 ecuaciones de equilibrio ($\Sigma F_{hor} = 0$, $\Sigma F_{vert} = 0$, $\Sigma M = 0$) →

Hipótesis adicional para resolver el sistema \rightarrow distancia de $T\phi$ al centro $O \equiv$ radio R .

Métodos de fajas o rebanadas

Para evitar la hipótesis respecto a la distancia de $T\phi$, racionalizando la distribución de tensiones tangenciales friccionales.

Posibilidad de estudio de terrenos heterogéneos, y en algunos casos análisis de líneas de rotura distintas a la circular.

Consisten en dividir la masa potencialmente deslizante en varias rebanadas verticales, de forma que la base de cada rebanada se encuentre en un terreno homogéneo. Su espesor debe ser lo suficientemente pequeño para poder aproximar su fondo curvo a una recta.

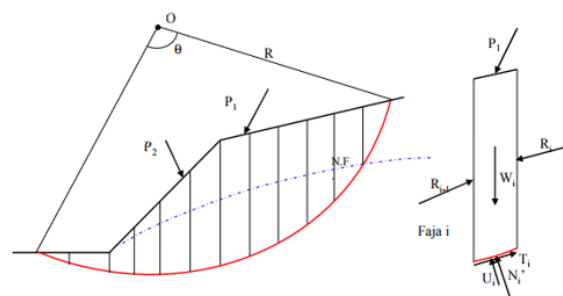


Figura 3: Método de las rebanadas

De la consideración en cada faja de una de las ecuaciones de equilibrio de fuerzas, junto con la del equilibrio global de momentos respecto al centro del círculo, se obtiene el coeficiente de seguridad. Al existir más incógnitas que ecuaciones, se necesitan una serie de hipótesis que se plantean respecto a las fuerzas de interacción R entre fajas. Dependiendo de los tipo de hipótesis se tienen los diversos métodos (Fellenius, Bishop modificado, Janbu, Spencer, Mongenstern – Price y otros).

Los tres últimos permiten la utilización de líneas no circulares. El método de Bishop modificado es muy utilizado, dando resultados adecuados en cuanto al valor del coeficiente de seguridad.

Todos ellos necesitan la utilización de programas de ordenador.

Resultado de un caso real

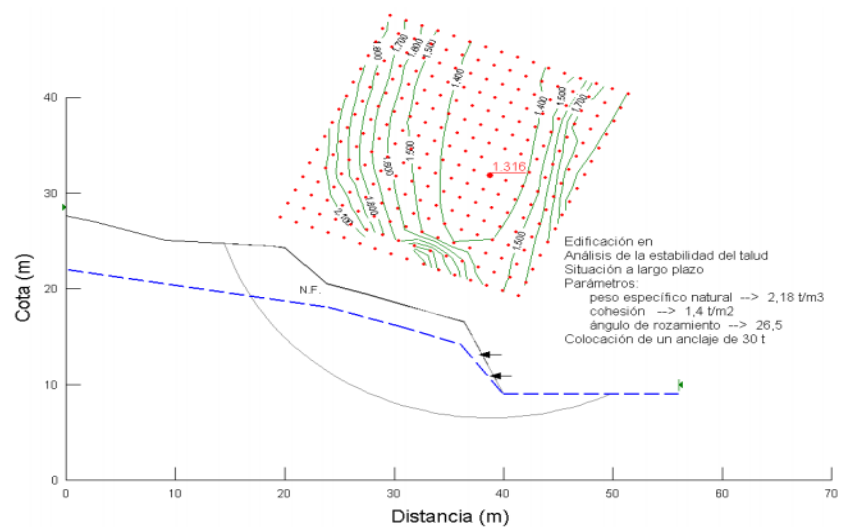


Figura 4: Isovalores de factores de seguridad

Sistematización del cálculo

Deslizamiento rotacional en taludes de altura finita, en suelos homogéneos (o cuya heterogeneidad no sea excesiva).

Círculo pésimo:

De pie (a) → ϕ medio-alto o β alto

Profundos (b) ϕ bajo y β medio - bajo

De pie profundo (a') → en situaciones intermedias, o existencia de estrato rígido relativamente superficial.

De talud (c) → Cambios de pendiente en el talud, existencia de estrato rígido relativamente superficial.

De pie (d) → Cambios de pendiente en el talud, Cohesión muy baja.

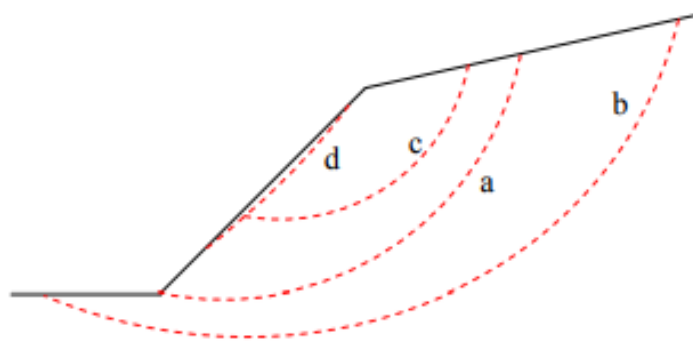


Figura 5: Variación del círculo de falla en función a la geometría del talud y tipo de suelo.

Ábacos de Taylor

Están basados en el método del círculo de rozamiento. Proporcionan

para casos sencillos el resultado buscado de forma rápida. Para su utilización deben cumplirse las siguientes especificaciones:

- Terreno homogéneo, con o sin substrato resistente horizontal a una determinada profundidad bajo el pie del talud.
- Superficie de talud plana. Superficies de coronación y pie planas y horizontales.
- Ausencia de sobrecargas.

Permite:

- Análisis a corto plazo
- Análisis a largo plazo con ausencia de cualquier régimen hidráulico.

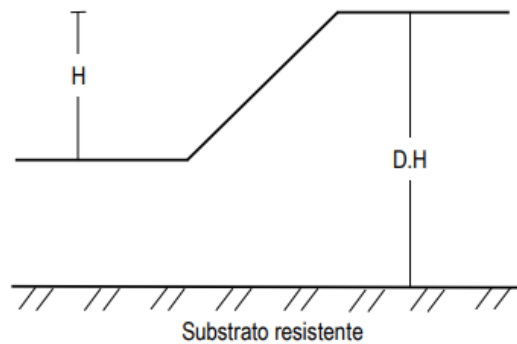


Figura 6: Talud de corte

Análisis a corto plazo.

El coeficiente de seguridad se obtiene dividiendo c_u del terreno entre el valor c^* que se obtiene del ábaco.

Las curvas n indican la distancia de afloramiento del círculo profundo al pie del talud.

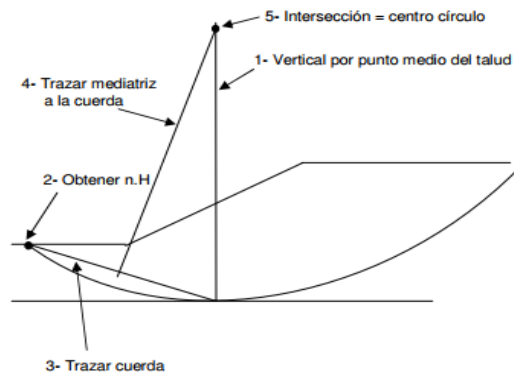


Figura 7: Dibujo del círculo profundo pésimo

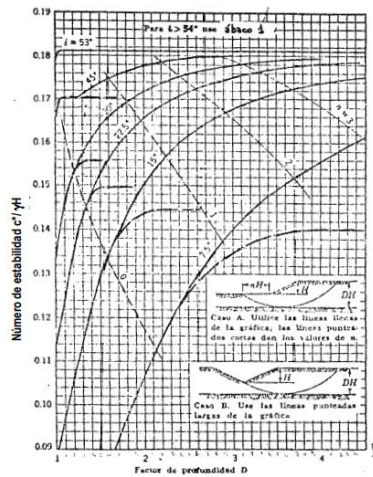


Figura 8: Ábaco de Taylor para estabilidad de taludes

Análisis a largo plazo.

Hay que entrar con un valor predeterminado del coeficiente de seguridad para calcular el valor del ángulo de rozamiento a introducir en el ábaco, y obtener de éste el valor de la cohesión.

El esquema es:

$$F\phi \rightarrow \tan \phi_{\text{ábaco}} = (\tan \phi_{\text{terreno}}) / F\phi \rightarrow c_{\text{ábaco}} \rightarrow Fc = c_{\text{terreno}} / c_{\text{ábaco}}$$

Este cálculo hay que hacerlo de forma iterativa hasta que $F\phi \cong Fc$.

En la práctica basta con 4 o 5 iteraciones.

Sistemas de corrección

Los sistemas de corrección minoran las acciones inestabilizadoras (gravitatorias o de filtración) y aumentan o mejoran las fuerzas estabilizadoras.

Para disminuir las fuerzas gravitatorias hay que corregir la geometría, reduciendo la pendiente del talud: descabezando, rebajando el ángulo de inclinación o mediante bermas.

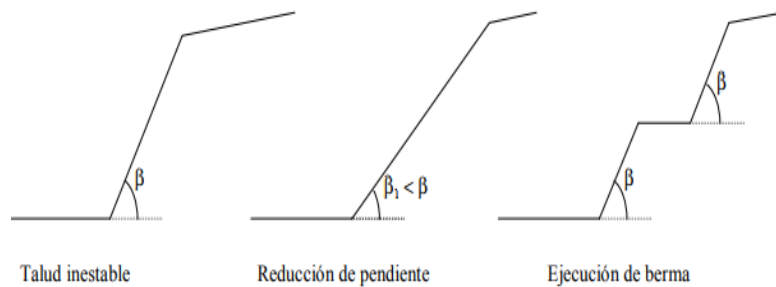


Figura 9: Sistemas de corrección de taludes

Para minorar el efecto inestabilizador del agua:

Sobre el agua superficial

- recogiendo y encauzando todas las fuentes existentes en el entorno del talud.
- cunetas en coronación para que la escorrentía de precipitación no afecte al talud.
- revegetalizar el talud si éste es definitivo.

Sobre el agua freática

- drenes californianos
- zanjas drenantes, ejecutadas en el frente del talud.

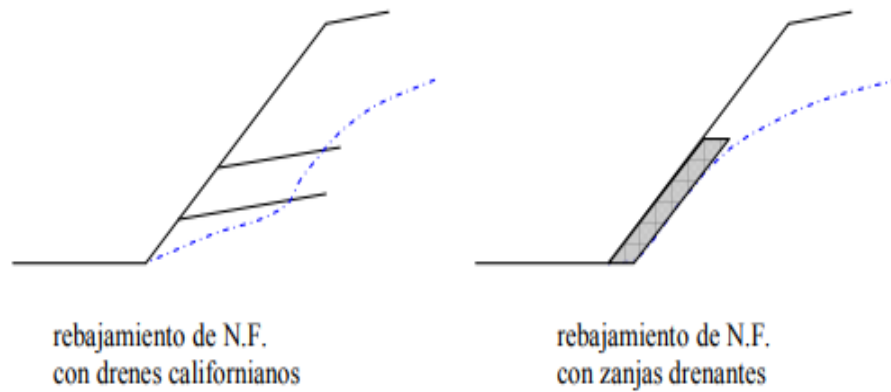


Figura 10: Sistemas de corrección utilizando drenes.

