

AGRADECIMIENTO

Doy gracias a Dios por darnos fuerzas e iluminar el camino y poder culminar satisfactoriamente los estudios de esta maestría, igualmente a la Escuela de Postgrado y Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Privada de Tacna, por brindarme la oportunidad de culminar los estudios y la presente investigación; de igual forma mi agradecimiento en forma especial a la magister Carmen Ortiz Salas por su asesoramiento y supervisión de la presente tesis.

DEDICATORIA

A mi esposa Alejandra por su apoyo y comprensión invaluable.

A mis hijos, padres y familiares, por su estima, cariño y amor.

INDICE DE CONTENIDOS

CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTO	1
DEDICATORIA	2
INDICE DE CUADROS	6
INDICE DE GRÁFICOS	7
INDICE DE FOTOGRAFÍAS	8
RESUMEN	9
ABSTRACT	10
INTRODUCCION	11
CAPITULO I	
1. EL PROBLEMA	12
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.2.1. Interrogante principal.....	13
1.2.2. Interrogantes secundarios	13
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	13
1.3.1. Justificación	13
1.3.2. Importancia	18
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivo específico	18
1.5. CONCEPTOS BÁSICOS	19
1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	20
CAPITULO II	
2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO	32
2.1. BASE TEORICA SOBRE VARIABLE INDEPENDIENTE	32
2.1.1. Ensayos in situ y laboratorio.....	33
2.2. BASE TEORICA SOBRE VARIABLE DEPENDIENTE	38
2.2.1. Suelos colapsables	38
2.2.2. Origen de suelos colapsables	39
2.2.3. Definición y tipos de suelos colapsables	40
2.2.4. Parámetros físicos para identificación de suelos colapsables	42
2.2.5. Capacidad de carga y asentamientos admisibles en suelos colapsables	47

CAPITULO III	
3. MARCO METODOLÓGICO	52
3.1. HIPOTESIS	52
3.1.1. Hipótesis General.....	52
3.1.2. Hipótesis Específicas	52
3.2. VARIABLES	52
3.2.1. Identificación de las variables.....	52
3.2.2. Operacionalización de las variables.....	52
3.2.3. Tipo de investigación.....	53
3.2.4. Diseño de la investigación	54
3.2.5. Ámbito de estudio	54
3.2.6. Población y muestra.....	54
3.2.7. Técnicas de recolección de datos.....	54
CAPITULO IV	
4. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL.....	56
4.1. PRESENTACIÓN	56
4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO.....	56
4.2.1. Características físicas del suelo	56
4.2.2. Características mecánicas del suelo.....	57
4.2.3. Características químicas del suelo	57
4.2.4. Potencial de colapso del suelo	58
CAPITULO V	
5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA	59
5.1. PARÁMETROS FÍSICOS	60
5.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO.....	61
5.2.1. Método de doble edómetro - Jenning y Knight 1975	61
5.2.2. Método de simple edómetro - Houston 1988.....	63
5.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU	64
CAPITULO VI	
6. APLICACIÓN DEL MODELO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE COLAPSO	68
6.1. PARÁMETROS FÍSICOS	68
6.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO.....	69
6.2.1. Método de doble edómetro	69
6.2.2. Método de simple edómetro	70
6.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU	71

CAPITULO VII	
7. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE COLAPSO	73
7.1. PARÁMETROS FÍSICOS	73
7.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO.....	76
7.2.1. Método de simple edómetro	76
7.2.2. Método de doble edómetro	78
7.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU	79
7.4. ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS (DISCUSIÓN)	80
CAPITULO VIII	
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
8.1. CONCLUSIONES	84
8.2. RECOMENDACIONES	85
BIBLIOGRAFIA	88
APÉNDICES	90

INDICE DE CUADROS

- Cuadro n.º 1:** Ensayos de colapso en el distrito de Ciudad Nueva.
- Cuadro n.º 2:** Resumen de parámetros de calicatas cercanas.
- Cuadro n.º 3:** Ensayos de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva.
- Cuadro n.º 4:** Ensayos de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva.
- Cuadro n.º 5:** Potencial de colapso cualitativo.
- Cuadro n.º 6:** Variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con respecto al contenido de sales solubles totales y densidad seca.
- Cuadro n.º 7:** Variación del módulo de elasticidad mediante ensayos de refracción sísmica.
- Cuadro n.º 8:** Ensayo de granulometría – Tamaño de mallas.
- Cuadro n.º 9:** Clasificación SUCS – Símbolos.
- Cuadro n.º 10:** Relación de potencial de colapso y la severidad del problema.
- Cuadro n.º 11:** Criterios reportados para la identificación de suelos colapsables.
- Cuadro n.º 12:** Rangos de distorsión angular.
- Cuadro n.º 13:** Operacionalización de las variables.
- Cuadro n.º 14:** Relación de ensayos.
- Cuadro n.º 15:** Resumen de ensayos estándares.
- Cuadro n.º 16:** Resumen de resultados del ensayo de colapso in situ.
- Cuadro n.º 17:** Resumen de factores de suelos colapsables.
- Cuadro n.º 18:** Asentamiento elástico y colapso con esfuerzos de 1 kg/cm^2 y 2 kg/cm^2 .
- Cuadro n.º 19:** Asentamiento elástico, colapso y diferencial en función al ensayo de carga directa.
- Cuadro n.º 20:** Variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con respecto al contenido de sales solubles totales y densidad seca.

INDICE DE GRÁFICOS

- Gráfico n.º 1:** Distribución de la población por distritos de Tacna – Censo 2007
- Gráfico n.º 2:** Densidad poblacional de los distritos de la ciudad de Tacna hab./km² – Censo 2007
- Gráfico n.º 3:** Ensayo de carga en placa in situ.
- Gráfico n.º 4:** Variación del potencial de colapso con el contenido de sales solubles totales.
- Gráfico n.º 5:** Variación del potencial de colapso con la densidad seca.
- Gráfico n.º 6:** Bulbo de esfuerzos transmitidos al suelo, 10 % de la carga.
- Gráfico n.º 7:** Vista de suelo previo al colapso y después del colapso.
- Gráfico n.º 8:** Vista de suelo colapsable.
- Gráfico n.º 9:** Ensayo de colapso.
- Gráfico n.º 10:** Posibilidad de colapso, Peso específico natural vs Límite líquido.
- Gráfico n.º 11:** Posibilidad de colapso, Densidad natural seca vs Límite líquido.
- Gráfico n.º 12:** Variación de fuerzas internas por asentamientos diferenciales.
- Gráfico n.º 13:** Distorsión angular.
- Gráfico n.º 14:** Cálculo del asentamiento con doble prueba de odómetro: a) suelo normalmente consolidado y b) suelo preconsolidado.
- Gráfico n.º 15:** Resultado típico de un ensayo de colapso usando el método del odómetro simple.
- Gráfico n.º 16:** Ensayo de colapso - doble edómetro.
- Gráfico n.º 17:** Ensayo de colapso a 1 kg/cm².
- Gráfico n.º 18:** Ensayo de colapso a 2 kg/cm².
- Gráfico n.º 19:** Asentamiento promedio del ensayo de colapso in situ.
- Gráfico n.º 20:** Relación entre suelos colapsables y no colapsables.
- Gráfico n.º 21:** Variación del potencial de colapso con el incremento del contenido de sales solubles totales.
- Gráfico n.º 22:** Ensayo de colapso a 1 kg/cm².
- Gráfico n.º 23:** Ensayo de colapso a 2 kg/cm².

Gráfico n.º 24: Superposición de los ensayos de colapso a 1 kg/cm^2 y 2 kg/cm^2 .

Gráfico n.º 25: Ensayo de colapdo - doble edómetro.

Gráfico n.º 26: Asentamiento promedio del ensayo de colapso in situ.

Gráfico n.º 27: Ensayo de carga en placa y colapso.

Gráfico n.º 28: Propuesta de cimentación por Clemense y Finbarr, para suelos colapsables.

Gráfico n.º 29: Variación del potencial de colapso con la densidad seca y contenido de sales solubles totales.

INDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía n.º 1: Edificaciones afectadas por el sismo del 23 de junio de 2001.

Fotografía n.º 2: Edificaciones afectadas por el sismo del 23 de junio de 2001.

Fotografía n.º 3: Ubicación de exploración de campo.

Fotografía n.º 4: Ubicación de exploración de campo.

Fotografía n.º 5: Comparación de suelo colapsable.

RESUMEN

Objetivo: Determinar el tipo de suelo y potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

Metodología: Se desarrolló la investigación aplicada, debido que se utilizó conocimiento pre existente en investigaciones y normas técnicas, analizando información existente cercana a la zona de estudio, desarrollando ensayos estándares para la identificación de suelos colapsables, así como ensayos de colapso en laboratorio e in situ mediante la prueba de carga con colapso de la estructura del suelo para determinar el potencial de colapso.

Resultado: Se identificó que las propiedades físicas, mecánicas y químicas contribuyen a la estructura colapsable del suelo, esto debido a la baja densidad natural, límite líquido, alta relación de vacíos y sales solubles totales; así mismo, identificó que a la presión de 1.00 kg/cm^2 no se genera problemas de colapso, mientras que con 2.00 kg/cm^2 el problema es moderado; igualmente se identificó que el asentamiento por colapso corresponde al 90 % del asentamiento inmediato producto de la prueba de carga in situ con colapso.

Conclusión: El potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, para capacidad de carga admisible de 1.00 kg/cm^2 es moderado, debido que las propiedades físicas, mecánicas y químicas contribuye en el potencial de colapso y a esta presión la distorsión angular no produce agrietamiento en muros.

ABSTRACT

Objective: Measure the type of soil and collapse potential of soil on the Intiorko Health Station, district of Ciudad Nueva, Tacna.

Methodology: Applied research (since data from previous research and technical standard were used) The research comprised 1) analysis of existing information close to the studied area; 2) development of standard tests for the identification of collapsible soils as well as collapse potential test in laboratory and in situ by means of load test to collapse the soil structure in order to determine the collapse potential.

Result: It was identified that 1) physical, mechanical and chemical properties contribute to the collapsible structure of the soil due to low natural density, liquid limit, high voids ratio and total soluble salts; 2) pressure of 1.00 kg/cm² does not generate problems of collapse, but with pressure of 2.00 kg/cm², the problem is moderate; 3) the collapse settlement corresponds to 90% of the immediate settlement as a result of the in-situ load test to collapse.

Conclusion: The soil collapse potential of the Intiorko Health Station, district of Ciudad Nueva, department of Tacna, for a permissible load capacity of 1.00 kg/cm² is moderate because its physical, mechanical and chemical properties contribute to the potential of soil collapse and, at this pressure, the angular distortion does not produce cracks in walls.

INTRODUCCION

En la presente tesis se analiza el potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, con base a ensayos in-situ y comparándolos con ensayos realizados en laboratorio, para comprender el comportamiento frente al incremento del contenido de humedad por agentes externos.

Esto debido, a su baja densidad seca y contenido de humedad natural, así como su elevada relación de vacíos y variable contenido de sales solubles totales, lo cual hace propenso que la estructura del suelo colapse debido a un aumento del contenido de humedad por agentes externos y se presenten asentamientos diferenciales, lo que conlleva fisuras en los elementos estructurales de la edificación.

Estas propiedades fueron obtenidas en base a los resultados de los ensayos estándares, colapso en laboratorio y colapso in situ, los cuales revelan contenido de material cementante, el cual proporciona una rigidez y resistencia considerable, y un potencial de colapso moderado, recomendando presiones admisibles menores a 1.00 kg/cm^2 .

CAPITULO I

1. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El distrito de Ciudad Nueva de la provincia y departamento de Tacna, en el cual se ubica el puesto de salud Intiorko, en la Asociación de vivienda 28 de Agosto, fue materia de análisis en la tesis “Estudio de suelos para cimentaciones en edificaciones del cono norte de la ciudad de Tacna” (Silva – Berrios 1998), la cual con base a ensayo de corte directo y colapso, obtuvo capacidades de carga y asentamiento máximos para este distrito, clasificando el área en estudio como Zona E: Suelo muy suelto y determinó la capacidad portante del suelo entre 0.30 kg/cm^2 a 0.50 kg/cm^2 .

Adicionalmente a ello, mediante un convenio entre el Instituto Nacional de Defensa Civil, Universidad Nacional Jorge Basadre Goochmann y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - 1998, se realizó el proyecto “Estudio mapas de peligro para la ciudad de Tacna y Locumba”, el cual se consideró ensayos de corte directo con especímenes remoldeados, y ensayo de potencial de colapso obtenidos de la precedente tesis (Silva – Berrios 1998), concluyendo que la “Zonificación Geotécnica de Suelos T-13” es suelo malo.

Asimismo, posteriormente en el año 2002 se desarrolla el Proyecto Ciudades Sostenibles, el instituto nacional de defensa civil desarrolló diversos estudios geotécnicos en la provincia de Tacna, clasificando la zona de estudio con peligro alto.

De otro lado, la tesis precedente “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”, determinó propiedades físicas del suelo, que podrían ser típicas de suelos colapsables, recomendando la ejecución del ensayo de colapso in situ, para determinar el potencial de colapso y el asentamiento in situ producido por el aumento de humedad.

En base a la información revisada y debido a la elevada relación de vacíos, bajo contenido de humedad natural y con alto contenido de sales, hemos decidido realizar el presente estudio de investigación basándonos en métodos específicos y pruebas de laboratorio tanto estándares como especiales, realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Privada de Tacna, y pruebas in situ de carga en placa con colapso.

En ese sentido, el problema en el suelo en el Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, es determinar el potencial de colapso, con la finalidad de proyectar los tipos de cimentaciones en la ejecución de obras civiles.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Interrogante principal

¿Cuál es el potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna?

1.2.2. Interrogantes secundarios

¿Qué propiedades físicas, mecánicas y químicas tiene el suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna?

¿Qué métodos existen para determinar el potencial de colapso?

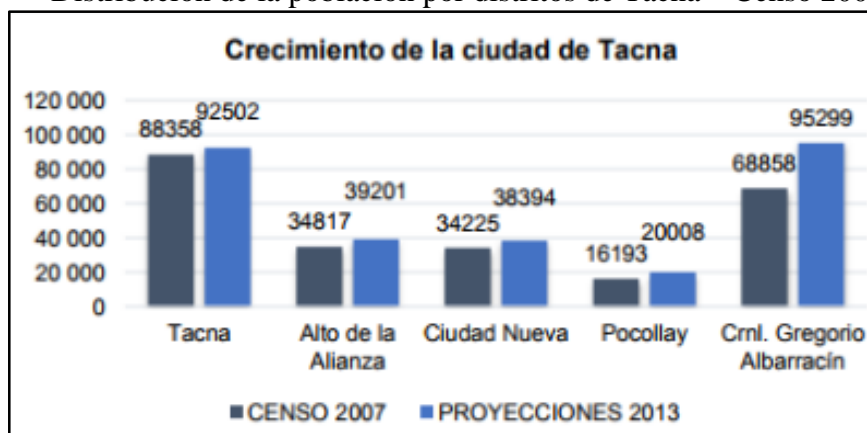
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación

El distrito de Ciudad Nueva, es el cuarto distrito que más población alberga en la provincia de Tacna:

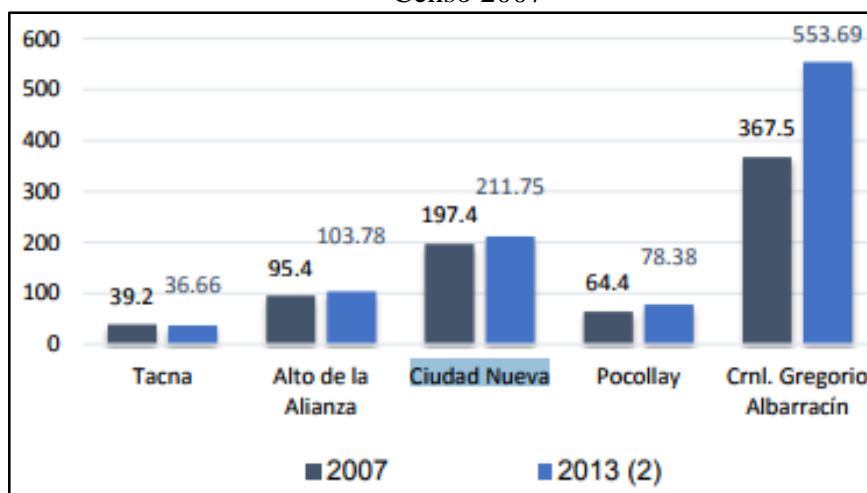
Gráfico n.º 1

Distribución de la población por distritos de Tacna – Censo 2007



Fuente: Plan desarrollo urbano de la ciudad de Tacna 2014 – 2023 – INEI – Censo nacional de población y vivienda 2007.

Adicionalmente a ello es el segundo distrito que tiene mayor densidad poblacional:

Gráfico n.º 2Densidad poblacional de los distritos de la ciudad de Tacna hab./km² – Censo 2007

Fuente: Plan desarrollo urbano de la ciudad de Tacna 2014 – 2023 – INEI – Censo nacional de población y vivienda 2007.

Como se aprecia, este distrito es uno de los más importantes de la provincia de Tacna, el cual en el año 2001, debido al sismo del 23 de junio sus edificaciones fueron afectadas, según se aprecia:

Fotografía n.º 1

Edificaciones afectadas por el sismo del 23 de junio de 2001



Fuente: Revista Caretas, <http://www2.caretas.pe/2001/1676/articulos/terremoto.phtml>

Fotografía n.º 2

Edificaciones afectadas por el sismo del 23 de junio de 2001



Fuente: Diario Correo, <http://diariocorreo.pe/ciudad/23-de-junio-tacnenos-recuerdan-terremoto-de-24127/4>

Sumado a ello, debido a la diferencia entre los estudios realizados con ensayos de laboratorio y el ensayo in situ, para determinar los parámetros de capacidad de carga, así como el elevado contenido de sales solubles totales y su relación densidad natural seca -

límite líquido, surgen interrogantes respecto al problema especial de cimentaciones en suelos colapsables al humedecerse o saturarse por agente externo.

Respecto a la sismicidad del departamento de Tacna y de la zona sur del Perú y norte de Chile, se cuenta con la siguiente información, descrita cronológicamente, según la recopilación realizada por Atkins Lerggios en el año 2004, así como otros investigadores:

- Sismo del 24 de noviembre de 1604 con intensidad de VII en Arequipa, Arica, Tacna y Moquegua.
- Sismo del 18 de septiembre de 1863 con intensidad de VII en Tacna.
- Sismo del 13 de agosto de 1868 con intensidad X en Arica y IX en Arequipa, Tacna y Moquegua.
- Sismo del 9 de mayo de 1877 con magnitud 8.5 Richter, Tacna y Norte de Antofagasta.
- Sismo del 4 de mayo del 1906 con intensidad de VII en Tacna y VI en Arica.
- Sismo del 16 de junio de 1908 con intensidad de VII en Tacna y Arica.
- Sismo del 4 de diciembre de 1934 con intensidad de VI en Tacna y Arica.
- Sismo del 11 de mayo de 1948 con intensidad VI de Arequipa y Tacna.
- Sismo del 3 de Octubre de 1951 con intensidad VII en Tacna
- Sismo del 15 de Enero de 1958 con intensidad de VII en Arequipa.
- Sismo del 8 de agosto de 1987 con intensidad de VI en Tacna y VII en Arica.

-
- Sismo del 23 de Junio del 2001 con intensidad VI en Tacna, VII en Moquegua, VI en Arequipa.
 - Sismo del 13 de Julio del 2005 con intensidad IV en Tacna.
 - Sismo del 17 de Octubre del 2005 con intensidad IV en Tacna.

Ahora bien, debido que el último sismo de intensidad mayor a IX o X ocurrió el 13 de Agosto de 1868, es decir a la fecha, han pasado 150 años sin la ocurrencia de sismos similares; y considerando que los especialistas indican que terremotos de esta intensidad tienen periodos de recurrencia cada 150 a 270 años, la región sur del Perú y Norte de Chile son muy propensas a la ocurrencia de sismos de la citada intensidad.

Respecto al perfil del tipo de suelos, de la revisión a la tesis “Caracterización dinámica de los suelos en la ciudad de Tacna” 2014, determinó para la zona de estudio (línea LW-21 – Centro de Salud Intiroko – Calle n.º 70), que la velocidad de onda S, V_{s30} , promedio es de 433 m/s., en ese sentido, según la norma técnica peruana E0.30 Diseño Sismorresistente, el tipo de suelo corresponde a **S2: Suelos intermedio**, debido que dicha velocidad se encuentra entre 180 m/s a 500 m/s.

De otro lado, respecto a la zona sísmica, la presente investigación se circunscribe a la **Zona 4**, que según la norma E0.30 Diseño Sismorresistente, la aceleración esperada es de 0.45 m/s^2 .

En ese sentido, la presente investigación beneficiará a la población del distrito de Ciudad Nueva debido que, conociendo el potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, se podrá recomendar con mayores elementos técnicos el tipo de cimentación de edificaciones de acuerdo a las características del suelo y así aportar en la mitigación de desastres, debido al elevado riesgo geotécnico de la zona de estudio, la

cual fue afectada por el sismo del año 2001, pese que no es el sismo que espera la norma sismo resistente actual.

1.3.2. Importancia

El aporte fundamental es conocer el comportamiento del suelo al humedecerse o saturarse, lo que permitirá determinar el potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

Igualmente, el grado de importancia que tiene la determinación del potencial de colapso del suelo, se basa en establecer si está permitido la cimentación de edificaciones en este suelo, de acuerdo a la restricción del artículo 29.3 *Cimentaciones en áreas de suelos colapsables*, de la norma técnica peruana *E.050 Suelos y cimentaciones*; así como recomendar alcances respecto al diseño, construcción de la cimentación, funcionamiento y operación de las edificaciones.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar el tipo y potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

1.4.2. Objetivo específico

- Obtener las propiedades físicas, mecánicas, químicas y potencial de colapso en laboratorio del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.
- Aplicar el ensayo de colapso insitu para determinar el potencial de colapso del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

1.5. CONCEPTOS BÁSICOS

- a) Asentamiento diferencial o distorsión
Es la relación entre la diferencia de asentamientos de dos zapatas y su distancia horizontal.
- b) Ensayo de colapso in situ
Prueba de carga en placa según la norma ASTM 1194, en estado seco y humedecido, que permite obtener la relación esfuerzo – asentamiento.
- c) Muestras alteradas (Mab)
Tipo de espécimen del suelo extraído para realizar los ensayos de laboratorio, que cambia las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo y/o extracción.
- d) Muestras inalteradas
Tipo de espécimen del suelo extraído para realizar los ensayos de laboratorio, que no cambia las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo y/o extracción.
- e) Potencial de colapso
Relación matemática del cambio del cambio de altura y altura inicial de la muestra, realizado mediante el ensayo de NTP 339.163 o ASTM D 5333.
- f) Propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelos.-
Son las características del suelo como ser: clasificación del suelo, contenido de humedad natural, densidad in situ, límite líquido, densidad relativa, ángulo de fricción, cohesión y sales solubles totales.
- g) Suelos colapsables
Suelos que por su composición, cambian rápidamente su volumen por acción de incremento de carga y/o incremento del contenido de humedad, debido a la disolución del agente cementante.