- Encachado
- Pozos (por bombeo o por gravedad)
- Galerías de drenaje

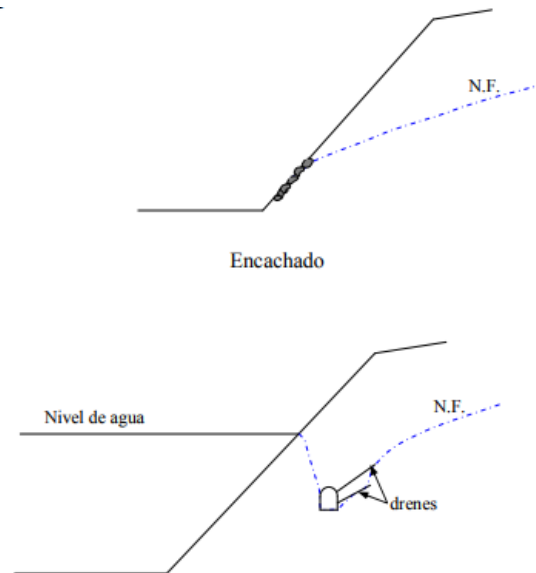


Figura 11: Galería en la ladera de un embalse

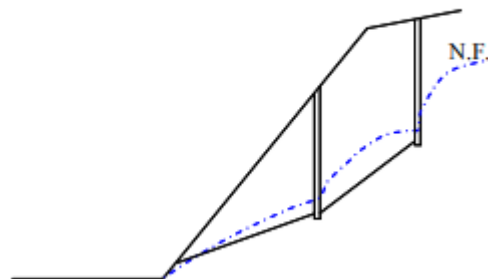


Figura 12: Pozos verticales para disminuir el nivel freático

Aumentan las fuerzas estabilizadoras con elementos de contención o soporte.

Estructuras de contención en el pie del talud, apoyadas en terreno firme

- Muros de hormigón
- Muros de escollera o gaviones

- Pantallas

Elementos trabajando a tracción: anclajes o bulones. Todo el bulbo de anclaje debe ubicarse en terreno estable.

Muy utilizados en taludes rocosos. En suelos es frecuente construir muros de hormigón anclados a terreno firme.

Elementos trabajando a cortante; Deben profundizar sobradamente por debajo de la superficie pésima o de rotura.

- Pilotes anclados o no (o paneles de pantalla separados entre sí)
- Micropilotes (pueden requerir anclado en cabeza y estar inclinados para absorber F_{hor} .)
- Columnas de jet-grouting
- Carriles hincados. En general, en estabilización provisional de taludes (pueden requerir anclado en cabeza).

Caídas de bloques

- Problema local (no inestabilidad general)
- Posible degradación progresiva

Medidas correctoras:

- Evitar la formación y liberación de bloques
- Hormigón proyectado, mallazo
- Redes de cables y mallas ancladas

- Evitar despegue del paramento
- Mallas de guiado (triple torsión)
- Detener los bloques en su caída
- Pantallas estáticas
- Pantallas dinámicas (elásticas o plásticas)
- Detener los bloques en su caída
- Cunetones de recogida

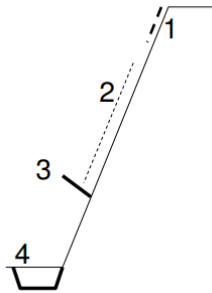


Figura 13: Medidas correctoras

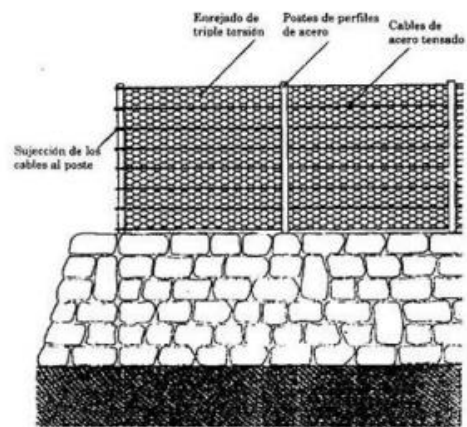


Figura 14: Pantallas elásticas

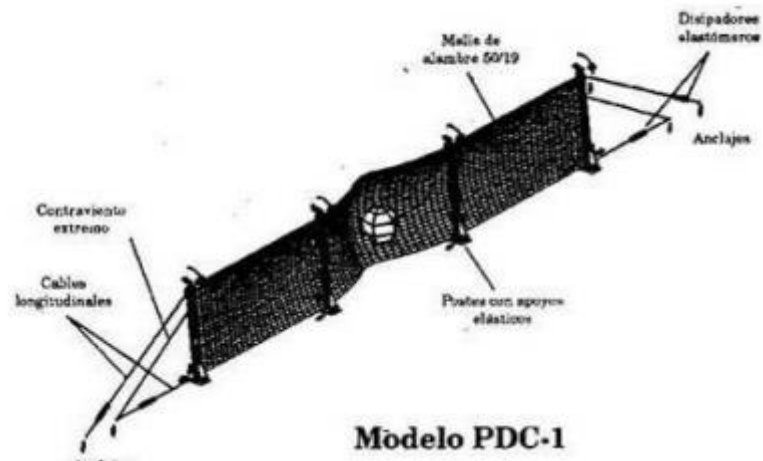


Figura 15: Pantalla dinámica elástica

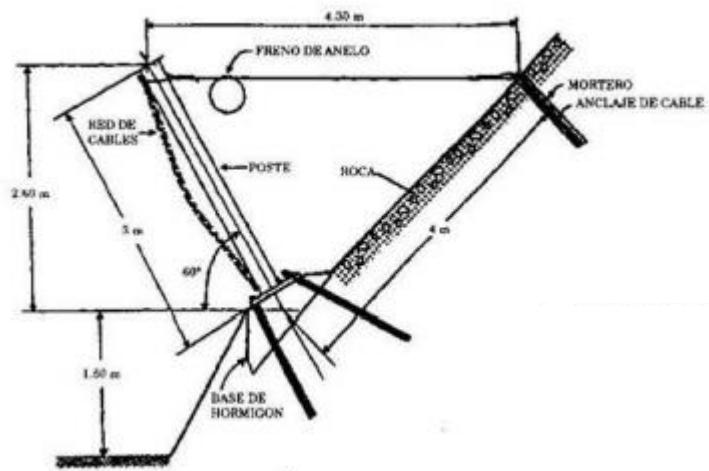


Figura 16: Pantalla dinámica plástica

2.3. GESTIÓN DE RIESGO

2.3.1. Introducción

Los procesos geodinámicos que afectan a la superficie terrestre dan lugar a movimientos del terreno de diferente magnitud y características, que

pueden constituir riesgos geológicos al afectar, de una forma directa o indirecta, a las actividades humanas.

Fenómenos tan variados como la erosión, disolución, movimientos sísmicos, erupciones volcánicas y las precipitaciones pueden producir deslizamientos y desprendimientos de laderas, coladas de tierra y derrubios, hundimientos, subsidencias, etc. Estos movimientos del terreno son el reflejo del carácter dinámico del medio geológico y de la evolución natural del relieve, pero también pueden ser provocados o desencadenados por el hombre al interferir con la naturaleza y modificar sus condiciones.

La ingeniería geológica, como ciencia aplicada al estudio y solución de los problemas producidos por la interacción entre el medio geológico y la actividad humana, tiene una de sus principales aplicaciones en la evaluación, prevención y mitigación de los riesgos geológicos, es decir, de los daños ocasionados por los procesos geodinámicos.

Los problemas derivados de la doble interacción entre el medio geológico y las actividades humanas hacen necesario el planteamiento de actuaciones adecuadas para conseguir un equilibrio entre las condiciones naturales y la ocupación del territorio, incorporando los métodos de prevención y mitigación de los riesgos geológicos a la planificación.

Estas actuaciones deben partir del conocimiento de los procesos geodinámicos y del comportamiento geomecánico del terreno.

2.3.2. Marco Teórico

2.3.2.1. Peligrosidad (P).-

Para evitar o reducir los riesgos geológicos e incorporar la influencia de éstos a la planificación y ocupación del territorio, es necesaria la evaluación de la peligrosidad. Para ello es necesario introducir su concepto. (Varnes, Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice., 1984) y (Barbat, 1998) la define de la manera siguiente:

La peligrosidad, P, (hazard) se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de un nivel de intensidad determinado, dentro de un período de tiempo determinado y dentro de un área específica.

La peligrosidad hace referencia a la frecuencia de ocurrencia de un proceso y al lugar. Para su evaluación es necesario conocer:

- Dónde y cuándo ocurrieron los procesos en el pasado.
- La intensidad y magnitud que tuvieron.
- Las zonas en que pueden ocurrir procesos futuros.
- La frecuencia de ocurrencia.

La peligrosidad según se ha definido, puede expresarse como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de determinada intensidad en un lapso de tiempo dado, pero también se puede expresar a partir del período de retorno T (años transcurridos entre 2 eventos o procesos de semejantes características), que es la inversa de la probabilidad anual de excedencia (Pa)).

$$T=1/P(a)$$

La probabilidad P de que un valor determinado de intensidad (por ejemplo un valor de aceleración en el caso de terremotos) correspondiente a un período de retomo medio T (años) sea extendido durante un período de tiempo determinado t puede expresarse como:

$$P= 1 - (1-1/T) t$$

La estimación de la peligrosidad se realiza a través de la confección de mapas de peligrosidad, las cuales se basan en la obtención y tratamiento de datos tomados en campo.

Existen diversas técnicas para elaborar este tipo de cartografías pero, existe un principio que se utiliza sistemáticamente en todas ellas, es el principio del actualismo. Como expresa (Varnes, 1984) el estudio del pasado y del presente es la clave de lo que

puede ocurrir en el futuro. Esto significa que los deslizamientos que puedan ocurrir, es probable que lo hagan en las mismas condiciones geológicas, geomórficas e hidrológicas que las de los deslizamientos antiguos.

2.3.2.2. Vulnerabilidad (V)

Es el grado de daños o pérdidas potenciales de un elemento o conjunto de elementos, provocado por la ocurrencia de un fenómeno de intensidad determinada. Depende de las características del elemento considerado (no de su valor económico) y de la intensidad del fenómeno; suele evaluarse entre 0 (sin daño) y 1 (pérdida o destrucción total del elemento) o entre 0 y 100% de daños.

Este parámetro suele definirse mediante las funciones de vulnerabilidad, que pueden ser establecidas a partir de los daños o pérdidas que los procesos han ocasionado en el pasado y/o en base a hipótesis de las pérdidas potenciales que ocasionarían los fenómenos si éstos ocurrieran.

En ambos casos hay que tener en cuenta la existencia de medidas actuales para la reducción o mitigación de los daños potenciales, que reducen la vulnerabilidad de los elementos expuestos. La

vulnerabilidad puede clasificarse en Vulnerabilidad social, estructural y económica (Tabla 2).

Tabla 2: Tipos de Vulnerabilidad y los daños o Pérdidas Ocasionados

VULNERABILIDAD	DAÑOS O PÉRDIDAS	
Social	<p>Muertos y desaparecidos.</p> <p>Heridos y discapacitados.</p> <p>Personas sin Hogar.</p> <p>Personas sin trabajo.</p> <p>Epidemias y enfermedades.</p>	<p>La vulnerabilidad social depende de:</p> <p>La intensidad y velocidad del fenómeno</p> <p>La densidad de población.</p> <p>La vulnerabilidad estructural.</p> <p>El tiempo de aviso.</p> <p>Los sistemas de emergencia y respuesta</p>
Estructural	<p>Daños sobre edificios y estructuras.</p> <p>Daños sobre el contenido de los mismos.</p> <p>Pérdida de beneficios.</p> <p>Efectos sobre las personas.</p>	<p>La vulnerabilidad estructural depende de:</p> <p>La intensidad y velocidad del fenómeno.</p> <p>El tipo y características de las construcciones</p> <p>La concentración en áreas de población.</p>

Económica	<p>Daños directos:</p> <p>Costes de reposición, reparación o mantenimiento de estructuras, instalaciones o propiedades, sistemas de comunicación, electricidad, etc.</p> <p>Daños indirectos:</p> <p>Reducción del valor de los bienes.</p> <p>Interrupción de los sistemas de transporte.</p>	<p>Pérdida de productividad de suelo agrícola o industrial.</p> <p>Pérdida de ingresos por Impuestos.</p> <p>Pérdida en la productividad humana.</p> <p>Pérdida en beneficios comerciales.</p> <p>Pérdida en la recaudación de impuestos.</p> <p>Costes de medidas preventivas o de migración.</p> <p>Pérdida de calidad del agua y contaminación.</p>
------------------	--	--

Fuente: Varnes J.D. (1984)

2.3.2.3 Riesgo (R)

El concepto de riesgo, R, (risk) incorpora consideraciones socio-económicas, y se define: como las pérdidas potenciales debidas a un fenómeno natural determinado (vidas humanas, pérdidas económicas directas e indirectas, daños a edificios o estructuras, etc).