1.6. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

En base a la revisión efectuada, se detectó la siguiente bibliografía relacionada con el área de estudio:

a) Título:

“Estudio de suelos para cimentaciones en edificaciones del cono norte de la ciudad de Tacna”

Autor:

Jorge Farah, BERRIOS MANZUR

Juan David, SILVA ARANIBAR

Ensayos de laboratorio:

Calicata 03 - Asociación de Vivienda 28 de Agosto – Ciudad Nueva, suelo clasificado como arena limosa (SM), límite líquido 29.20 %, no presenta límite plástico, contenido de humedad natural 0.75 %, densidad relativa 28.00 %, gravedad específica de los sólidos 2.63 gr/cm³, ángulo de fricción $\phi = 22.00^\circ$ y cohesión $c = 0.00$ kg/cm² (ensayo de corte directo con muestra remoldeada), no se realizó el ensayo de colapso en esta calicata; sin embargo adjuntó ensayos de otras zonas del distrito de Ciudad Nueva, en los cuales si determinaron colapso en el suelo:

Cuadro n.º 1
Ensayos de colapso en el distrito de Ciudad Nueva

Ubicación	N.º	Estado	Colapso (%)
Asociación de vivienda 26 de mayo	C-1	Inalterado	2.20
Asociación de vivienda Neysser	C-2	Remoldeado	4.10
Asociación de vivienda 28 de agosto	C-3		
Av. Precursores	C-4	Inalterado	1.18
Av. Expedición Libertadora	C-5		
Asociación de vivienda Alto	C-6	Inalterado	2.78
C. E. Andrés A. Cáceres.	C-11		
Pj. Juan Iturregui	C-12	Remoldeado	1.03

Ubicación	N.º	Estado	Colapso (%)
Asociación Bloqueteros Zela	C-13	Inalterado	6.40
Parque industrial Cooperativa	C-14		
SENCICO	C-17	Inalterado	7.70

Fuente: Tabla s/n, página 81.

Conclusiones:

“5. En la zonificación geotécnica propuesta por compacidad de suelos se han identificado 05 zonas:

Zona E: Suelo muy suelto, con un ángulo de fricción menor de 28, con una cohesión de 0.05 kg/cm² a 1.00 kg/cm², con un límite líquido de 19.17 % a 32.22 %, (...)

8. La zonificación por capacidad portante de suelos para cimientos corridos con un desplante $D_f = 1.00$ mt y una base $B : 0.60$ mt.; en la zona de estudio es la siguiente:

Zona D: Color: Amarillo - Capacidad portante: 0.30 kg/cm² a 0.50 kg/cm². Extensión: 104 Has. Población 8,585 Hab. Nº de viviendas: 1,388.”

b) Título:

“Estudio mapas de peligro para la ciudad de Tacna y Locumba” 1998

Autores:

Instituto Nacional de Defensa Civil

Universidad Nacional Jorge Basadre Goohmann

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo

Ensayos de laboratorio:

Parámetros de resistencia al esfuerzo cortante de las calicatas:

CT-05 cohesión $c = 0.07$ kg/cm² y ángulo de fricción $\phi = 31.00^\circ$.

CT-10 cohesión $c = 0.06$ kg/cm² y ángulo de fricción $\phi = 32.80^\circ$.

CT-27 cohesión $c = 0.00$ kg/cm² y ángulo de fricción $\phi = 35.60^\circ$.

CT-11 cohesión $c = 0.02 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de fricción $\phi = 36.60^\circ$.

CT-12 cohesión $c = 0.09 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de fricción $\phi = 32.05^\circ$.

“Zonificación Geotécnica de Suelos T-13”: SUELO MALO

c) Título:

“Proyecto Ciudades Sostenibles” 2002

Autor:

Instituto Nacional de Defensa Civil

Ensayos de laboratorio:

Calicata CC-01: Arena limosa SM, densidad insitu seca $1,36 \text{ gr/cm}^3$, límite líquido 22.80 %, no presenta límite plástico, densidad relativa 40.91 %, potencial de colapso 1.20 % remoldeado, 1 894 Partes por millón, en adelante “ppm” de sales solubles totales, clasificándolo como zona de peligro alto.

d) Título:

“Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna” 2010

Autor:

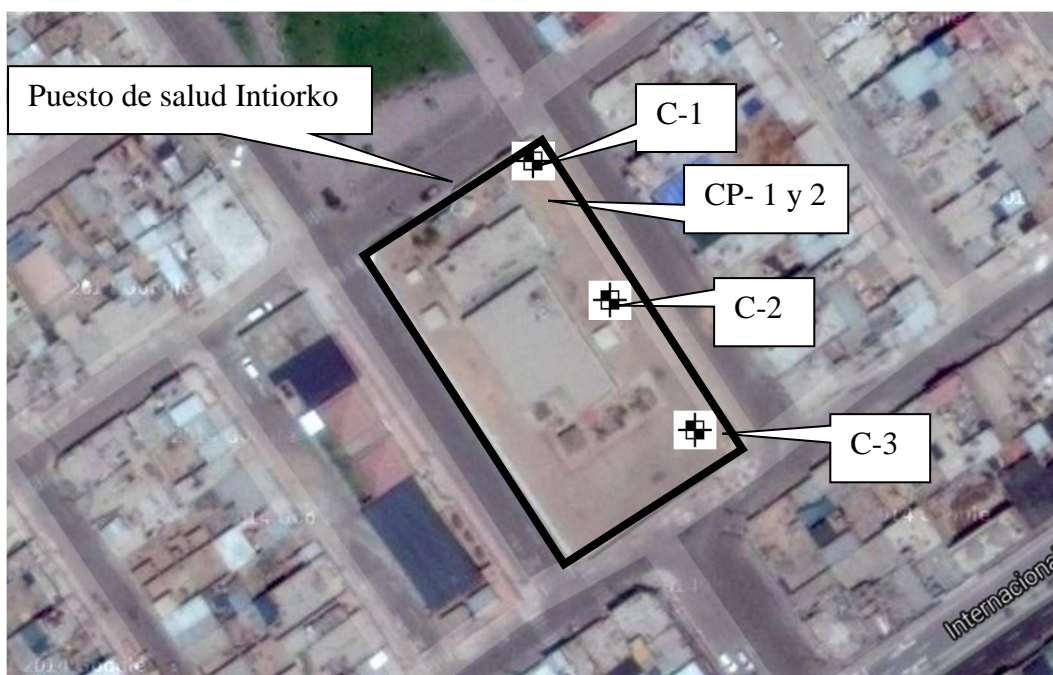
Alfonso Oswaldo, FLORES MELLO

Ensayos de laboratorio:

Características geotécnicas: Arena limosa (SM), densidad natural seca de 1.40 a 1.50 gr/cm^3 , densidad relativa promedio de 40 %, límite líquido 24 %, sales solubles totales alrededor de 27 800 ppm.

Se realizaron tres calicatas y dos ensayos de carga directa in-situ, en las siguientes ubicaciones:

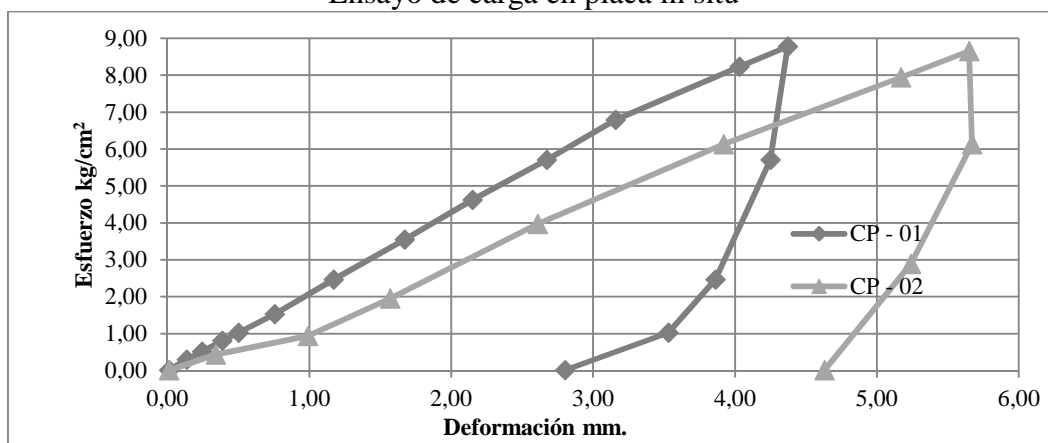
Fotografía n.º 3
Ubicación de exploración de campo



Fuente: Google Maps y tesis “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”.

Respecto a la prueba de carga en placa in situ, se obtuvo el módulo de elasticidad promedio de 440.00 kg/cm^2 , apreciándose en la gráfica esfuerzo - deformación la sección lineal hasta el esfuerzo de 6.46 kg/cm^2 :

Gráfico n.º 3
Ensayo de carga en placa in situ



Fuente: Tesis “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”.

Conclusiones

“Los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante obtenidos del ensayo Triaxial UU no consolidado no drenado para la falla por la capacidad de carga son:

$$\begin{aligned} \text{Cohesión (c)} &= 0.00 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Ángulo de fricción } \emptyset &= 26.00^\circ \end{aligned}$$

Los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante obtenidos de las correlaciones del ensayo de penetración dinámica ligera DPL para la falla por la capacidad de carga son:

$$\begin{aligned} \text{Cohesión (c)} &= 0.00 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Ángulo de fricción } \emptyset &= 35.00^\circ \end{aligned}$$

Los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante obtenidos del ensayo de carga en placa para la falla por corte local son:

$$\begin{aligned} \text{Cohesión (c)} &= 0.00 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Ángulo de fricción } \emptyset &= 30.00^\circ \end{aligned}$$

Así mismo, en base a la prueba de carga en placa y a la teoría de la elasticidad el módulo elástico es 440 kg/cm^2 .