La evaluación del riesgo geológico resulta compleja, por ser compleja la evaluación de los términos que lo definen. El riesgo se evalúa a partir de la peligrosidad correspondiente a un determinado proceso (causa) y de los efectos del mismo sobre los elementos expuestos al peligro (consecuencias). Estos efectos

sobre los elementos expuestos (edificios, infraestructuras, personas, bienes, etc.) pueden ser expresados por diferentes parámetros: vulnerabilidad, pérdidas, costes, exposición, etc. El riesgo está referido, como la peligrosidad, a un periodo de tiempo determinado, y se puede evaluar determinista o probabilísticamente.

Riesgo específico (Rs): significa el grado de pérdida esperado debido a un fenómeno natural. Se expresa como el producto de P por V.

Elementos bajo riesgo (E): Significa la población, propiedades, actividad económica etc., bajo riesgo en un área determinada.

Los elementos expuestos pueden ser personas, bienes, propiedades, infraestructuras, servicios, actividades económicas, etc, que pueden sufrir las consecuencias directas o indirectas de un proceso geológico en una determinada zona.

Coste (C): El coste o valor de los elementos bajo riesgo puede expresarse según diferentes criterios: coste de construcción de edificios o estructuras, coste de reparación de los daños causados, valor asegurado, etc.; también se pueden considerar los costes derivados de la interrupción de vías de comunicación, actividades económicas, servicios, etc.

Riesgo Total (RT): Corresponde al número de vidas pérdidas, personas damnificadas, daños a la propiedad, etc., debidas a un fenómeno natural concreto.

El riesgo total puede calcularse a partir de la expresión:

$$RT = (E) * (Rs) = (E) * (P*V)$$

Donde E son los elementos bajo riesgo; Rs es el riesgo específico expresado como P por V; V es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la acción del proceso y P es la peligrosidad del proceso considerado.

Algunos autores prefieren expresar el riesgo en función al coste por lo que usan la expresión:

$$RT = P * V * C$$

En este caso es posible la evaluación cuantitativa de las pérdidas. Si cualquiera de los factores es nulo, el riesgo será nulo; así en una zona de peligrosidad muy elevada, el riesgo será cero si no existen elementos expuestos, o si la vulnerabilidad de los mismos es nula. El hombre puede incrementar el riesgo al ocupar zonas peligrosas, al incidir en la intensidad de los procesos o provocarlos y al construir estructuras y edificios vulnerables. El riesgo puede reducirse disminuyendo la peligrosidad (actuando sobre los

factores que controlan los procesos en los casos en que sea posible)
o la vulnerabilidad (actuando sobre los elementos expuestos al
riesgo).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1.- HIPÓTESIS

3.1.1.- Hipótesis General

Las características geotécnicas del cerro Intiorko no garantizan la construcción de viviendas.

3.1.2.- Hipótesis Específicas

Mediante un análisis de riesgo geotécnico se identificará y evaluará el tipo y nivel de daños a los que está expuesta la zona en estudio.

3.2.-VARIABLES

3.2.1.-Variables Independientes: Características geotécnicas

Dimensiones:

- a) Peligro Geotécnico
- b) Vulnerabilidad de las viviendas

3.2.1.1.-Indicadores

- a) Capacidad Portante
- b) Estabilidad de Taludes.

3.2.1.2- Escala de medición

- a) Capacidad portante se mide en kilogramos por centímetro cuadrado (kg/cm^2)
- b) Ángulo de fricción en grados ($^\circ$)
- c) Cohesión se mide kg/cm^2 (c)
- d) Factor de Seguridad es adimensional (FS)

3.2.2.- VARIABLE DEPENDIENTE: Construcción de viviendas Dimensiones

- a) Riesgo Constructivo

3.2.2.1.- Indicadores

- a) Tipo y nivel de cimentación
- b) Taludes de corte

3.2.2.2.-Escala de medición

- a) La profundidad de la cimentación se mide en metros (m).
- b) Inclinación de los Taludes: horizontal vs vertical (h/v)

3.3.-TIPO DE INVESTIGACIÓN

Por la finalidad de la tesis, es una investigación del tipo aplicada, porque está orientada a contribuir con la solución del problema de investigación,

contribuyendo con recomendar medidas de mitigación para la reducción de riesgo geotécnico en las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero.

3.4.-NIVEL DE INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

El nivel de investigación por la naturaleza de las acciones planificadas es propositivo, en la modalidad de experimentación. Porque el proceso tiene como objetivo final resolver o proponer una alternativa optima de solución relacionada con establecer niveles de cimentación que ofrezcan buena capacidad portante para las estructuras y así como determinar taludes de corte estables.

3.5.-POBLACIÓN

La población en las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero ubicadas en el distrito de Ciudad Nueva, de acuerdo a lo informado por los dirigentes y el número de viviendas contabilizadas por el tesista, están constituidas por 49 y 31 familias respectivamente.



Figura 17: Vista panorámica a la Asociación de Vivienda Sol Naciente.

Fuente: Propia

3.6.- TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.6.1.- Técnicas

Se ha utilizado equipos de campo y laboratorio de campo y laboratorio de Mecánica de Suelos como:

- Cono de Arena para determinar la densidad de campo.
Norma NTP 339.143:1999.



Figura 18: Cono de densidad en campo

- Aparato de Casagrande para determinar el límite líquido según Casagrande descrito por la norma ASTM D 423.

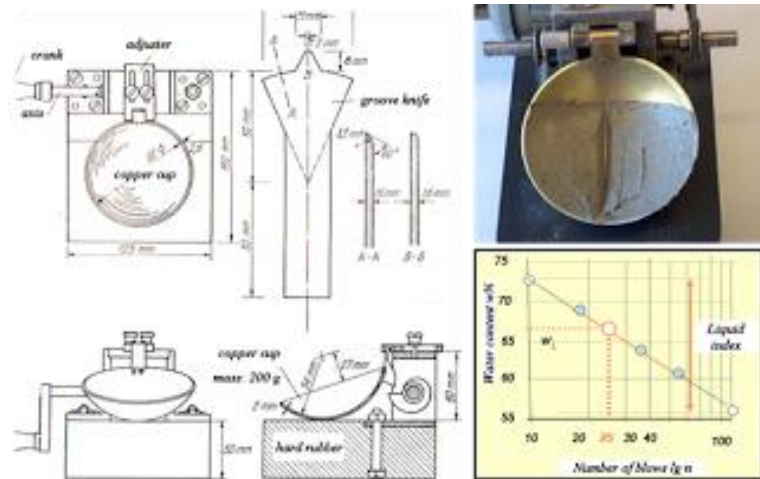


Figura 19: Aparato de Casagrande

- Mallas para análisis granulométrico.



Figura 20: Juego de Tamices

- Equipo Automático para Ensayos de Corte Directo y Residual.



Figura 21: Equipo de Corte Directo

3.6.2.- Instrumentos Y Software

3.6.2.1.- Computador

El computador requerido para el ensayo y procesamientos de datos debe tener las mínimas características:

- Procesador Core 2 Duo 2GHz o superior
- 2GB de RAM
- Tarjeta gráfica de 512 MB o superior
- DirectX 9.0 o superior
- 4 GB de espacio libre en el disco duro
- Windows XP en adelante

3.6.2.2. Software

Se han utilizado software para el cálculo de la capacidad portante y estabilidad de taludes tales como:

- a.** Loadcap y cálculo con Excel para determinar la capacidad portante de los suelos.
- b.** SLIDE para calcular el factor de seguridad de los taludes de corte.

CAPITULO IV

GEOMORFOLOGÍA Y GEOLOGIA REGIONAL Y LOCAL

4.1. RECOPIACIÓN Y VALIDACIÓN DE LA INFORMACIÓN TÉCNICA EXISTENTE:

En la provincia de Tacna se han desarrollado estudio de carácter geológico de carácter general que involucran nuestra zona de estudio, los cuales se nombran y describen brevemente a continuación:

4.1.1. Geología de los Cuadrángulo de La Yarada, Tacna y Huaylillas

Hojas 37-u, 37-v y 37x Boletín N° 145 INGEMMET año 2012:

Describe las diferentes unidades geomorfológicas y geológicas presente en el cuadrángulo, donde se han determinado geoformas llanas muy amplias denominadas como la Superficie Huaylillas, la Pampa Costanera, la Desembocadura, Línea de Litoral y la Cordillera de Costa las cuales fueron incididas por factores tectónicos y erosionales las que actuaron sobre rocas metamórficas, intrusivas, sedimentarias y volcánicas así como en sedimentos granulares y finos (Acosta et al., 2012). Se hace una referencia de la presencia de agua subterránea en La Yarada.

Las edades de las rocas fluctúan entre el Neógeno medio a Cuaternario reciente.

4.1.2. Geología de los Cuadrángulos de Pachía y Palca Boletín N° 139 Serie A INGEMMET año 2011.

Describe las diferentes unidades geomorfológicas y geológicas presente en el cuadrángulo, donde se han determinado geoformas llanas muy amplias denominadas como Pampa Costanera, el Flanco Disectado de los Andes y la Puna las cuales fueron incididas por factores tectónicos y erosionales las que actuaron sobre rocas sedimentarias y volcánicas así como en sedimentos granulares y finos (Acosta, 2011).

Las edades de las rocas fluctúan entre el Triásico superior al Cuaternario reciente.

4.1.3. Estudio Hidrogeológico Proyecto Especial Tacna, año 2004

Considera estudios de Geología, Hidrología, Hidroquímica en Inventario de Tierras Agrícolas así como el Modelamiento de Simulación del acuífero de La Yarada, el ámbito de estudio fue la Cuenca del rio Caplina.

4.2. UBICACIÓN, ACCESIBILIDAD Y CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

4.2.1. Ubicación

La zona de estudio se encuentra ubicada en el distrito de Ciudad Nueva, provincia y región Tacna.

Geográficamente se ubica entre las siguientes coordenadas UTM:

8 012 293 N- 3 691 141 E

Altitudinalmente la zona de estudio se encuentra ubicada a los 745 m.s.n.m.



Figura 22: Ubicación de la zona de estudio

4.2.2. Accesibilidad

La zona de estudio dista 5 km del Centro Cívico de la ciudad de Tacna y se llega atravesando el distrito de Tacna y Alto de la Alianza utilizando las diferentes avenidas y calles asfaltadas.

4.2.3. Características Físicas

4.2.3.1. Hidrografía

Las aguas de la cuenca Caplina tienen sus nacientes en la cordillera del Barroso a una altitud de 5300 m.s.n.m. que discurre a través de las diferentes quebradas recorriendo una estrecha franja de tierras de cultivo hasta concluir su recorrido en el Océano Pacífico luego de atravesar el abanico fluvial de La Yarada. La red de subcuencas del área de estudio son: Caplina, Palca, Uchusuma, Cobani, Viñani, Cauñani, Espíritus y Escritos; es importante indicar que el aporte principal de agua proviene de la subcuenca Caplina que en sus nacientes tiene el nombre de río Huancune.

La cuenca Caplina tiene forma de un cuerpo alargado, expandiéndose a medida que el río se acerca al Océano Pacífico; y están limitadas en sus cumbres por las cuencas del río Sama por el Norte, la Quebrada Lluta por el Sur; por el Este con la cuenca Maure y Uchusuma y por el Oeste con el Océano Pacífico.



Figura 23: Cordillera del Barroso donde nace el río Caplina

4.2.3.2. Clima

La cuenca del Caplina se puede establecer que existen dos climas marcados; un clima cálido en la costa y un clima frío-húmedo en la zona alta. Este último se debe principalmente a su ubicación en el extremo Sur de los Andes peruanos; el cual presenta una sucesión variada de cadenas montañosas, con ríos y quebradas con una orientación general predominante de Nor-Este a Sur-Este.