Por lo expuesto los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna son:

$$\begin{aligned} \text{Cohesión (c)} &= 0.00 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Ángulo de fricción } \emptyset &= 30.00^\circ \end{aligned}$$

Recomendaciones

“A los futuros tesisistas e investigadores realizar estudios complementarios en cimentaciones en el distrito de Ciudad Nueva desarrollando el ensayo de colapso in situ, con el fin de determinar el potencial de colapso y el asentamiento in situ producido por el aumento de humedad, debido que

para realizar los ensayos de laboratorio no se ha podido contar con muestras inalteradas y representativas.”

e) Título:

“Evaluación de módulos de elasticidad y determinación de asentamientos en el distrito de Ciudad Nueva” 2010

Autor:

Pablo César, RODRÍGUEZ VILLALOBOS

Gino Alejandro, PINEDA CÁCERES

Ensayos de laboratorio:

El módulo de elasticidad fue determinado con muestras remodeladas en el equipo Triaxial, las calicatas cercanas al área de la presente tesis son C-15, C-17, C-19, C-22 y C-24, suelos que fueron clasificados como arena limosa (SM), sin plasticidad, con las siguientes características:

Cuadro n.º 2
Resumen de parámetros de calicatas cercanas

Calicata	Módulo de elasticidad tn/m ²	Densidad gr/cm ³	Límite líquido %
C-15	1 794	1.46	20.50
C-17	1 068	1.70	25.70
C-19	980	1.33	30.23
C-22	2 753	1.40	23.34

Fuente: Cuadro n.º 2 Resumen de ensayos estándar y Cuadro n.º 3 Determinación de módulos de elasticidad.

Conclusiones:

“Después de haber realizado los distintos ensayos estándar y especiales, los resultados obtenidos señalan que las muestras de suelo de la zona de estudio se clasifican como arena limosa no plástica SM, las cuales presentan un límite líquido entre 9.7 % y 32.25 % con un valor promedio

de 20.98 % una densidad in situ entre 1.20 gr/cc y 1.73 gr/cc con un valor promedio de 1.47 gr/cc, una gravedad especifica de los sólidos de entre 2.42 gr/cc y 2.69 gr/cc con una valor promedio de 2.56 gr/cc, con un contenido de humedad entre 0.87 % y 8.01 % con un promedio de 4.44 %, no presentan límite plástico.

Según los módulos de elasticidad que se obtuvieron podemos dividir estos módulos en 4 grupos y son los siguientes:

- *Grupo N°1: Este grupo comprende valores de entre 700 Tn/m² hasta 1 100 Tn/m², estos valores comprenden las siguientes calicatas C-1, C-3, C-12, C-17, C-19. El detalle de cada calicata con su respectivo módulo de elasticidad se detalla en el cuadro N°9.*
- *Grupo N°2: Este grupo comprende valores de entre 1 100 Tn/m² hasta 1 700 Tn/m², estos valores comprenden las siguientes calicatas C-4, C-6, C-10, C-11, C-13, C-20, C-24. El detalle de cada calicata con su respectivo módulo de elasticidad se detalla en el cuadro N° 10.*
- *Grupo N°3: Este grupo comprende valores de entre 1 700 Tn/m² hasta 2 000 Tn/m², estos valores comprenden las siguientes calicatas C-2, C-5, C-8, C-9, C-15, C-18, C-21, C-23. El detalle de cada calicata con su respectivo módulo de elasticidad se detalla en el cuadro N° 11.*
- *Grupo N°4: Este grupo comprende valores de entre 2 000tn/m² a más, estos valores comprenden las siguientes calicatas C-7, C-14, C-16, C-22. El detalle de cada calicata con su respectivo módulo de elasticidad se detalla en el cuadro N° 12.*

f) Título:

“Influencia del contenido de sales solubles totales en el potencial de colapso del limo arenoso en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna” 2015

Autor:

Freddy David, GONZALES MAMANI

Gary Reynaldo, PALACIOS SALAS

Antecedentes:

Recopilación de información de contenido de sales solubles en el Distrito de Ciudad Nueva realizadas en la Universidad Privada de Tacna:

Cuadro n.º 3

Ensayos de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva

Ubicación	Sales Solubles Totales
Asociación de vivienda 28 de agosto	6 280 ppm
Estadio la Bombonera	12 420 ppm
Faldas del Cerro Intiorko	28 370 ppm
I. E. Cesar Cohaila Tamayo	4 590 ppm
Nueva Barranquilla	20 210 ppm
Comité 11	3 750 ppm

Fuente: Tabla n.º 4 Ensayos de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva.

Resultados

Se determinó las siguientes características del suelo:

Cuadro n.º 4

Ensayos de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva

Calicata	Clasificación SUCS	Densidad natural gr/cm ³	Contenido de humedad %	Límite líquido %	Límite Plástico %
C-1	SM	1.374	1.26	18.20	NP
C-2	SM	1.367	1.37	18.60	NP
C-3	SM	1.339	1.38	19.00	NP

Fuente: Tabla n.º 17 Resultados de ensayos estándares realizados.

Adicionalmente, se identificó el colapso de carácter cualitativo, por medio de recomendaciones de diferentes autores:

Cuadro n.º 5
Potencial de colapso cualitativo

Suelo	Potencial de colapso a partir de correlaciones con propiedades físicas		
	Denisov (1951)	Código de obras de la URSS (1962)	Gibbs (1961)
C-1	0.531 - Colapsable	0.219 – Presenta colapso	1.882 – Colapsable
C-2	0.535 – Colapsable	0.222 – Presenta colapso	1.868 – Colapsable
C-3	0.523 - Colapsable	0.232 Presenta colapso	1.912 - Colapsable

Fuente: Tabla n.º 19 Potencial de colapso de la I. E. Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 - Según parámetros físicos.

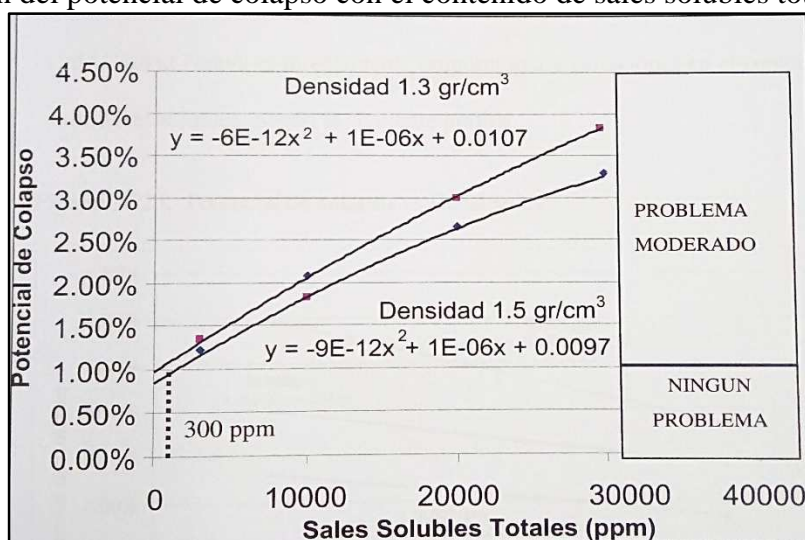
Determinó en laboratorio y con muestra remoldeada en su estado natural el potencial de colapso de 1.74 % a 1.76 %.

Conclusiones:

“Para que el suelo limo arenoso de la Institución Educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo Nª 44250 del distrito de Ciudad Nueva no colapse, la cantidad máxima permisible de sales solubles debe ser de 300 ppm. Según se muestra:

Gráfico n.º 4

Variación del potencial de colapso con el contenido de sales solubles totales



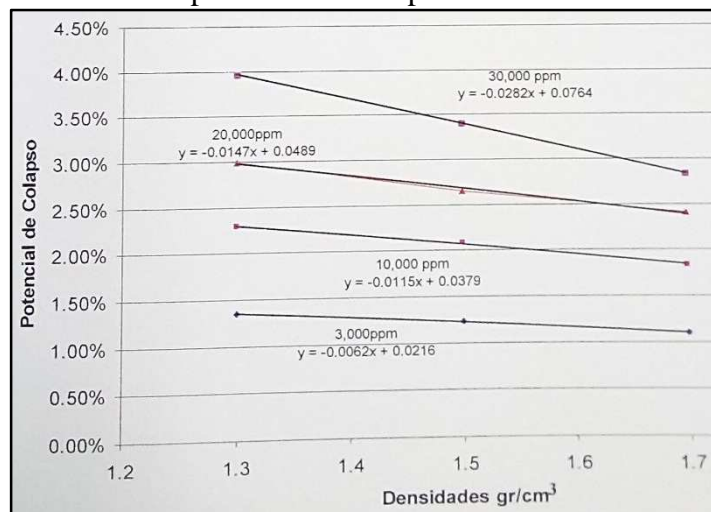
Fuente: Figura n.º 24 Potencial de colapso vs contenido de sales solubles totales.

Se estableció que el potencial de colapso del suelo limo arenoso de la

Institución Educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva es directamente proporcional a variaciones en el contenido de sales solubles. Según la siguiente gráfica:

Gráfico n.º 5

Variación del potencial de colapso con la densidad seca



Fuente: Figura N° 25 Potencial de colapso vs densidades.

El suelo de limo arenoso de la Institución Educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva, no presenta problemas severos, debido a que su potencial de colapso no sobrepasa el 5.00%, según la norma E.050 Suelos y cimentaciones.”

g) Título:

“Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa. Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna” 2015

Autor:

Emmanuel Hugo, FLORES KUONG

Raúl German, ROSPIGLIOSI RENGIFO

Resultados:

Esta investigación determinó los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante, por medio del ensayo de corte directo, con la variación de la densidad y contenido de sales solubles totales, obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro n.º 6

Variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con respecto al contenido de sales solubles totales y densidad seca

TERRENO NATURAL (6000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.275	0.272	0.277	0.277
Angulo de fricción (°)	22.12	22.14	22.03	22.89
TERRENO ALTERADO (10 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.281	0.280	0.296	0.294
Angulo de fricción (°)	25.00	25.64	25.6	25.79
TERRENO ALTERADO (20 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.312	0.316	0.328	0.329
Angulo de fricción (°)	25.62	26.35	27.02	27.12
TERRENO ALTERADO (30 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.315	0.329	0.335	0.328
Angulo de fricción (°)	29.85	29.51	29.79	30.08

Fuente: Tabla n.º 19 Resumen de ensayo de corte directo.

h) Título:

“Caracterización dinámica de los suelos en la ciudad de Tacna” 2014

Autor:

Diana Lizeth, HUANACUNI QUISPE

Geannina Oreal, LLANQUI QUISPE

Resultados:

Mediante el método de Análisis de Arreglo Multicanal de Ondas Superficiales (MASW), se determinó en la LW- 21 Centro de salud

Intiorko – Calle N° 70 (ciudad nueva) los siguientes módulos de elasticidad, conforme la profundidad.

Cuadro n.º 7
Variación del módulo de elasticidad mediante ensayos de refracción sísmica

Profundidad		Módulo de elasticidad kg/cm ²
Desde m.	Hasta m.	
0.00	1.10	139
1.10	2.30	191
3.70	5.30	215
5.30	7.00	748
7.00	8.90	947
8.90	11.00	992

Fuente: Anexo II.3 Línea: LW-21 Ubicación: Centro de Salud Intiorko – Calle N° 70 (Ciudad Nueva).

Adicionalmente a ello, en determinó para la zona de estudio (línea LW-21), que la velocidad de onda S, Vs30, promedio es de 433 m/s.

Conclusiones:

“4. Con las Velocidades de las Ondas de Corte se ha calculado:

a. El módulo de elasticidad el que varía de 4.715 tn/m² a 41.316 tn/m² encontrándose que el menor valor esta en Parque de la Avenida N° 01 en el distrito de Ciudad Nueva y el máximo valor en Parque El Profe – Calle San Pedro en el distrito de Tacna.”