La temperatura media varía de 18,3 °C en la Costa a 3,3°C en la Puna. En la cuenca en general se presenta una serie de variaciones térmicas de acuerdo a los pisos altitudinales existentes. Las temperaturas máximas extremas promedio varían de 24 °C a 20 °C, mientras que las temperaturas mínimas extremas promedio varían de 0,8 °C a 14 °

Las precipitaciones pluviales son muy escasas siendo la precipitación total anual promedio de 6,03 mm. y la

evaporación total multianual de 840,3 mm. De acuerdo al diagrama de L.R. Holdridge esta región se clasifica de la siguiente manera:

Provincia de Humedad:	Desecado
Región Latitudinal:	Templada Cálida, Subtropical
Piso Altitudinal:	Montano Bajo Piso Basal
Clasificación Holdridge:	Desierto

4.2.3.3 Flora

Bajo el intenso sol del desierto tacneño y sobre el suelo seco, aparecen los chaparrales y la tillandsia de la familia de las bromelias. Sus hojas se convirtieron en duras espinas que la protegen de los animales herbívoros y sus flores de poderosas fragancias, tomaron un intenso color amarillo que atrae a los polinizadores desde muy lejos.



Figura 24: Flora

4.2.3.4. Fauna

En nuestra zona de estudio, donde se observa un paisaje árido con geformas denominadas como dunas, donde el intenso sol y la aridez del desierto ahuyentan a la mayoría de los seres vivos. Se trata del extremo septentrional del desierto de Atacama, uno de los desiertos más extensos y áridos del mundo. Sin embargo, hacia el norte, en este desierto subsiste una reducida fauna compuesta principalmente de lagartijas, y zorros.



Figura 25: Fauna

4.3. GEOMORFOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio se ubica en la unidad geomorfológica de Pampas Costanera donde está emplazada la subunidad geomorfológica de Valle.

Esta unidad geomorfológica está constituida por una topografía con pendientes comprendidas entre 2° a $2,5^\circ$ y se encuentra ubicada entre los 200 y 1400 msnm. Esta unidad fue incidida por los ríos Caplina, Uchusuma y por una serie de quebradas durante la ocurrencia de crisis climáticas. En los valles principales alcanzan profundidades de hasta 200 m.



Figura 26: Vista hacia la subunidad de Valle desde el flanco de la lomada Intiorko

En nuestra zona de estudio gran parte de la Pampas Costanera han sido erosionada por los ríos Caplina, Uchusuma y otras quebradas que se han instalado en forma paralela y en dirección NE a SW, restos de esta unidad geomorfológica lo constituyen los cerros Arunta, Malos Nombres, Los Churcos, Hospicio Antiguo, Los Escritos, etc., en el lado Oeste del área de

estudio esta superficie es más amplia y forman los cerros Intiorko, Lomada La Cruz, cerro Para, cerro Magollo, etc.

En esta unidad, los actuales agentes modeladores del relieve lo constituye las variaciones climáticas extremas y el viento.

Los ríos Caplina y Uchusuma al ingresar a la unidad geomorfológica de Pampa Costanera en el valle de Tacna disminuyen su pendiente entre 4 a 6%, estos ríos son de sinuosidad débil, por lo tanto no son meandriformes.

El río Caplina en la zona de Calientes se ha encajado dentro de unas terrazas de origen aluvial. A la altura del poblado de Calana el río Caplina se desvía hacia el Este debido a la presencia de unas tobas del Pleistoceno, aguas abajo de este lugar el río Caplina ha sido desviado hacia el río Uchusuma mediante una obra de derivación, para evitar su ingreso a la ciudad de Tacna, como medida de protección.

El río Uchusuma al ingresar a la unidad geomorfológica de Pampas Costanera se emplaza sobre un cauce de depósitos aluviales, y luego de su confluencia con la quebrada Cobani, discurre en una región llana denominada Piedras Blancas para luego apegarse al pie del cerro Arunta.

En los valles y a diferente altitud se han observado depósitos fluviales constituyendo numerosas terrazas. El desarrollo de las terrazas más jóvenes es mayor en sentido SO, identificándose las más antiguas solo hacia los sectores más proximales, hacia el NE.

En la actualidad la acción de los ríos es mínima debido a las bajas precipitaciones en la zona y sólo en épocas del “Fenómeno del Niño” trae un caudal considerable.



Figura 27: Río Caplina, a la altura de Calientes, en época de avenida.

4.4. GEOLOGÍA REGIONAL

Regionalmente la zona de estudio se encuentra conformada por las siguientes formaciones que se describen en orden cronológico de acuerdo a su deposición:

4.4.1. Grupo Toquepala

A finales del Cretáceo e inicios del Paleógeno se produce un vulcanismo, con la acumulación de andesitas y riolitas, con intercalación de conglomerados y areniscas, al mismo tiempo se produce una actividad magmática a profundidad, en el Paleoceno, representado por los intrusivos graníticos de la Unidad Yarabamba.

4.4.2. Formación Huilacollo

En el Eoceno otro magmatismo produce los volcánicos de la Formación Huilacollo y los intrusivos graníticos de la Unidad Challaviento.

4.4.3. Formación Moquegua

La formación Moquegua, representada por sus facies proximales, conformadas por una sucesión de conglomerados, microconglomerados, areniscas conglomerádicas de un ambiente fluvio-aluvial y niveles lenticulares de cineritas. Los clastos de los conglomerados de los niveles basales de la unidad son en mayor proporción ígneas de naturaleza granodiorítica y andesítica proveniente de la erosión de los intrusivos de la zona y del Grupo Toquepala; en contraste, se nota hacia los niveles superiores una predominancia cada vez mayor de clastos de naturaleza dacítica, riolítica y riodacítica provenientes de volcánicos diferentes a los del Toquepala, siendo probable la actividad contemporánea de unidades volcánicas. En menor proporción se observan clastos de los sedimentarios provenientes de las unidades Jurásicas. La matriz de los conglomerados y areniscas conglomerádicas cercanos al contacto con las tobas de la Formación Huaylillas es areno-limosa tobácea y rojiza.

4.4.4. Formación Huaylillas

Sobre el nivel sedimentario se acumula otro nivel volcánico, compuesto por una secuencia de tobas pobremente soldadas a muy soldadas. Estas tobas de composición variable entre riolitas y dacitas, son de color variable entre blanco y marrón oscuro, y se componen de pómez lapilli, líticos a la base de los flujos y cristales de cuarzo violáceo bipiramidal y biotitas. La variación de las facies de pobremente soldadas a muy soldadas, y el paso rápido gradual entre los depósitos sugieren una columna de enfriamiento, y por lo tanto generados por un mismo episodio de evento.



Figura 28: Cerro Huahuapas donde se puede observar la formación Moquegua formando la base de dicha montaña y que es coronado por las tobas volcánicas de formación Huaylillas.

4.4.5. Formación Millo

En cerro de Molles, Yaramajada, Magollo y La Yarada una serie detrítica de coloración gris conforma un pedimento desarrollado encima de la Formación Huaylillas. Se observan clastos de naturaleza mayormente andesíticas, a manera de regolitos, de aparentemente conglomerados, conglomerados arenosos y arenas conglomeráticas, conformando una serie que por sus características litológicas y geomorfológicas asociamos a la Formación Millo de edad probable Plioceno.

En cerro Magollo, las facies proximales de la unidad Millo están conformadas por una sucesión de conglomerados de guijarros y guijas de naturaleza predominantemente andesítica, intercalados con pequeñas secuencias lenticulares de areniscas conglomeráticas.



Figura 29: Formación Millo en el sector de Magollo.

4.4.6. Unidad de Conglomerados Calientes

El inicio del Pleistoceno marca un cambio climático (crisis climáticas) que origina la deposición en la Costa de grandes volúmenes de material detrítico agrupados en la Unidad de Conglomerados antiguo y está constituido por cantos rodados, gravas con arenas en una matriz limosas que contienen clastos de tobas de la formación Huaylillas.



Figura 30: Conglomerado Calientes, le sobreyace las tobas Pachía

4.4.7. Toba Pachía

En la quebrada Caramolle, se han observado depósitos piroclásticos que corresponden a tobas no soldadas de tipo ignimbrítica, acumulados en los valles. Se distingue una toba rosácea con pómez, cuarzos y biotitas.



Figura 31: Depósitos piroclásticos

4.4.8. Depósitos del Cuaternario Reciente

En el fondo de los ríos y quebradas se acumulan numerosos depósitos fluvio-aluviales conformando terrazas, y se producen derrumbes originando depósitos de deslizamientos. La acción del viento produce depósitos eólicos, sobre las pampas, cumbres y laderas de los cerros. En las pampas costaneras una costra de carbonatos de calcio conocidas como “caliche” recubre en algunos sectores a las formaciones geológicas.

4.5. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La zona de estudio y los alrededores han estado sometidos al tectonismo y movimientos epeirogénicos que originaron los plegamientos y el emplazamiento de la masa de los Andes.

Los principales rasgos estructurales en la zona de estudio y alrededores están constituidos por pliegues y fallas. Estas deformaciones se han sucedido en diferentes fases tal como se describirá en el acápite de Geología Histórica.

4.5.1. Sistema de Fallas Calientes-Chuschuco (Sempere y otros, 2002)

Constituye un importante alineamiento estructural que corre 26 km en dirección NO-SE, a través de los sectores de Higuera, Chuschuco y Calientes. Además existen otras pequeñas fallas de dirección subparalela al alineamiento principal (Jacay et al., 2002).

4.5.2. Sistema de Fallas Magollo-Escritos

Corresponde a un alineamiento estructural de orientación NO-SE de 36 km. de largo, que pasa por Magollo, Cerros La Garita, Hospicio antiguo y Escritos, hacia territorio chileno.

El rasgo más claro de esta falla constituye el quiebre de los cerros antes mencionados hacia el cono deyectivo del Río Caplina (Pampas de La Yarada), constituyendo un límite marcado. Además, en las fotografías aéreas se puede observar flexuramientos y pequeñas fallas normales con compartimientos NE alzados. Las evidencias sugieren un funcionamiento normal, comportándose aparentemente como importante control en la disposición del cono deyectivo del río Caplina.

4.5.3. Flexuras

En ambos flancos del valle de Tacna, que forman parte de lomadas de Intiorko y Arunta se observa un cambio de pendiente a lo largo de las cumbres de dichas lomadas que constituyen una caída en bloques a expensas de las rocas sedimentarias y volcánicas de las formaciones Moquegua y Huaylillas, las cuales desaparecen en el sector de Viñani (lomada Arunta) y en el sector de Magollo (lomada Intiorko), así mismo, dicho movimiento originó la caída lateral, hacia el valle de bloques de roca volcánica y sedimentaria correspondientes a las formaciones Moquegua y Huaylillas, y que en muchos casos han formado terrazas estructurales.



Figura 32: Areniscas tobáceas de la formación Huaylillas muy fracturadas a extremadamente fracturadas.

4.6. SISMICIDAD

El Perú está ubicado en una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la Tierra; por lo tanto se encuentra expuesta a constantes fenómenos sísmicos de gran magnitud, que ocasionan pérdidas humanas y materiales.

El Sur del Perú, por su ubicación en el borde Occidental de Sudamérica se encuentra en el área de influencia del proceso de convergencia de las placas de Nazca y Sudamericana, caracterizada por su alta sismicidad y la ocurrencia eventual de sismos destructivos.

La sismicidad en el Perú puede ser dividida en dos grupos: El primero y más importante, está asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca por debajo de la Continental; esta libera el 90% de la energía sísmica anual, siendo generalmente el más frecuente y el de grandes magnitudes

El segundo grupo, considera la sismicidad producida por deformación y está asociada a los fallamientos tectónicos activos existentes en el Perú; esta actividad sísmica es de menor frecuencia y de magnitudes moderadas.

Las características de la sismicidad del Perú, han sido descritas por diversos autores (Stauder, 1975); (Bevis & Isacks, 1984); (Tavera & Buforn, 1998) y entre las principales esta la relacionada con la distribución de los focos en superficie y en profundidad, la misma que ha sido clasificada en sismos con foco superficial ($h < 60$ Km.) intermedios ($60 < h \leq 350$ Km.) y profundos ($h > 350$ Km.).

Nuestra zona de estudio se ubica en donde los sismos son foco de profundidad intermedia ($60 < h \leq 350$ Km.), y se distribuye de manera irregular pudiendo definirse tres zonas:

La primera zona se distribuye paralela a la línea de costa por debajo de 9° S.

La segunda zona donde los sismos se localizan en el interior del continente (zona Norte y Centro) a lo largo de la Cordillera Oriental y zona Subandina.

La tercera zona se localiza en la región Sur del Perú, siendo esta región la de mayor índice de sismicidad, en este tercer grupo se encuentra nuestra zona de estudio donde la profundidad máxima del foco llegó a los 300 Km.

Según el mapa de isoaceleraciones confeccionado por (Castillo & Alva, 1993) en nuestra zona de estudio se esperan aceleraciones entre 0.38 a 0.40 g. De acuerdo al Reglamento Nacional de Construcción Norma Técnica de Edificación E.030 el área de estudio según el mapa de zonificación sísmica se ubica en la zona 3 (ver Mapa N° 01) cuyo factor de zona es igual a 0.4 g, pero se toma para el presente análisis una aceleración de 0.2 g, que representa el 50% de este valor, pues se considera que esta zonificación resulta demasiado general, para un análisis local; este valor se deberá tener en cuenta para el diseño de las obras y definición de zonas de riesgo.

4.7. GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Los rasgos geomorfológicos que se observan en el sector de la lomada Intiorko corresponden a la actividad tectónica y geomorfológica y que son

típicos de Valles de la Costa con laderas empinadas moldeadas en rocas sedimentarias y volcánicas, una zona de terrazas estructurales horizontales a subhorizontales producto de la tectónica, del desgaste del intemperismo, de la erosión fluvial y la zona conocida como cañón de erosión que constituye el desgaste producto de la avenida del río.

En un concepto, el modelado de este relieve es el resultado de la acción combinada de fenómenos endodinámicos y exodinámicos y construido en el marco de los procesos de agradación y degradación. Entre los fenómenos internos, las estructuras producidas durante el proceso de levantamiento andino y el vulcanismo del Terciario medio-Cuaternario han constituido los factores endógenos principales y entre los factores externos, juegan singular papel las crisis climáticas Pleistocénicas (glaciación, precipitaciones) y los agentes del intemperismo que han modelado y siguen modelando el paisaje actual de la zona. Durante el Pleistoceno, al parecer se produjeron una serie de deslizamientos de movimiento rotacional lento.

Podemos diferenciar siete unidades morfológicas, subdivididas de acuerdo a sus características particulares:

1. Laderas de Lomas

Son laderas de carácter destructivo producido a partir de procesos tectónicos y erosivos a los que han estado sujetas las formaciones Terciarias como el Moquegua y Huaylillas, produciendo caída de material

y originando la formación de laderas empinadas. La pendiente varía entre 21° a 23° calificada como pendiente media.



Figura 33: Laderas de lomadas

2. Terrazas Estructurales

En la zona se han formado también terrazas debido a la actividad tectónica como la que terraza donde se encuentra ubicado un sector de Ciudad Nueva.

3. Terrazas Tecnógenas

En el proceso de emplazar los lotes de las asociaciones de viviendas han creado espacios a manera de terrazas conformadas especialmente por las arenas limosas provenientes del depósito Coluvio Deluvial, cuya pendiente es mayor a 20°.



Figura 34: Terraza Tecnógena, construida con material propio proveniente de la excavación de la ladera.

4.8. UNIDADES LITOLÓGICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

La disposición física de las unidades litológicas en el área de estudio se muestra en el mapa geológico N° MRG-02.

4.8.1. Depósito Coluvial (Qpl-col)

El depósito Coluvial se encuentra distribuido a lo largo de la ladera y se encuentran cubiertos por los depósitos Coluvio Deluviales y Tecnógenos.

El depósito Coluvial está constituido por bloques y cantos rodados subangulares de tobas soldadas y areniscas y que encuentra rellena y sellada por sales de yeso. Se ubican en la parte alta y media de la zona de estudio y presentan un buzamiento general de los bloques contra la pendiente que indican el movimiento rotacional de la masa rocosa.



Figura 35: Depósito Coluvial representada por tobas volcánicas muy a extremadamente fracturadas.



Figura 36: Depósito Coluvial representada por bloques y cantos rodados de areniscas tobáceas, que están cubiertas por una delgada capa de depósito Coluvio Deluvial.

4.8.2. Depósito de Coluvio Deluvial (Qh-col del)

Producidos por la acción de la gravedad y de las precipitaciones esporádicas a expensas del depósito Coluvial. Litológicamente se encuentran constituidos por cantos rodados angulosos y arenas limosas, predominando estas últimas, las que se encuentran estado suelto.

Alcanzan espesores mayores a 5,00 m. y se incrementan ladera abajo.



Figura 37: Depósito Coluvio Deluvial en las faldas de la lomada Intiorko.

4.8.3. Depósito Tecnógeno (Qh-tec)

Producidos por la acción humana, que ha realizado el movimiento de las arenas limosas principalmente provenientes del depósito Coluvio Deluvial.

Este depósito, alcanza en la parte alta hasta 1,50 m y aguas bajo alcanza espesores mayores a 3,00 m.



Figura 38: Depósitos Tecnógenos

4.9. GEODINÁMICA

Los procesos externos e internos que modifican la estructura superficial terrestre son estudiados por la geodinámica. Las condiciones fisiográficas muy complejas y una geología compleja que muestra el territorio peruano producidas por los procesos de geodinámica externa e interna a lo largo de su histórica geológica son de carácter cíclico.

Los procesos que afectan a la zona de estudio son los siguientes:

4.9.1. Geodinámica Interna

Nuestra zona de estudio se encuentra ubicada en el Cinturón de Fuego del Pacífico la cual es una región de alta actividad sísmica producto de la subducción de la placas Continental y de Nazca. El terremoto del 23 de junio del 2001 de magnitud de 6,9 grados ocasionó daños de carácter mayor ya que algunas casas, como producto del movimiento sísmico provocaron el hundimiento de algunas viviendas de material noble.



Figura 39: En el Pueblo Joven "Ciudad Nueva" de Tacna, Justina y Leoncio Huamaní frente a la que era su casa. Tenía tres pisos.

4.9.2. Geodinámica Externa

En nuestra zona de estudio los fenómenos de geodinámica externa han participado y participan en el modelado de la superficie terrestre como resultado de la interacción de agentes geodinámicos como el agua, el sol, la gravedad, el viento y los organismos vivos y que ocurren bajo

diferentes modalidades o mecanismos dependiendo además de los factores geodinámicos como son factor litológico, estratigráfico, tectónico, topográfico, climatológico, hidrológico y antrópicos, son los Fenómenos de Remoción en Masa como:

4.9.2.1. Deslizamientos

Nuestra zona de estudio se caracteriza por presentar una serie deslizamientos que por su antigüedad son inactivos de acuerdo a la clasificación de Deslizamientos según su actividad propuesto por (Keaton & DeGraff, 1996), (Tabla 3) y que se produjeron durante la evolución del paisaje debido a las crisis climáticas.

4.9.2.2. Derrumbes

Los derrumbes en nuestra zona de estudio pueden ser de carácter natural y antrópico, en el primer caso las laderas muy empinadas pueden ceder frente a un evento sísmico y los derrumbes provocados por la acción del hombre debido al diseño de cortes de laderas empíricos, así como terraplenes sin la compactación adecuada.



Figura 40: Potencial zona de derrumbe a expensas del depósito Tecnógeno.

Tabla 3: Clasificación de Deslizamientos Según su Actividad Propuesta por Keaton y Degraff (1996)

Clasificación y Edad Estimada	Descripción	Riesgos Característicos
Activo < 100 años	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Se mueve actualmente. ➤ Puede corresponder a una activación. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Topografía irregular y lobulada. ➤ Escarpe principal bien definido y sin vegetación. ➤ Depresiones encharcadas. ➤ Arroyos en los flancos. ➤ Depósitos a pie de ladera. Desvío de cauces
Inactivo 100-5000 Años	<ul style="list-style-type: none"> ➤ No presenta movimiento actualmente 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relieve lobulado, escarpes vegetados en parte. ➤ Depresiones drenadas o sin drenadas. ➤ Vegetación diferente a las zonas adyacentes. ➤ El pie puede estar cortado por corrientes actuales.
Fósil o antiguo 5000 – 10000 años (Holoceno Superior)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inactivo desde hace miles de años. ➤ Se reconoce en el relieve 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relieve y escarpes suaves. Con vegetación. ➤ Drenaje modificado. ➤ Vegetación diferente de las zonas adyacentes. ➤ Terrazas fluviales cubiertas por la misma masa deslizada.

		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Cauces actuales sobre la masa deslizada. ➤ Llanura de inundación más ancha aguas arriba.
Relicto > 10000 años (Pleistoceno Superior)	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Inactivos desde hace miles de años. ➤ No se reconoce en el relieve 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Topografía suave y ondulada, sin escarpes. ➤ Terrazas excavadas en la masa deslizada. ➤ Llanura de inundación actual uniforme.
Modificado de Keaton y de Graff, 1996, y otros autores		

Fuente: Modificado de Keaton y de Graff, 1996, y otros autores

CAPITULO V

CAPACIDAD PORTANTE Y ESTABILIDAD DE TALUDES

5.1. INVESTIGACIONES DE MECÁNICA DE SUELOS

5.1.1. Objetivo y Alcances del Estudio de Mecánica de Suelos

El presente estudio tiene por objetivo determinar las características físicas y mecánicas de los suelos de fundación del área por donde se encuentra emplazadas las asociaciones de vivienda, cuyos resultados permitieron determinar las condiciones geológicas geotécnicas del área de estudio.

Para concretar este objetivo se desarrolló el siguiente programa de trabajo:

- Exploración del área donde se desarrolló el estudio y ubicación de dos calicatas.
- Excavación de tres calicatas y dos trincheras hasta una profundidad de 2,00 m.
- Extracción y rotulado de muestras, identificación visual de los suelos y elaboración de los respectivos perfiles estratigráficos.
- Prueba de densidad de campo.

- Ejecución de ensayos de laboratorio y determinación de las características físicas y mecánicas de los materiales que conforman el terreno de cimentación donde se encuentran emplazadas las asociaciones de vivienda.

5.1.2. Excavación de Calicatas y Trincheras

Se ejecutaron un total de 03 trincheras o excavaciones a cielo abierto con una profundidad de 2,00 m. Se extrajeron muestras alteradas de cada uno de los tipos de suelos encontrados, en suficiente cantidad; debidamente protegidas y rotuladas, las que fueron trasladadas al Laboratorio de Mecánica de Suelos HI Geoproject Consultoría S.R.L. ubicado en la ciudad de Tacna para realizar los ensayos estándar y especiales correspondientes.

La lista de ensayos realizados se presenta en el Tabla 4.

Tabla 4: Detalle de los Ensayos de Laboratorio a Realizar

ENSAYO	NORMA APLICABLE	CANTIDAD
Contenido de Humedad	NTP 339.127 (ASTM D2216)	03
Análisis Granulométrico por tamices	NTP 339.128 (ASTM D422)	03
Límite Líquido y Límite Plástico	NTP 339.129 (ASTM D4318)	03

Clasificación Unificada de Suelos (SUCS)	NTP 339.134 (ASTM D2487)	03
Peso específico	ASTM D-854	02
Densidad In Situ (método del cono)	ASTM D-1556/AASHTO T-191	03
Corte Directo	ASTM C-3080	03
Proctor Standard	ASTM D-698	03

Fuente: Elaboración propia

5.2. INVESTIGACIONES DE GEOFISICA

5.2.1. Generalidades

El método de resistividades eléctricas a través del sondaje eléctrico nos presenta establecer las características eléctricas de los diferentes horizontes geológicos bajo la vertical en el punto de estación. De este modo, la aplicación de esta técnica en el presente estudio tiene por objetivo principal, determinar los sectores que ofrecen mayores probabilidades de involucrar sedimentos permeables; de relativa potencia, y con ello, capacidad de aceptable rendimiento de aguas subterráneas para cubrir las necesidades de agua en el área.