En base a la información revisada y debido a la elevada relación de vacíos, bajo contenido de humedad natural y con alto contenido de sales, así como variación del potencial de colapso y parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo del distrito de Ciudad Nueva, hemos decidido realizar el presente estudio de investigación basándonos en métodos específicos y pruebas de laboratorio tanto estándares como especiales, realizados en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto y Asfalto de la Universidad Privada de Tacna, así como pruebas in situ, como el ensayo de colapso.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEORICO CIENTIFICO

2.1. BASE TEORICA SOBRE VARIABLE INDEPENDIENTE

Los estudios geotécnicos en el Perú utilizan técnicas muy importantes como son la exploración de campo, los ensayos de laboratorio y los ensayos in situ, con base en la norma técnica peruana E.050 Suelos y cimentaciones aprobado mediante decreto supremo n.º 011-2006-VIVIENDA el 8 de mayo de 2006 .

Para ello, en la exploración de campo se debe definir un programa de trabajo que involucra necesariamente la revisión de información previa como el terreno, tipo de edificación (de acuerdo a la clase de estructura, distancia entre apoyos y número de pisos), datos generales de la zona e hipótesis del subsuelo.

Esto requiere de parámetros que son determinados en los ensayos de laboratorio y de campo (in situ) por medio de muestras inalteradas o alteradas, las cuales dependen básicamente de la facilidad del suelo para mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas en su estado natural.

Determinando el tipo de muestra, cantidad y ensayos e implícitamente que tipos de pruebas de campo son necesarios para poder definir las propiedades del suelo, la tabla n.º 2.2.2 de la norma peruana detalla la aplicación y limitaciones de los ensayos in situ.

Ahora bien, el programa de investigación mínimo según la normativa peruana, consiste en:

- a) **Condiciones de frontera**, cuyo objetivo es comprobar que las características del suelo, se pueden suponer iguales a los terrenos

adyacentes.

- b) **Número “n” de puntos de investigación**, la cantidad de puntos de investigación está en función del tipo de edificación y área de la superficie que ocupa la edificación.
- c) **Profundidad “p” mínima a alcanzar en cada punto de investigación**, para cimentaciones superficiales, está definida como la suma de la distancia vertical desde la superficie del terreno hasta el fondo de la cimentación y 1.50 veces el ancho de la cimentación.
- d) **Distribución de puntos de investigación**, se debe tener en cuenta las características y dimensiones del terreno; igualmente la ubicación de la estructura.
- e) **Número y tipo de muestras a extraer**, los tipos de muestras inalteradas pueden ser en bloque (Mib) y tubo de pared delgada (Mit); de otro lado las muestras alteradas pueden ser en bolsa de plástico (Mab) y en lata sellada (Mah). Es importante recalcar que en caso no sea posible obtener las muestras inalteradas, se debe sustituir por ensayos in situ.
- f) **Ensayos a realizar “in situ” y en laboratorio**, la norma peruana detalla los ensayos de laboratorio y los ensayos in situ, considerando en este último la prueba de carga para obtener asentamiento vs presión, el cual es recomendable cuando el suelo a ensayar es tridimensionalmente homogéneo, comprende la profundidad activa de la cimentación y es semejante al ubicado bajo el plato de carga, sin restricción alguna en su aplicación.

2.1.1. Ensayos in situ y laboratorio

Densidad in situ

Este ensayo está regido por la norma técnica peruana, en adelante “NTP”, 339.143, American Society for Testing and Materials, en adelante “ASTM”, D 1556-64 (Cono de Arena), el cual permite determinar la densidad del suelo en el terreno (*γ_{hum}*), obteniendo el peso de suelo húmedo de una pequeña excavación ejecutado sobre la superficie del suelo, luego para determinar el

volumen de dicho hoyo, se utiliza arena calibrada tomando en cuenta el peso de dicha arena que ingresa en el hoyo, obteniendo el volumen del hoyo.

Contenido de humedad

Este ensayo está regido por la norma NTP 339.127 ASTM D 2216, su finalidad es determinar el contenido de agua ($w\%$) en el suelo en su estado natural.

El objetivo de estos dos ensayos es determinar la densidad natural seca (γ_{seca}), con la siguiente ecuación:

$$\gamma_{seca} = \frac{\gamma_{hum}}{1 + w\%}$$

Distribución granulométrica

El análisis granulométrico se realiza con base a la norma NTP 339.128 ASTM D422, el cual es realizado tomando aproximadamente 500 gramos de material en estado seco, luego el suelo es pasado por una columna de mallas en orden decrecientes, midiéndose la cantidad de suelo atrapado en cada malla y calculándose los porcentajes acumulados, posteriormente en una gráfica semi-logarítmica, se traza la curva del porcentaje que pasa del suelo y las aberturas de las siguientes mallas.

Cuadro n.º 8

Ensayo de granulometría – Tamaño de mallas

Malla No.	Abertura mm.	Malla No.	Abertura mm.
3"	76.200	20	0.850
2"	50.800	30	0.600
1 1/2"	38.100	40	0.425
1"	25.400	50	0.300
3/4"	19.050	60	0.250
3/8"	9.525	80	0.180
4	4.750	100	0.150
6	3.350	140	0.106
8	2.360	170	0.088
10	2.000	200	0.075
16	1.180		

Fuente: Norma técnica peruana 339.128 o ASTM D422.

Un punto importante en la distribución granulométrica es la obtención de diámetros característicos tales como el D10, D30, D60, etc. El D se refiere al tamaño del grano o diámetro aparente de la partícula de suelo y el subíndice (10, 30, 60) denota el porcentaje de material que pasa. Se pueden determinar dos parámetros de la curva granulométrica:

Coefficiente de Uniformidad Cu:

Un valor grande en éste parámetro Cu indica que los diámetros D60 y D10 difieren en tamaño apreciablemente, ello no asegura que no exista un vacío de gradación. Este coeficiente se determina:

$$Cu = \frac{D60}{D10}$$

Coefficiente de Concavidad Cc:

Es una medida de la forma de la curva entre del D60 y el D10 y se define de la siguiente forma:

$$Cc := \frac{\frac{D30}{D10}}{\frac{D60}{D30}} \quad Cc := \frac{D30^2}{D10 \cdot D60}$$

Valores de Cc muy diferentes de 1.00 indican que falta una serie de diámetros entre los tamaños correspondientes al D10 y el D60.

Límites de Atterberg

La mayoría de suelos son estables cuando se encuentran secos, pero cuando un suelo arcilloso se mezcla con una cantidad excesiva de agua, éste puede fluir como un semilíquido. Si este se seca en forma gradual, se comportará como un material plástico, semisólido o sólido, dependiendo de su contenido de agua, por ello se ha establecidos límites que describen al suelo:

Límite Líquido LL

Es el porcentaje de contenido de agua con el que el suelo cambia de un estado líquido a un estado plástico. La obtención del contenido de humedad se realiza mediante la copa de Casagrande (NTP 339.129 ASTM D 4318) y se define como el contenido de agua con el cual se obtiene un cierre en la ranura de 12.70 mm. al aplicar 25 golpes.

Limite Plástico PL

Es el porcentaje de contenido de agua con el que el suelo cambia de un estado plástico a un estado semi-sólido. Se define como el contenido de agua para el cual el suelo se desmorona al moldearlo en un rollito de 3.18 mm. de diámetro (NTP 339.129 ASTM D 4318).

Sistemas de clasificación de suelos

La clasificación de suelos con fines de cimentación para edificaciones se basa en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos SUCS. Este usa los siguientes símbolos:

Cuadro n.º 9
Clasificación SUCS - Símbolos

Símbolo	Descripción	Símbolo	Descripción
G	Grava	Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
S	Arena	H	Alta plasticidad
M	Limo	L	Baja plasticidad
C	Arcilla	W	Bien graduada
O	Limos orgánicos y arcillas	P	Mal graduada

Fuente: Norma técnica peruana 339.134 o ASTM D2487.

La clasificación de suelo consiste en agrupar suelos que presenta un comportamiento similar. Así mismo, permite resolver muchos tipos de problemas sencillos y sirve de guía para preparar el programa de exploración y definir los ensayos necesarios.

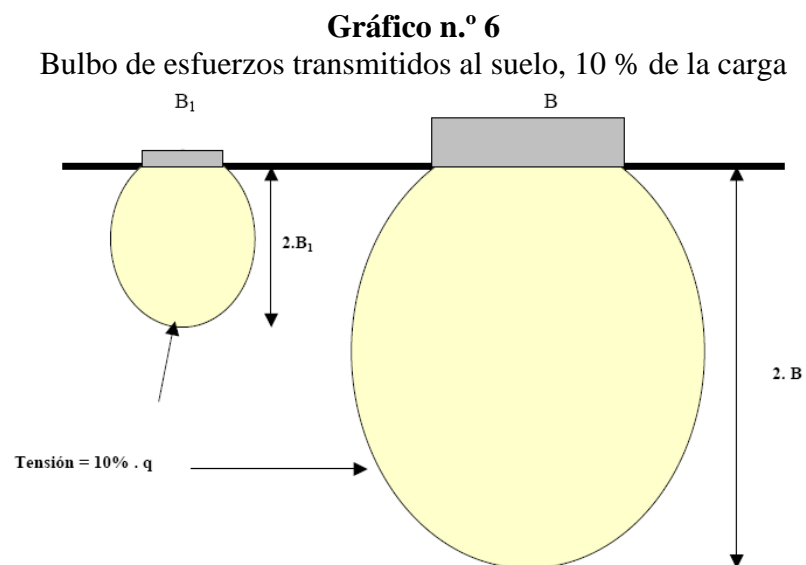
Densidad relativa

Este ensayo determina el estado de densidad de un suelo no cohesivo con respecto a sus densidades en estado natural (NTP 339.143 ASTM D1556), máxima (NTP 339.137 ASTM D 4253) y mínima (NTP 339.138 ASTM D 4254).

Los problemas en este ensayo se presentan al definir adecuadamente en qué consiste el estado más denso y el estado más suelto del suelo.

Prueba de carga

Esta prueba de carga en placa in-situ, se realiza según la norma NTP 339.153 ASTM D1194 y permite la estimación de la capacidad portante del suelo por métodos empíricos, mediante la determinación de las características de la gráfica asentamiento vs presión. Este método proporciona información del suelo sólo hasta una profundidad a dos veces el diámetro de la placa a partir del nivel de ensayo (aproximadamente en el 0.10 q del bulbo de presiones), y toma en cuenta solo parte del efecto del tiempo.



A partir de este ensayo y realizando una modificación al procedimiento, se puede adicionar agua y/o incrementar el contenido

de humedad durante una determinada carga, produciendo con ello en algunos casos el colapso del suelo, es decir un incremento del asentamiento, pese a mantener la carga aplicada; es decir se pueden obtener numerosos datos entre los que se destacan:

- Determinación de las características de la curva carga - deformación del suelo.
- Obtención del asentamiento elástico.
- Determinación del asentamiento debido al colapso de la estructura del suelo por incremento del contenido de humedad a un determinado esfuerzo.

2.2. BASE TEORICA SOBRE VARIABLE DEPENDIENTE

2.2.1. Suelos colapsables

En los suelos áridos y semiáridos generalmente se encuentran suelos colapsables. Estos suelos son secos, es decir el contenido de humedad son bajos; sin embargo, son resistentes en su estado natural y proporcionan buenas condiciones para las cimentaciones, debido que contienen material cementante, que unen los sólidos.