5.2.2. Principios del Método

Para efectuar las mediciones de campo,, se somete al subsuelo a una corriente continua mediante dos electrodos (de emisión). A continuación se mide la intensidad de campo I , la diferencia de potencial Δv , utilizando otros dos electrodos (de recepción) dentro de los anteriores (según la configuración Schlumberger) lo que permite, además de la constante de instalación K , obtener un valor de resistividad del horizonte involucrado. Estos valores de resistividad

aparente se van graficando en el campo, a medida que se obtienen; a fin de controlar la evolución de la curva resultante y efectuar las correcciones necesarias.

Para este propósito se utiliza un papel logarítmico, indicándose en las abscisas, las semilongitudes de las Líneas de envío (AP/2), y en las ordenadas, las resistividades aparentes (Pa). La sucesión de estos puntos nos proporcionará una curva, que indicará la variación de las resistividades a medida que se profundiza la investigación, alargando la Línea de emisión. Posteriormente se lleva a cabo el procesamiento de gabinete.

5.2.3. Evaluación Geofísicas

Para el trabajo de campo se efectuó un total de 03 Sondajes Eléctricos Verticales (SEV). Se realizó un sondaje eléctrico vertical (SEV 03) paramétrico o de contraste al costado del pozo existente.

Tabla 5: Coordenadas de ubicación de los SEVs, DATUM WGS-84 19K.

SEVs	ESTE	NORTE
SEV-01	0369176	8012400
SEV-02	0369195	8012340
SEV-03	0369235	8012266

Fuente: Elaboración propia

5.2.3.1. Resultados

En la Tabla 6 adjunto se muestra el resultado de la interpretación cuantitativa de los SEVs efectuados, en

términos de resistividad verdadera, y el espesor de los diferentes horizontes geoelectricos identificados.

Tabla 6: Sección Geoelectrica A – A'

SEV	R ₁ (Ω-m)	E ₁ (m)	R ₂ (Ω-m)	E ₂ (m)	R ₃ (Ω-m)	E ₃ (m)	R ₄ (Ω-m)
01	322/1366/287	0,2/3,0/3,0	43/61	11/11	10	75	370
02	6/214	0,28/9,0	28	34	3	76	287
03	114/39/103	1,0/2,0/4,0	30/15/28	33/45/8,0	2	54	464

Fuente: Elaboración propia

Nota:

R₁ : Resistividad en Ohm-m

E₁ : Espesor en metros



Figura 41: Personal técnico y equipo de resistividad eléctrica preparados para empezar a realizar el SEV 01 en el Cerro Intiorko sobre materiales secos limo-arcillosos.

5.2.3.2. Correlación Geológica-Geofísica

Con los 03 SEVs, efectuados se elaboró una sección geoelectrica A-A', con una dirección NW-SE y una longitud

de 162 m, la que proporcionó una información aproximada de cómo se encontraría el subsuelo, esta sección analizada presenta cuatro horizontes.

A continuación se describe la sección geoelectrica correlacionada con el modelo geológico:

- **El Primer Horizonte Geoelectrico H1**, que corresponde a materiales Tecnógenos, estaría compuesto por uno a tres estratos superficiales arenos limosos, gravas en estado seco, de baja densidad, con resistividad que van de 6 Ω -m (SEV-02) a 1365 Ω -m (SEV 01) con espesores de 0.2 m. (SEV 01) a 9.28 m., sumando sus espesores (SEV 02).

Interpretación geológica: Corresponden a depósitos Tecnógenos provenientes de la excavación de la ladera para conformar plataformas para emplazar las viviendas

- **Segundo Horizonte Geoelectrico H2**, subyace al primer horizonte y está compuesta con uno a tres estratos y con resistividad que van de 15 Ω -m (SEV 03) a 61 Ω -m (SEV 01) y espesores de 22 m. (SEV 01) en la suma de sus espesores a 86 m. (SEV 03). Probablemente constituida por toba volcánica, gravas, arenas y limos de mala permeabilidad.

Interpretación Geológica: Depósito Coluvial a expensas de las tobas volcánicas y areniscas tobáceas de la formación Huaylillas

- **Tercer Horizonte Geoelectrico H3**, estaría compuesto por tobas finas que granulométricamente

presenta arenas finas y limos con arcillas. Presentaría resistividad de 2 Ω -m (SEV 03) a 10 Ω -m (SEV-01), con espesores de 54 m. (SEV 03) a 76 m. (SEV 02).

Interpretación Geológica: Depósito Coluvial proveniente principalmente de las tobas finas de la formación Huaylillas

- **Cuarto Horizonte Geoeléctrico H4**, Este horizonte estaría constituido por areniscas tobáceas con rango de resistividad variada de 287 Ω -m. (SEV 02) a 464 Ω -m. (SEV 03), de espesores indeterminados.

Interpretación Geológica: Formación Huaylillas constituida probablemente de areniscas tobáceas muy fracturadas altamente fracturadas.



Figura 42: SEV 02, efectuado en el talud del Cerro Intiorko sobre materiales secos limo-arcillosos. Se observa el equipo de resistividad eléctrica con cables de emisión de corriente, carretes, electrodos y personal técnico.

5.3. GEOTÉCNIA

A lo largo de la ladera se realizó un inventario litoestratigráfico, lo que nos permitió ubicar adecuadamente las calicatas, para la obtención de muestras de

suelos para su procesamiento en el laboratorio de Mecánica de Suelos y de esta manera obtener los parámetros físicos del suelo de fundación.

Se aperturaron 03 calicatas y 02 trincheras, estratégicamente ubicadas en ellas se realizó la lectura del perfil estratigráfico, la densidad de campo y finalmente la extracción de muestra de suelos para su respectivo análisis en el laboratorio de suelos y químico.

En los anexos correspondientes se presenta el cuadro de resultados de ensayos de laboratorio de Mecánica de suelos y parámetros físicos del suelo de fundación.

Tabla 7: Parámetros geotécnicos de la zona de estudio.

CALICATA	ÁNGULO DE FRICCIÓN (°)	COHESIÓN (c) kg/cm2	DENSIDAD SECA (γ) gr/cm2
C-01	26,78	0,058	1,35
C-02	27,07	0,032	1,29
C-03	26,62	0,057	1,748
BLOQUES DE ROCA	41	0,27	2,75

Fuente: Elaboración propia

5.2.1. Capacidad Admisible del depósito Tecnógeno

Los suelos de cimentación areno limosos (SM) presentan una densidad natural de campo entre 1,270 a 1,456 gr/cm³ y densidad seca entre 1,176 a 1,348 gr/cm³ y cohesión entre 0,057 a 0,058 kg/cm² y un ángulo de fricción entre 26,62° a 26,78° características que indican que son propensos a la erosión hídrica ya que encuentran en estado suelto ello se confirma ya que la excavación se realizó con mucha facilidad.



Figura 43: Perfil estratigráfico de la calicata N° 01 clasificado como un suelo areno limoso (SM). Se observa la prueba de densidad de campo.

Las características geotécnicas sugieren que van a Fallar por Corte Local ante la sollicitación de una carga.

La Falla por Corte Local, se caracteriza por un patrón de rotura que sólo se define claramente debajo de la cimentación y que consiste en una cuña y superficie de deslizamiento que empiezan en los bordes del cimiento,

como en el caso de la rotura por corte general.

Para el cálculo de la capacidad portante se utilizó la fórmula de Terzaghi por Falla al Corte Local y se utilizó un factor de seguridad de 3 obteniendo valores entre $0,73 \text{ kg/cm}^2$ y $0,81 \text{ kg/cm}^2$, calificado como muy baja. Los certificados del cálculo de la capacidad portante, se presenta en el anexo correspondiente.

5.2.2. Capacidad Admisible de los depósitos Coluvio-Deluvial

Se determinó la densidad natural en $1,359 \text{ gr/cm}^3$ y una densidad seca de $1,294 \text{ gr/cm}^3$ y una cohesión de $0,032 \text{ kg/cm}^2$ un ángulo de fricción $27,07^\circ$, obtenidos de la prueba de corte directo. Se trata de suelos en estado suelto ello se confirma ya que en el de excavación de las calicatas solo se utilizó lampa y se realizó con mucha facilidad.



Figura 44: Perfil estratigráfico de la calicata N° 02 clasificado como un suelo areno limoso (SM).Se observa la prueba de densidad de campo.

Las características geotécnicas de estos suelos sugieren que van a Fallar por Corte Local ante la sollicitación de una carga.

La Falla por Corte Local, se caracteriza por un patrón de rotura que sólo se define claramente debajo de la cimentación y que consiste en una cuña y superficie de deslizamiento que empiezan en los bordes del cimientto, como en el caso de la rotura por corte general.

Para el cálculo de la capacidad portante se utilizó la fórmula de Terzaghi por Falla al Corte Local y se utilizó un factor de seguridad de 3 obteniendo valores entre $0,78 \text{ kg/cm}^2$, calificado como muy baja. Los certificados del cálculo de la capacidad portante, se presenta en el anexo correspondiente.

5.2.3. Capacidad Admisible del Depósito Coluvial

El deposito Coluvial constituido por bloques y cantos rodados subangulares y de acuerdo al mapeo geomecánico tiene un RMR de 25, por lo tanto se le asignó las constantes $m= 0,069$ y $s= 0,000003$, la roca presenta una resistencia a la compresión simple de 10 mPa y de acuerdo a la formulación de Hoek Brown la capacidad admisible de la roca es de 10 kg/cm^2 .

Con toda la información obtenida se procedió a elaborar el mapa MRG-04 de Capacidad Admisible para la zona de estudio.

5.3. ESTABILIDAD DE TALUDES

5.3.1. Generalidades del Equilibrio Límite

Se basan exclusivamente en las leyes de la estática para determinar el estado de equilibrio de una masa de terreno potencialmente inestable. No tienen en cuenta las deformaciones del terreno. Suponen que la resistencia al corte se moviliza total y simultáneamente a lo largo de la superficie de corte.

5.3.2. Condiciones de Inestabilidad.

El análisis de inestabilidad de la zona de estudio se ha analizado a través del cálculo y análisis de los factores de seguridad por el método determinístico de Bishop, cuyas fórmulas y metodología de cálculo ya han sido tratadas en el capítulo II y que supone que la fuerza de las caras laterales son horizontales, solo satisface el equilibrio de momentos y no el de fuerzas horizontales, es un método de aplicación a líneas de rotura circulares.

El SLIDE 6.0 de la empresa Rocscience fue el software utilizado para dichos análisis.

5.3.3. Metodología de Cálculo.

Para la análisis de la inestabilidad se han diseñado una sección geológicas

típica A-A'; (Ver lámina 4.1) ubicado longitudinalmente a la ladera del cerro Intiorko, estas secciones han sido hechas en base al plano topográfico, geológico y se le ha añadido algunos detalles observados en campo.

Se seleccionó de manera cuidadosa la sección A-Á considerando que debía reflejar mejor el comportamiento de los taludes observados en campo.

Los parámetros geotécnicos que se utilizaron, fueron los que muestran en la Tabla 7.

El análisis de estabilidad de taludes se realizó para condiciones seudoestáticas y considerando que Tacna se ubica en la zona sísmica N° 04 al que se le asigna un factor de aceleración de 0,45g y considerando que para el análisis de estabilidad de taludes se considera solo 1/3 de dicho factor de aceleración se utilizó 0,15g.

Los valores de Factores de Seguridad (FS) mínimos hallados son valores concordantes para taludes de deslizamiento del tipo rotacional activo. Los Factores de Seguridad obtenidos se observa en la figura N° 45.

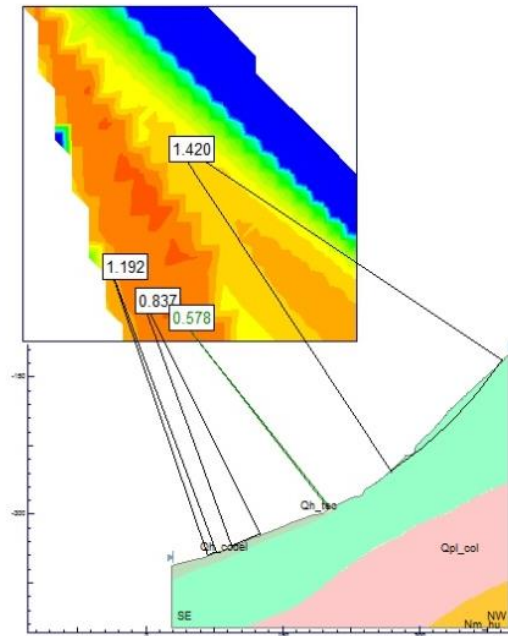


Figura 45: Factor de seguridad calculado en las diferentes zonas de la sección A-A´

Fuente: Elaboración Propia

Los Factores de Seguridad obtenidos para los taludes de la sección A-A´ se presentan en la siguiente Tabla 8.

Tabla 8: Factores de Seguridad obtenidos para la sección A-A´

Nº de Talud	Factor de Seguridad
Talud 1	1,42
Talud 2	0,89
Talud 3	1,19

Fuente: Elaboración Propia

Con toda la información obtenida se procedió a elaborar el mapa MRG-05 de Estabilidad de Taludes para la zona de estudio.

CAPITULO VI

ANÁLISIS DE RIESGO

6.1. EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LA ZONA

El análisis de los riesgos ha sido dividido en dos categorías:

Geodinámica Externa donde se analizan procesos geológicos que se producen sobre la corteza terrestre en la que están incluidos los deslizamientos de tierra, precipitación pluvial y erosión fluvial; y **Geodinámica Interna** donde se ha considerado la sismicidad que afecta al terreno.

Como se ha visto en la parte introductoria del presente capítulo para la determinación del riesgo es necesario: identificar el peligro, analizar la vulnerabilidad y a través de estos parámetros estimar el riesgo.

Para la evaluación de riesgos es necesario conocer algunos parámetros de fenómenos o procesos geológicos (intensidad, frecuencia, magnitud, grado de daños, etc) ocurridos en el pasado. Lamentablemente no se cuenta con este tipo de datos de la zona y la información existente es escasa, por lo que se han recurrido a estimaciones, observaciones, evidencias de fenómenos encontradas en campo y a algunas informaciones brindadas por los pobladores del lugar.

Para la evaluación del riesgo se ha utilizado el método matricial de correlación de datos basado en la probabilidad de daños, la determinación del grado de riesgo ha sido considerando sólo tres valores de intensidad: bajo medio y alto.

6.2. EVALUACIÓN DE RIESGOS (Geodinámica Externa)

6.2.1. DETERMINACIÓN DE PELIGROS (Condiciones Seudoestáticas)

El peligro está directamente relacionado al proceso o fenómeno geológico; para su evaluación es necesario conocer antecedentes de dichos fenómenos (intensidad, magnitud, frecuencia); esta información debe ser recopilada después de la ocurrencia de cada proceso para evaluar la vulnerabilidad de la zona afectada.

El primer paso para la determinación de peligros es identificar el peligro (proceso geológico).

En la zona de estudio se han identificado tres procesos geológicos:

- Deslizamientos de Suelos.
- Asentamientos de Suelos
- Erosión Hídrica.

Para cuantificar la intensidad de peligrosidad de estos procesos geológicos se ha asignado valores de 0 a susceptibilidad nula y 100 a susceptibilidad alta, como se está utilizando el criterio de análisis general hemos dividido la susceptibilidad alta entre 3, obteniendo valores para susceptibilidad baja, media y alta (Ver Tabla 9).

Tabla 9: Grados de Susceptibilidad y Valores de Intensidad

SUSCEPTIBILIDAD	INTENSIDAD
BAJA	0,33
MEDIA	0,66
ALTA	0,99

Fuente: Varnes J.D. (1984)

No se ha considerado la susceptibilidad 0 o nula para el análisis, se ha trabajado bajo la hipótesis de que no existen zonas con susceptibilidad 0, ya que los procesos geodinámicos actúan continuamente sobre la corteza terrestre y de una u otra manera una zona siempre se encuentra propensa a algún tipo de fenómeno.

Los resultados obtenidos son mostrados en la Tabla 10.

Tabla 10: Grado de Susceptibilidad a los Fenómenos Geológicos (Ladera del cerro Intiorko)

		<i>Deslizamientos de Roca y Suelos</i>	<i>Asentamientos de Suelos</i>	<i>Erosión Hídrica</i>
	BAJA	<ul style="list-style-type: none"> - Pendiente: >30° Factores de Seguridad: >1,20 - Geología Roca Volcánica y sedimentaria - Geomorfología Laderas de Lomadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Cap. Portante: Mayor a 5,00 kg/cm² Geología Roca volcánica y sedimentaria - Geomorfología: Ladera de Lomada pendiente entre >15° a > 30° 	No Existe

S U S C E P T I B I L I D A D	MEDIA	<ul style="list-style-type: none"> - Pendientes: 15-30 Factor de Seguridad: 1,00-1,20 - Geología Depósito Coluvio Deluvial de arenas limosas sueltas. - Geomorfología: Laderas de lomadas Zonas de un antiguo derrumbe. 	No Existe	<ul style="list-style-type: none"> - Geología Depósito Coluvio Deluvial de arenas limosas sueeltas. - Geomorfología: Laderas de lomadas - Potencial zona de erosión Hídrica
	ALTA	<ul style="list-style-type: none"> - Pendientes 15-30 Factor de Seguridad: < 1 - Geología Depósito Tecnógeno de arenas limosas muy sueltas. - Geomorfología: Laderas de Lomada Zonas de Deslizamiento Recientes 	<ul style="list-style-type: none"> - Cap. Portante: < 0.85 Kg/cm² - Geología Depósitos Coluvio Deluvial y Tecnógeno de arenas limosas sueeltas a muy sueeltas. - Geomorfología: Terrazas Tecnógenas mal compactadas Pendientes de los taludes de las terrazas mayor a 30° 	<ul style="list-style-type: none"> - Geología Depósito Coluvio Deluvial de arenas limosas sueeltas. Suelos blandos. - Geomorfología: Laderas de lomadas Zonas de un antiguo derrumbe. - Fácil erosión del agua

Fuente: Varnes J.D. (1984)

6.2.2. Zonificación y Mapa de Peligrosidad

Existen diferentes tipos de mapas de peligrosidad, su utilización está supeditada el contenido y a la metodología de análisis utilizada. Según la información obtenida y la metodología empleada para el análisis de la

peligrosidad, se considera que el mapa de susceptibilidades es el más apropiado.

La susceptibilidad se define como la posibilidad de que una zona quede afectada por un determinado proceso, expresada en diversos grados cualitativos y relativos. Depende de los factores que controlan o condicionan la ocurrencia de los procesos, que pueden ser intrínsecos a los propios materiales geológicos o externos.

Los mapas de susceptibilidad pueden realizarse en base a:

- Mapas inventario: las áreas que sufren o han sufrido procesos y pueden volver a sufrirlos.
- Mapas de factores: las áreas en que confluyen determinados factores que condicionan los procesos en una determinada zona o región, aunque éstos no se hayan presentado hasta la actualidad, pueden ser afectadas en un futuro.

El mapa MRG-06 de susceptibilidad a los fenómenos o procesos geológicos de las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero ha sido elaborado en base a estos dos mapas: el mapa inventario se ha obtenido a través del mapa geológico (mapa MRG-02), pues ahí fueron ubicadas las áreas que han sufrido o están sufriendo algún proceso, el mapa de factores ha sido diseñado a través de la superposición de los mapas pendientes, capacidad portante y estabilidad de taludes.

Con todas estas herramientas se ha logrado zonificar o dividir el territorio en zonas o unidades con diferentes grados de susceptibilidad a los fenómenos geológicos (ver mapa MRG-06).

6.2.3. Determinación de la Vulnerabilidad (Condiciones Seudoestáticas)

La vulnerabilidad constituye el grado de pérdida provocado por la ocurrencia de un fenómeno o proceso geológico, para que exista vulnerabilidad debe existir un elemento bajo riesgo.

La vulnerabilidad dependerá de las características del elemento considerado bajo riesgo, de la intensidad del fenómeno y de la capacidad del elemento a resistir dicho fenómeno; por lo tanto para evaluar la vulnerabilidad de un área determinada es necesario identificar los procesos geológicos y los elementos bajo riesgo.

Los procesos geológicos del terreno han sido determinados en el análisis de la peligrosidad.

Los elementos bajo riesgo identificados son los siguientes.

- Calles y Pasajes
- Viviendas

Las zonas donde no existe ninguno de estos tres elementos se han considerado de vulnerabilidad nula

Tabla 11: Grado de Vulnerabilidad de los Elementos Bajo Riesgo al Proceso Geológico

PROCESO GEOLOGICO		Deslizamientos de Suelos	Asentamiento o Hundimiento	Erosión Hídrica
E L E M E N	Vivienda s	<p>Aprovechamiento de laderas para fines de vivienda:</p> <p>Las zonas de vivienda que se encuentra en pendientes entre 15° a 30° donde han emplazado terrazas no han sido reforzadas. Constituye una zona inestable en un 80%</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Alta</p> <p>Las zonas de vivienda que se encuentra en pendientes mayores a 30 ° en roca</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Baja</p>	<p>Aprovechamiento de laderas para fines de vivienda:</p> <p>Las zonas de vivienda que se encuentra emplazada donde los suelos de cimentación presenta baja capacidad admisible en 90%</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Media</p> <p>Mientras que las condiciones mejora en la zona aflora la roca volcánico sedimentaria</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Baja</p>	<p>Aprovechamiento de laderas para fines de vivienda:</p> <p>Las zonas de vivienda que se encuentra emplazada en arenas limosas en estado suelto 90% fácilmente erosionable ante la acción del agua</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Alto</p> <p>Mientras que las condiciones mejora en la zona aflora la roca volcánico sedimentaria</p> <p>Grado de Vulnerabilidad: Baja</p>

T O S	Calles y Pasajes	Las zonas donde se emplazan las calles y pasajes en terrazas que constituidas por arenas arcillosas en estado suelto. Constituye una zona inestable en un 80% Grado de Vulnerabilidad: Alta	Las zonas donde se emplazan las calles y pasajes en terrazas que están constituidas por arenas arcillosas en estado suelto de baja capacidad admisible. Constituye una zona inestable en un 80% Grado de Vulnerabilidad: Alta	Aprovechamiento de laderas para fines de vivienda: Las zonas de vivienda que se encuentra emplazada en arenas limosas en estado suelto 90% fácilmente erosionable ante la acción del agua Grado de Vulnerabilidad: Alta
-------------	------------------	---	---	---

Fuente: Varnes J.D. (1984)

El comportamiento de cada elemento frente al proceso geológico dependerá de las características del elemento y de la intensidad del proceso. En la Tabla 11 se muestra la clasificación y la calificación de grados de vulnerabilidad otorgada para cada elemento bajo riesgo con respecto al fenómeno geológico las cuales han sido estimadas mediante observaciones realizadas en campo.

Para un análisis más detallado de la vulnerabilidad, es necesario realizar ensayos de laboratorio (medidas de porosidad, permeabilidad, etc.), tener información de las características de las edificaciones (cantidad de edificaciones nuevas y antiguas, naturaleza de los materiales, etc.).

En la cuantificación del grado de vulnerabilidad se ha utilizado la propuesta por Varnes que propone una escala de 0 (sin daño) a 1 (pérdida total), y un valor intermedio de 0,5 (Ver Tabla 12).