Aunque, al incrementar el contenido de humedad, el material cementante que unía las partículas sólidas del suelo, son disueltas por el agua, produciendo un reacomodo de las partículas y con ello un asentamiento conforme se rompa las uniones cementadas, generando un asentamiento inesperado y localizado en las zonas que, por alguna razón se humedece. Sin embargo, en estado seco, estos suelos son estables y tienen buen comportamiento mecánico.

Para evitar este tipo de asentamientos, las cimentaciones deben ser proyectadas identificando el suelo colapsable, evaluando el asentamiento por colapso y emplear las medidas de mitigación apropiadas cuando fuera necesario, según concluyeron Clemence y Finbarr, 1981.

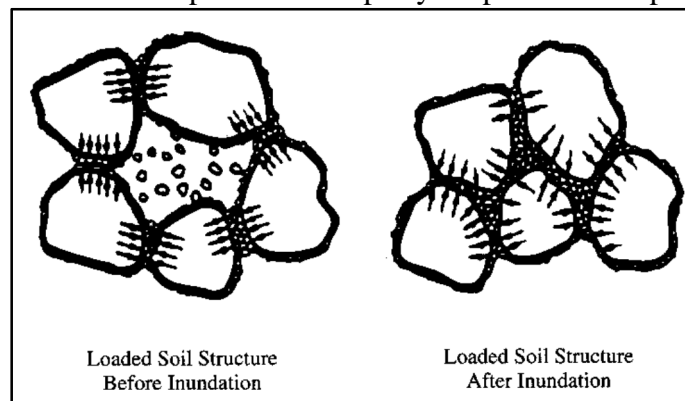
2.2.2. Origen de suelos colapsables

Los suelos colapsables, en la presente investigación, son predominantemente arenas y limos, bajo contenido de humedad, baja densidad y elevada relación de vacíos. Este tipo de estructura se mantienen unidas con pequeñas cantidades de agua y agentes cementantes, como arcillas o sales, entre otros.

Cuando el suelo se encuentra en estado seco, estos cementantes producen un suelo fuerte y con buen comportamiento mecánico; sin embargo cuando es humedecido, estos cementantes son disueltos y la estructura colapsa, al acomodarse los sólidos y causa asentamiento en el suelo, conforme se aprecia del siguiente gráfico.

Gráfico n.º 7

Vista de suelo previo al colapso y después del colapso.

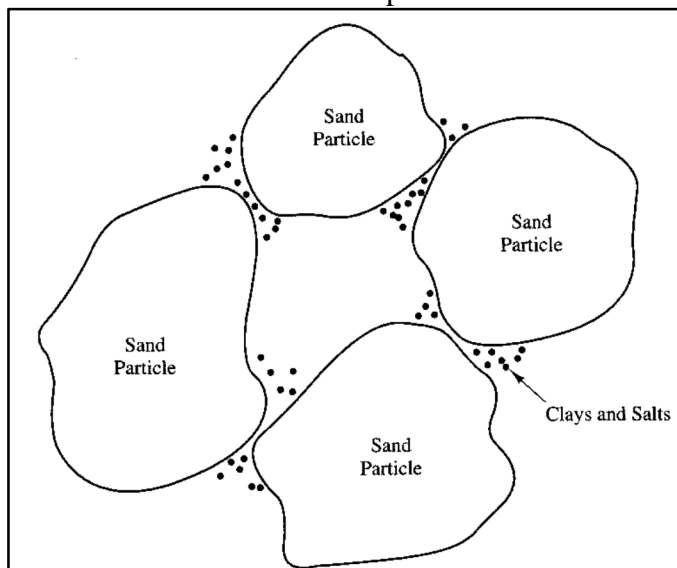


Fuente: Figura 20.1 Vista microscópica de suelo colapsable, antes y después de la inundación. Diseño de cimentaciones - Donald Coduto - Prentice Hall 2001.

Algunos suelos aluviales (suelos transportados por el agua) y suelos coluviales (suelos transportados por gravedad) pueden ser altamente colapsables. En estos casos, cortas pero intensas precipitaciones inducen un rápido movimiento del suelo causando el flujo de agua y suelo, en este movimiento, el suelo se encuentra saturado y tiene alta relación de vacíos y baja densidad, luego el rápido secado por evaporación tensión capilar extrae el agua, causando con ello que los puntos de contacto entre las partículas tengan arcilla, limo

y las sales solubles, según se aprecia de la siguiente figura, formando la estructura colapsable.

Gráfico n.º 8
Vista de suelo colapsable.



Fuente: Figura 20.2 Cuando un flujo de suelo es secado por evaporación.
Diseño de cimentaciones - Donald Coduto – Prentice Hall 2001.

2.2.3. Definición y tipos de suelos colapsables

Braja M. Das, define estos suelos colapsables, también llamados metaestables, como suelos no saturados que experimentan un gran cambio de volumen al incrementar el contenido de humedad y/o al saturarse y en algunas veces a un incremento de una carga adicional.

Así mismo, la norma peruana los considera en el capítulo 6 como problemas especiales de cimentación y los define como: “*Son suelos que cambian violentamente de volumen por la acción combinada o individual de las siguientes acciones: a) al ser sometidos a un incremento de carga o b) al humedecerse o saturarse.*”

El comportamiento mecánico de este tipo de suelo, se comprende mejor con el siguiente gráfico, el cual corresponde a una gráfica que muestra la relación de vacíos (para casos más simple altura del espécimen) versus la presión, utilizando el mismo equipo de

consolidación (edómetro) y la muestra de suelo en su contenido de humedad natural de 5 cm. de diámetro y 2 cm. de altura aproximadamente.

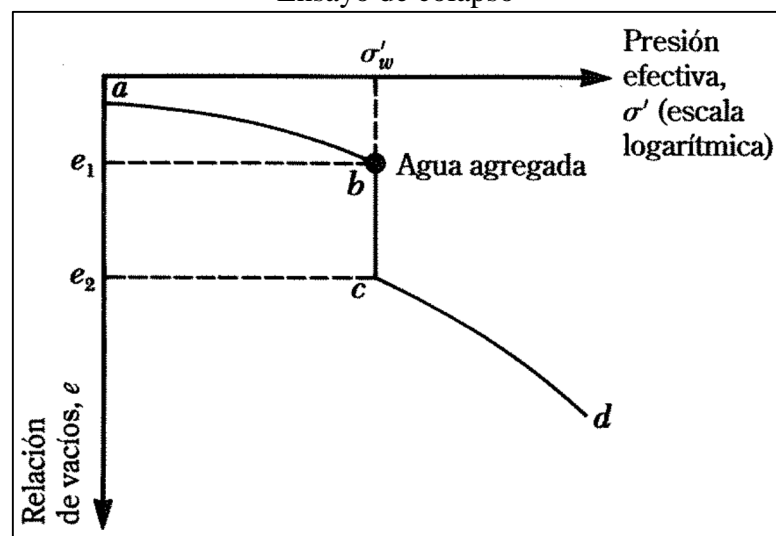
Se recomienda que la muestra sea inalterada (es decir que mantenga sus características físicas y mecánicas entre su estado natural y el laboratorio), pero en algunos casos únicamente se puede realizar con muestra remoldeada, es decir alteradas.

Ahora bien, el tramo **AB** de la figura después de aplicar una presión efectiva σ'_w , en este punto el suelo disminuyó a una relación de vacíos e_1 , es decir se asentó producto del incremento de carga inicial.

Sin embargo, si manteniendo esta última presión, se agrega agua a la muestra, incrementando con ello el contenido de humedad, hasta saturarla y disolver el agente cementante, la estructura del suelo se colapsará y producirá una disminución de la altura y/o asentamiento, lo que conlleva a una disminución de la relación de vacíos.

Después de la saturación, la relación de vacíos de equilibrio para el mismo nivel de presión es e_2 , según se aprecia:

Gráfico n.º 9
Ensayo de colapso



Fuente: Principios de ingeniería de cimentaciones – Braja M. Das.

Las edificaciones construidas sobre tales suelos llegan a experimentar grandes y repentinos asentamientos cuando el suelo bajo la cimentación se satura con el aumento del contenido de humedad no considerada, que puede provenir de: tuberías rotas de agua, drenajes con fugas, drenaje del agua de los depósitos o cisternas, incremento del nivel freático u otros factores.

Este tipo de asentamiento diferencia y localizada, causa generalmente considerables daños a las estructuras. Por consiguiente, la identificación de los suelos colapsables es crucial.

La mayoría de suelos colapsables que se presentan en estado natural son de origen eólico, es decir, arenas y/o limos depositados por el viento, tales como los loess, las playas eólicas y los depósitos de polvo volcánico, los cuales tienen altas relaciones de vacíos, pesos específicos bajos, sin cohesión o sólo ligeramente cohesivos y bajo contenido de humedad natural.

Los depósitos loess tienen partículas de tamaño de limo. La cohesión en los loess puede ser el resultado de la presencia de una condición bastante estable en su estado no saturado. La cohesión también es ocasionada por la presencia de precipitados químicos lixiviados por el agua de lluvia, cuando el suelo se satura, los aglomerantes pierden su resistencia y por tanto experimentan un colapso del suelo.

2.2.4. Parámetros físicos para identificación de suelos colapsables

Jenning y Knight (1975) fueron unos de primeros en realizar investigaciones sobre suelos colapsables, ellos recomendaron un procedimiento para determinar el potencial de colapso de un suelo.

El cual consiste en obtener una muestra de suelo inalterado con

su contenido de humedad natural en un anillo de consolidación, muestra de aproximadamente 5 cm. de diámetro y 2 cm. de altura, aplicar cargas escalonadas hasta la presión de 2 kg/cm², luego se inunda la muestra de suelo hasta saturarla y se deja reposar. Determinándose las relaciones de vacíos antes y después de la saturación, e_1 y e_2 , calculando con ello el potencial de colapso C_p , respecto a la relación de vacíos inicial e_0 , con la siguiente ecuación:

$$C_p = \Delta e = \frac{e_1 - e_2}{1 + e_0} \text{ o } \frac{\Delta H_c}{H_0}$$

Posteriormente, el potencial de colapso fue analizado por Clemence y Finbarr en 1981, los cuales propusieron el siguiente cuadro de severidad del problema en función al potencial de colapso, que se resume a continuación:

Cuadro n.º 10

Relación de potencial de colapso y la severidad del problema

Potencial de colapso C_p (%)	Severidad del Problema
0 – 1	Ningún problema
1 – 5	Problema moderado
5 – 10	Problema
10 – 20	Problema severo
> 20	Problema muy severo

Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E.050 Suelos y cimentaciones.

Este criterio también es recogido por el reglamento nacional de edificaciones peruano E.050 Suelos y Cimentaciones, en el artículo 6.1.3., precisando que no está permitido la cimentación sobre suelos cuyo potencial de colapso fuera mayor a 5%.