Tabla 12: Grado de Vulnerabilidad

Vulnerabilidad	Grado
Baja	0
Media	0,5
Alta	1,0

Fuente: Varnes J.D. (1984)

En base a los mapas geológicos, pendientes, geodinámico de peligros, conjuntamente con los datos de vulnerabilidad estimados se ha zonificado áreas de acuerdo al proceso geológico y al grado de vulnerabilidad se elaborado el mapa MRG-07.

6.2.4. Estimación de riesgo (Condiciones Seudoestáticas)

El riesgo es el grado de pérdidas esperadas debido a un fenómeno natural.

La estimación del riesgo puede ser lograda a través de métodos deterministas o probabilistas y puede calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$R = E * P * V$$

El método empleado para la estimación del riesgo ha sido el determinista, el cual consiste en calcular el máximo daño esperado, para lo cual se vale de la cuantificación de la probabilidad, vulnerabilidad y del elemento bajo riesgo.

Existen varias alternativas para cuantificar el elemento bajo riesgo, se puede determinar en función del costo de la construcción, reparación o valor asegurado, o en función del porcentaje de pérdida esperada ante un fenómeno geológico.

Se ha optado por esta última debido a que brinda la posibilidad de trabajar con valores aproximados.

Efectuaremos un análisis para las zonas de vivienda a manera de ejemplo para mostrar la metodología empleada en la estimación del Riesgo.

Elemento: Viviendas (70%)

Peligrosidad: Alta (0,99)

Vulnerabilidad: Alta (1,0)

$$R = 70 * 0,99 * 1,00$$

$$R = 69,30\%$$

Así tenemos que en las zonas de viviendas en el área reconocida como de peligrosidad alta al proceso geológico de asentamiento por baja capacidad admisible en un 69,30% de esta área se encuentra en alto riesgo.

En las Tablas 13, 14, 15 se muestra los valores de riesgo total obtenidos para los diferentes valores de peligrosidad y de Vulnerabilidad.

Tabla 13: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Baja

SUSCEPTIBILIDAD BAJA				
PROCESO GEOLOGICO		Deslizamiento de Suelos	Asentamiento o Hundimiento	Erosión Hídrica
<i>E</i>	Viviendas	0,82%	4,95%	3,3%
<i>L</i>				
<i>E</i>	Calles y Pasajes	0,82%	4,95%	3,3%
<i>M</i>				
<i>E</i>				
<i>N</i>				
<i>T</i>				
<i>O</i>				
<i>S</i>				

Fuente: Varnes J.D. (1984)

Tabla 14: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Media

SUSCEPTIBILIDAD MEDIA				
PROCESO GEOLOGICO		Deslizamiento de Suelos	Asentamiento o Hundimiento	Erosión Hídrica
<i>E</i>	Vivienda	No existe	No existe	No existe
<i>L</i>				
<i>E</i>				
<i>M</i>				

E N T O S	Calles y Pasajes	No existe	No existe	No existe

Fuente: Varnes J.D. (1984)

Tabla 15: Riesgo Total Obtenido para Valores de Susceptibilidad Alta

SUSCEPTIBILIDAD ALTA				
PROCESO GEOLOGICO		Deslizamiento de Suelos	Asentamiento o Hundimientos	Erosión Pluvial
E L E M E N T O S	Viviendas	89,10%	69,30%	79,20%
	Calles y Pasajes	89,10%	69,30%	79,20

Fuente: Varnes J.D. (1984)

6.2.5 Zonificación y Mapa de Riesgo

La zonificación se ha hecho en base a los datos obtenidos en las Tablas 13, 14 y 15, agrupando áreas según los siguientes parámetros:

Tabla 16: Resultados de la zonificación

Riesgo Total	Grado de Riesgo
Nulo	0
Bajo	0-0,33

Medio	0,33 – 0,66
Alto	0,66 – 0,99

Fuente: Varnes J.D. (1984)

Los resultados de la zonificación son mostrados en el mapa MRG-08. De acuerdo a la evaluación de riesgo se tiene los siguientes resultados que se muestran en las Tablas:

Tabla 17: Evaluación de Riesgo por Deslizamiento

Elemento	Alta	Media	Baja
Viviendas	89,10	0	0,825
Calles y Pasajes	89,10	0	0,825

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18: Evaluación de Riesgo por Asentamiento o Hundimiento (Capacidad Admisible)

Elemento	Alta	Media	Baja
Viviendas	69,30	0	4,95
Calles y Pasajes	69,30	0	4,95

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 19: Evaluación de Riesgo por Erosión Hídrica

Elemento	Alta	Media	Baja
Viviendas	79,20	0	3,30
Calles y Pasajes	79,20	0	3,30

Fuente: Elaboración Propia

De Acuerdo a ello se tiene lo siguiente:

Las viviendas y calles presentaran riesgo Alto en un 89,10% por deslizamiento y 69,30% riesgo Alto por Asentamiento o Hundimiento (capacidad admisible) y riesgo Alto en un 79,20 por erosión hídrica.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

- Se analizó las características geotécnicas del sector del cerro Intiorko donde se encuentra emplazada las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero y se concluye que no garantizan la construcción de viviendas.
- Se producirán derrumbes de los taludes de corte de las terrazas construidas para el emplazamiento de las viviendas, ya que el factor de seguridad en estos lugares es menor a 1,20 en condiciones pseudoestáticas.
- La presencia de un terremoto hará colapsar las actuales viviendas en un 70%, ya que la Capacidad Admisible del depósito Tecnógeno (SM) se encuentra entre $0,73 \text{ kg/cm}^2$ y $0,81 \text{ kg/cm}^2$, calificado como muy baja y la Capacidad Admisible de los depósitos Coluvio-Deluvial (SM) es de $0,78 \text{ kg/cm}^2$, calificado como muy baja.
- La rotura de alguna de las tuberías de desagüe, provocaran la erosión hídrica de los suelos, ya que se trata de suelos colapsables ya que su límite líquido es menor a 22,78% y su densidad seca es menor a $1,348 \text{ gr/cm}^3$.
- Se realizó el análisis de riesgo geotécnico del cerro Intiorko donde se encuentra emplazada las Asociaciones de Vivienda Sol Naciente y Dos de Febrero ubicados en el distrito de Ciudad Nueva, provincia y región Tacna, con el objetivo de prevenir asentamientos y colapso de las viviendas ubicadas en la zona de estudio.

- Las viviendas y calles presentaran riesgo Alto en un 89,10% por deslizamiento y riesgo Alto en un 69,30% por Asentamiento o Hundimiento (capacidad admisible) y riesgo Alto en un 79,20% por erosión hídrica.
- Se confirma la hipótesis que esta zona presenta alto riesgo geotécnico debido que presentan los suelos de baja capacidad admisible menor $1,00 \text{ kg/cm}^2$ y zonas inestables con valores de factor de seguridad en condiciones seudoestáticas menor a 1,20.

RECOMENDACIONES

Debido que en la zona de estudio las viviendas en la actualidad construidas precariamente y cuenta con los servicios básicos como agua y desagüe como energía eléctrica se recomienda lo siguiente:

- El tipo de construcción de las viviendas deberá ser de tipo prefabricada con Drywall.
- Los sistemas de agua y desagüe deberá ser adecuadamente operados y mantenidos ya que los suelos son potencialmente colapsables y que al incremento de la humedad empeorarían aún más sus condiciones geotécnicas
- A las autoridades de la Municipalidad Provincial de Tacna aplicar el Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad de Tacna 2014-2023, ya que en ella indica que las laderas del cerro Intiorko son consideradas zonas no urbanizables.
- Que el Gobierno Regional de Tacna responsable del Área de Tratamiento II: Protección y Conservación Ecológica específicamente las Áreas Prioritarias de

Conservación (AP – PC), donde están incluidas las laderas del cerro Intiorko, aplique las medidas pertinentes con la finalidad de conservar los Tillandsiales que están en peligro de extinción debido a las invasiones y otras actividades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acosta, H. (2011). Geología de los cuadrángulos de Pachia y Palca. *Boletín N°139 Serie A -Ingemmet*, 83.
- Acosta, H., Mamani, M., Alvan, A.,
& Rodríguez, J. (2012). Geología de los cuadrángulos de la Yarada, Tacna y Huaylillas Hoja 37-u,37 - v y 37-x. *Carta Geológica Nacional - Boletín N°145 Serie A*, 87.
- Ayala, F. J. (1986). Manual de Taludes. *Instituto Geológico y Minera de España*, 455.
- Barbat, A. H. (1998). El riesgo sísmico en el diseño de edificios, Calidad Siderúrgica, Madrid. 25.
- Bevis, M., & Isacks, B. L. (1984). Hypocentral trend surface análisis: Proving the geometry of Benioff zones. *Journal Geophys*, 89.
- Blanco, A. (2004). Los edificios de muros delgados de concreto y las nuevas normas para su diseño. 4.
- Braja, M. (2012). Fundamentos de Ingeniería de Cimentaciones. . *Cengage Learning*, 223.
- Castillo, J., & Alva, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones Lima*.
- Cornell, C. (1968). Engineering Seismic Risk Analysis. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 1-24.
- Iakubovskii, V. & Liajov, L.L. (1980). Exploración Eléctrica. *Editorial Reverté, S.A. Barcelona*.
- Indeci. (2001). Estudio Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna – Cono Norte. Tacna-Perú. *UNJBG - ESGE*.
- Indeci. (2004). Mapa de Peligros de la Ciudad de Tacna. Tacna-Perú. *INDECI PNUD PER 02/51*.

- Indeci. (2007). Programa de Prevención y Medidas de Mitigación ante Desastres de la Ciudad de Tacna. Obtenido de Tacna, Perú. *INDECI-PNUD PER 02/051*, C. S. .
- Jacay, J., Sempere, J., Hugson, L., & Pino, A. (2002). Características estructurales del sistema de Falla Incapuquio en el sur del Perú. *Resúmen ampliado, 5° Simposio Internacional sobre Geodinámica Andina*, 310-321.
- Keaton, J. R., & DeGraff, J. V. (1996). Surface observation and geologic mapping in: Turner A.K, Schuster, R.L Landslides Investigation and Mitigation, Transportation Research Board Special Report 247. *National Research Council, Washington D.C.*, 178-225.
- NTP -030. (2010). Diseño sismorresistente para edificaciones . *NORMA TÉCNICA E.030*, 32.
- Ordaz et al. (2007). Valores de máximas aceleraciones espectrales para la determinación del Espectro de Peligro Sísmico Uniforme para Tacna. *CRISIS 2007*, 67.
- Prandtl, L. (1920). Über die Härte plastischer Körper. Nachrichten von der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften, Göttingen Math phys. *Klasse*, 74-85.
- Ramírez, P., & Alejano, L. (1981). Mecánica de rocas ; Fundamento e Ingeniería de Taludes.
- Schumm , S. A. (1991). To interpret the Earth: Ten Ways to Be Wrong. *Cambridge: Cambridge University Press*, 5-57.
- Stauder, W. (1975). Subduction of the Nazca plate under Peru as evidenced by focal mechanisms and by seismicity. *Journal of Geophysical Research* 80, 148-227.
- Tavera, H., & Bernal, I. (2005). Distribución espacial de áreas de ruptura y lagunas sísmicas en el borde oeste de Perú. *Instituto Geofísico del Perú*, 32.
- Tavera, H., & Buforn, E. (1998). Similitud y Sismotectónica de Perú: Física de la Tierra, Norteamérica (Seismicity and Seismotectonics of Perú. *Physic of the Earth, North America*.

Terzaghi, K. (1943). *Theoretical Soil Mechanics*.

Varnes, D. J. (1984). Landslide Hazard Zonation: a review of principles and practice. *Commission on landslide of the IAEG, UNESCO. Natural Hazard No 3*, 61.

Varnes, D. J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principle and practise. *International Association of Engineering Geology*, 60.

ANEXOS

MATRIZ LÓGICA

ANÁLISIS DE LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS

CERTIFICADOS DE CAPACIDAD PORTANTE

INVESTIGACIONES DE GEOFISICA

MAPAS