De otro lado, Holtz y Hilf en 1961, sugirieron que un suelo tipo loess con una relación de vacíos suficientemente grande para permitir que su contenido de agua exceda su límite líquido al estar saturada, es susceptible al colapso. Entonces, para que ocurra el colapso, se debe cumplir la siguiente expresión:

$$W\% (\text{saturado}) \geq LL$$

Sin embargo, para suelos saturados la relación de vacíos es igual al contenido de humedad por el peso específico de los sólidos, es decir:

$$e = W\% G_s$$

Combinando estas ecuaciones, para suelos colapsables se obtiene:

$$e \geq LL G_s$$

Siendo el peso específico seco natural requerido para que ocurra el colapso la siguiente expresión:

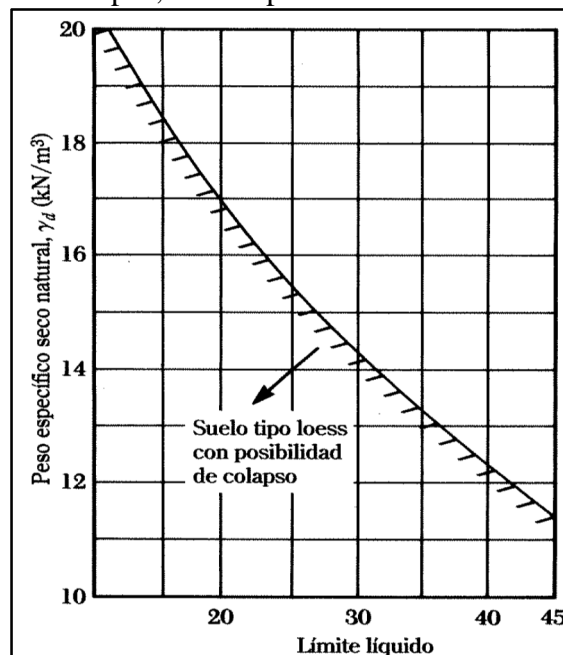
$$\gamma_{seco} \leq \frac{G_s \gamma_w}{1 + e_0} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + LL G_s}$$

Para valores promedios de G_s igual a 2.65, los valores límites del peso específico seco para diferentes límites líquidos pueden ahora calcularse con esta ecuación.

En el siguiente gráfico, se muestra la relación de peso específico seco vs límite líquido. Los suelos que se encuentren por debajo de la línea es probable que colapsen.

Gráfico n.º 10

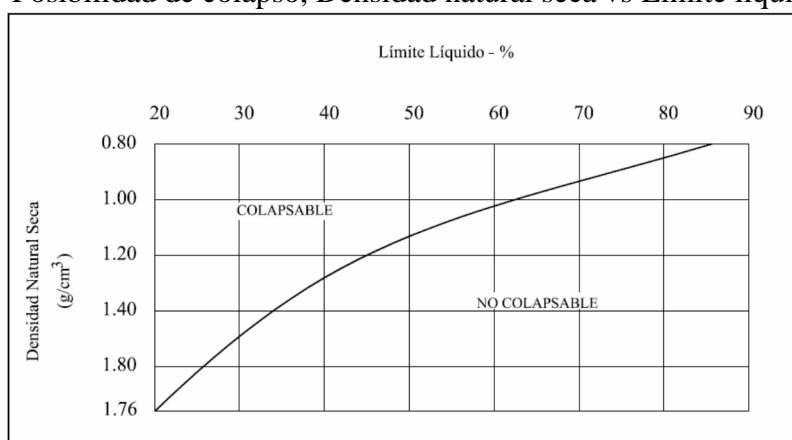
Posibilidad de colapso, Peso específico natural vs Límite líquido



Fuente: Figura n.º 13.3 Suelos tipo loess con posibilidad de colapso – Principios de cimentaciones, Braja M. Das.

De igual manera, la norma peruana E 0.50 Suelos y Cimentaciones, en su capítulo 6 Problemas especiales de cimentación, artículo n.º 29 Suelos Colapsables, especifica que se debe evaluar el potencial de colapso en función del límite líquido y peso específico seco, con base a la siguiente gráfico, similar al anterior:

Gráfico n.º 11
Posibilidad de colapso, Densidad natural seca vs Límite líquido



Fuente: Reglamento nacional de edificaciones E 0.50 Suelos y cimentaciones, figura n.º 6.1.2. Criterios del potencial de colapso.

Aquí es preciso señalar, que como se advierte esta gráfica considera suelos con densidad natural seca menores a 1.76 g/cm^3 , rango en los que no se encuentran suelos clasificados como grava; sin embargo investigaciones han demostrado que los suelos gravosos también son propensos a colapsar si la matriz de arena y/o material fino contiene material cementante¹, por ese sentido estos gráficos es

¹ Fuente bibliográfica n.º 13: Tesis: Investigación del conglomerado colapsable de la Cano-Vitor Arequipa, 1998, Erasmo Alejandro Fernandez Sixto. conclusión "En el conglomerado de gravas hemos encontrado que: la estructura no es macroporosa porque la relación de vacíos escasamente supera 0.1, la estructura del suelo no está mal acomodada porque el peso específico volumétrico supera a 2 kg/crn^2 , la humedad es escasa con valores menores a 1.5%, así mismo la naturaleza del suelo es cementada al haberse encontrado altas concentraciones de carbonatos de calcio (más del 60%), arcilla montmorillonítica (11 %) y sales de sodio en la matriz fina."

Fuente bibliográfica n.º 10: Tesis: Investigación del conglomerado especial en la Ciudad de Tacna, 2012, Betty María Condori Quispe. Conclusión "De la investigación del conglomerado especial se concluye que se trata de un conglomerado colapsable puesto que reúne las características para su identificación como son bajo contenido de agua, la estructura no es macro porosa porque la relación de vacíos es baja, la estructura no está mal acomodada y es de naturaleza cementada por sales."

aplicable a suelos arenosos y/o limos.

Igualmente, el potencial de colapso se calcula con la misma fórmula desarrollada por Jenning y Knight y clasifica esta severidad mediante los parámetros definidos por Holtz y Hilf, los cuales fueron descritos.

Así mismo, recomienda pruebas de carga en placa en estado seco y humedecido.

De otro lado, varios investigadores definieron diferentes criterios, los cuales se resumen a continuación:

Cuadro n.º 11

Criterios reportados para la identificación de suelos colapsables

Investi Gador	Criterio
Denisov 1951	Coeficiente de hundimiento: Relación de vacíos en el límite líquido $K = \frac{\text{Relación de vacíos en el límite líquido}}{\text{Relación de vacíos natural}}$ K = 0.50 a 0.75 muy colapsable. K = 1.00 marga no colapsable. K = 1.50 a 2.00 suelos no colapsables.
Cleveger 1985	Si el peso específico seco es menor que 12.60 kN/m ³ , (1.28 gr/cm ³) el asentamiento será grande; si el peso específico seco es mayor que 14 kN/m ³ , (1.43 gr/cm ³) el asentamiento será pequeño.
Priklonski 1952	$KD = \frac{(\text{Contenido de agua natural} - \text{Límite plástico})}{\text{Índice de plasticidad}}$ KD < 0 Suelo muy colapsables. KD > 5 Suelo no colapsables. KD > 1 suelo expansivos.
Gibbs 1961	Razón de colapso $R = \frac{\text{Contenido de humedad en saturación}}{\text{Límite líquido}}$ Si es mayor a 1, el suelo colapsa.
Código Soviético 1962	$L = \frac{e_0 - e_L}{1 + e_0}$ e ₀ : relación de vacíos natural, e _L : Relación de vacíos en el límite líquido. Para un grado de saturación natural menor que 60%, si L > -0.10, se trata de un suelo colapsable.
Feda 1964	$KL = \frac{W_0}{S_r} - \frac{LP}{IP}$ W ₀ : Contenido de humedad natural, S _r : Grado natural de saturación, LP : Límite plástico e IP : Índice plástico. Para S _r < 100%, si KL > 0.85, se trata de un suelo que puede hundirse.
Benites 1968	Una prueba de dispersión en la que 2 g. de suelo se vierte en 12 ml de agua destilada y la muestra se cronometra hasta que se

Inve sti Gador	Criterio
	dispersa; se obtuvieron tiempos de dispersión de 20 a 30 segundos para suelos colapsables de Arizona.
Handy 1973	Loess de Iowa con contenido de arcilla (< 0.002 mm): < 16% Alta probabilidad de colapso. 16 – 24% Probabilidad de colapso. 24 – 32% Menos del 50% de probabilidad de colapso. > 32% Generalmente seguro contra el colapso.

Fuente: Principios de cimentaciones, Braja M. Das y Tesis: Investigación del conglomerado colapsable de la Cano-Vitor Arequipa, 1998, Erasmo Alejandro Fernandez Sixto.

De los cuales, utilizaremos los factores K, R y L, debido que nuestro suelo de análisis no es plástico.

2.2.5. Capacidad de carga y asentamientos admisibles en suelos colapsables

En las cimentaciones superficiales, la capacidad de carga admisible es la menor de entre la capacidad de carga que ocasiona la capacidad de carga por corte dividida entre el factor de seguridad y el asentamiento admisible que la estructura puede soportar. Lo cual se detalla en la norma peruana E.050 Suelos y cimentaciones, artículo 3.5 Presión admisible.

Respecto a capacidad de carga por corte, en investigaciones realizadas² se advierte que los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante (cohesión y ángulo de fricción) se incrementan conforme aumenta el contenido de sales solubles totales.

En ese sentido, el principal problema en estos tipos de suelos es determinar la presión que cause el asentamiento admisible, ahora bien los asentamientos de una cimentación pueden dividirse en cuatro grupos:

- Asentamiento inmediato o elástico, este tiene lugar durante o

² Fuente bibliográfica n.º 15: "Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa. Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna" 2015, Autor: Emmanuel Hugo Flores Kuong y Raul German Rospigliosi Rengifo.

inmediatamente después de la construcción de la estructura.

- Asentamiento por consolidación, este asentamiento ocurre en el tiempo, debido a la expulsión del agua de poro de los espacios vacíos de los suelos arcillosos saturados, que no corresponde al presente caso.
- Asentamiento por colapso, este ocurre en su mayoría en suelos con baja densidad y que cuentan con material cementante entre sus sólidos, pero este fenómeno ocurre al incrementar el contenido de humedad, hasta debilitar estos enlaces.
- Expansión, típico de algunos suelos arcillosos, el cual no corresponde a la presente investigación.

En el presente caso, consideraremos en los cálculos el asentamiento elástico y colapso, debido que nuestro suelo es friccionante, en ese sentido no corresponde analizar el asentamiento por consolidación y expansión.

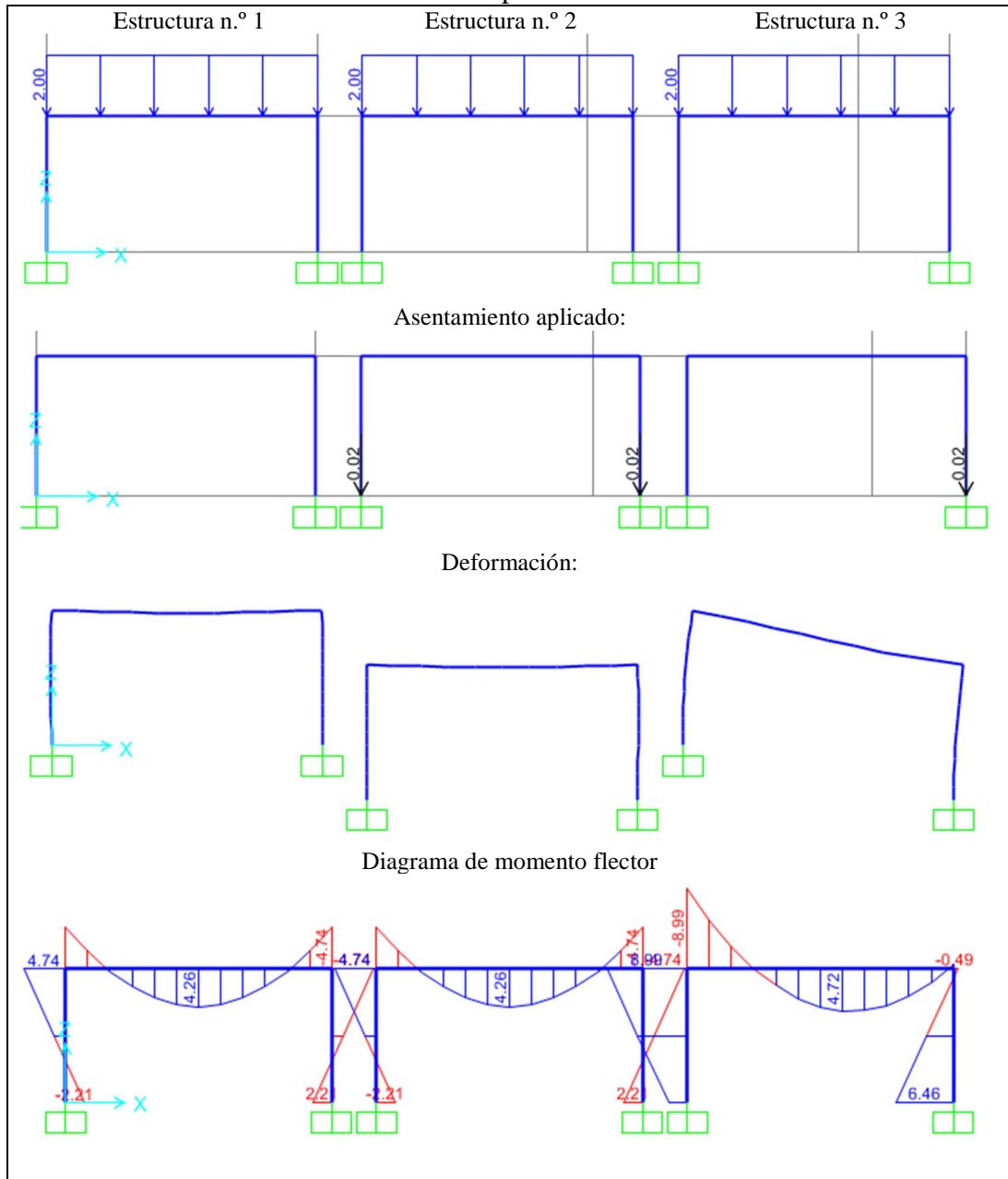
Ahora bien, es razonable esperar que las diferentes zapatas de la edificación tengan asentamientos distintos pese que forman parte de una misma edificación. Por lo tanto, si consideramos en un caso hipotético que una edificación en cada zapata tiene el mismo asentamiento, las fuerzas internas, como ser fuerza axial, fuerza cortante, momento flector y torsión, de los elementos estructurales, no sufrirían variación.

Sin embargo, si por el contrario los asentamientos fueran diferentes, las fuerzas internas de las vigas, columnas, muros y placas, sufrirían variación importante, originando con ello fisuras en estos elementos estructurales. Asimismo esto dependerá también de la distancia entre las zapatas, debido que ante más próximas se encuentren mayor serán los esfuerzos, según se aprecia del siguiente modelamiento matemático, de tres estructuras con los mismos elementos estructurales, la primera si asentamiento, la segunda con asentamiento en ambos

apoyos y la tercera con asentamientos en un apoyo:

Gráfico n.º 12

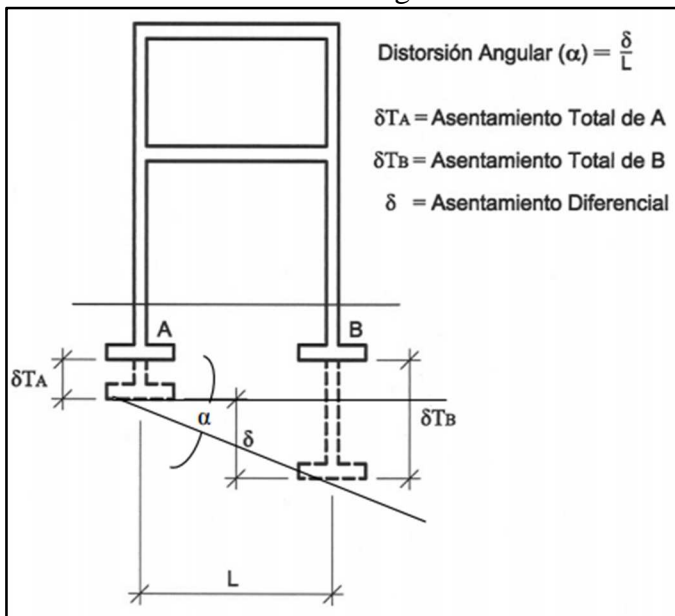
Variación de fuerzas internas por asentamientos diferenciales



Fuente: Elaboración propia.

En ese sentido, la distorsión angular es la relación entre el asentamiento diferencial y la distancia entre las zapatas, según el siguiente gráfico.

Gráfico n.º 13
Distorsión angular.



Fuente: Norma E0.50 Suelos y cimentaciones.

En ese sentido, la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones, recomienda para suelos granulares que el asentamiento diferencial se puede estimar como el 75% del asentamiento total producto del asentamiento inmediato.

De otro lado, determinar el asentamiento que produce el colapso, no es fácil de calcular, un procedimiento es el propuesto por Jenning y Knight en 1975, en el cual se determina el asentamiento inmediato y el producido por el colapso del suelo.

Así mismo, se puede determinar mediante la prueba de carga en placa in situ con humedecimiento (colapso) del suelo; al respecto, Terzaghi y Peck en 1967 propusieron la siguiente expresión para determinar los asentamientos elásticos de cimentaciones en función al ensayo de carga directa:

$$S_F = S_P * \left(\frac{2 * B_F}{B_F + B_P} \right)^2$$

Donde:

Bf	=	Ancho de la zapata
Bp	=	Ancho de la placa
Sp	=	Asentamiento de placa
Sf	=	Asentamiento de la zapata

Por ese motivo, diversos investigadores y normas técnicas definieron límites en función de la distorsión.

La norma técnica peruana, en la tabla 3.2.0 Distorsión angular, nos presenta los siguientes límites, entre los cuales se puede apreciar que la distorsión menor a $1/150$ o $0.0066 L$, es el límite en el que se debe esperar daño estructural, así como $1/300$ o $0.003 L$ para edificios que no permiten grietas, según se detalla:

Cuadro n.º 12
Rangos de distorsión angular.

$\alpha = \delta/L$	DESCRIPCIÓN
1/150	Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Límite en que la pérdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Límite en que se debe esperar las grietas en paredes.
1/500	Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
1/500	Límite para cimentaciones rígidas circulares o para anillos de cimentación de estructuras rígidas, altas y esbeltas.
1/650	Límite para edificios rígidos de concreto cimentados sobre un solado con espesor aproximado de 1,20 m.
1/750	Límite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

Fuente: Norma E0.50 Suelos y cimentaciones / Tabla 3.2.0 Distorsión angular.

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. HIPOTESIS

3.1.1. Hipótesis General

El tipo de suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, es arena limosa suelta, cuyo potencial de colapso es moderado.

3.1.2. Hipótesis Específicas

Las propiedades físicas, mecánicas, químicas y potencial de colapso en laboratorio del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, contribuyen al potencial de colapso moderado.

El potencial de colapso con base al ensayo insitu en el suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, es moderado.

3.2. VARIABLES

3.2.1. Identificación de las variables

Variable independiente

Tipo y características del suelo.

Variable dependiente

Potencial de colapso

3.2.2. Operacionalización de las variables

La operacionalización de las variables se desarrolla en el siguiente cuadro:

Cuadro n.º 13
Operacionalización de las variables

Variable	Indicador	Unidad/Categoría	Escala
Independiente: Tipo y características del suelo	Características físicas, mecánicas y químicas del suelo.	Gráfica densidad natural seca vs límite líquido Coeficiente de hundimiento K Razón de colapso R Factor L	Medición cualitativa: • Suelo colapsable o • Suelo no colapsable.
Dependiente: Potencial de colapso	Gráfica de relación de vacíos (e) vs logaritmo de presión.	Relación de vacíos (e): $e = \frac{\text{Volumen de vacios (cm}^3\text{)}}{\text{Volumen de solidos (cm}^3\text{)}}$ Presión: $\sigma = \frac{\text{Fuerza (kg)}}{\text{Área (cm}^2\text{)}}$	Medición cuantitativa en porcentaje: • Ningún problema 0 – 1% • Problema moderado 1 – 5 % • Problema 5 – 10 % • Problema severo 10 – 20 % • Problema muy severo >20%
	Asentamiento inmediato	Centímetros	Medición cuantitativa de la Distorsión angular • 1/150 Límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales. • 1/500 Límite seguro para edificios en los que no se permiten grietas.
	Asentamiento por colapso	Centímetros	
	Distorsión angular	Relación entre el asentamiento diferencial y la longitud de los apoyos o zapatas.	

Fuente: Elaboración propia

3.2.3. Tipo de investigación

Por la forma en que se ha planteado la investigación y por los objetivos de la misma reúne las características de una investigación aplicada, por utilizarse conocimientos pre existentes en investigaciones y normas técnicas; así mismo se trata de demostrar resultados aplicando diferentes metodologías por medio de ensayos de laboratorio e in situ, con la finalidad de contribuir con nuevos conocimientos en la ingeniería geotécnica existente en el suelo del distrito de Ciudad Nueva, provincia y departamento de Tacna.

3.2.4. Diseño de la investigación

El tipo de diseño de la investigación es experimental, centrada básicamente en el comportamiento esfuerzo vs deformación, por medio de la ejecución de ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna y in situ, para determinar el potencial de colapso del suelo bajo análisis.

Finalmente se efectuó un análisis de los resultados y comparaciones de cada ensayo.

3.2.5. Ámbito de estudio

Suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

3.2.6. Población y muestra

Población

La presente investigación se va a realizar en el suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna.

Muestra

En la determinación del número de muestra se considerarán las normas técnicas que rigen sobre la materia y se tomará de forma intencional, lo que significa que el muestreo es no probabilístico a criterio del investigador,

3.2.7. Técnicas de recolección de datos

Para la presente investigación, se tiene como antecedentes tres calicatas, de las cuales se desarrollaron los ensayos estándares y especiales, así como la prueba in situ de carga en placa sin colapso en la misma zona de estudio, en ese sentido adicionalmente se plantea realizar una calicata adicional con ensayos de laboratorio estándares y especiales adicionales como colapso unidimensional; así como la prueba in situ de carga en placa con colapso.

Así mismo, para el análisis se consideró parámetros físicos, químicos y mecánicos de investigaciones anteriores cercanas a la zona de estudio, descritos en los antecedentes.

Las propiedades van a ser determinadas en base a los resultados de los ensayos estándares, especiales e in situ, según las siguientes normas técnicas:

Cuadro n.º 14
Relación de ensayos.

PROPIEDADES	ENSAYOS	NORMATIVIDAD
FISICAS Y CLASIFICACIÓN		
Humedad natural	Contenido de humedad	NTP 339.127 ASTM D2216
Peso específico	Peso específico de las partículas	NTP 339.131 ASTM D-854
Granulometría	Análisis granulométrico por tamizado	NTP 339.128 ASTM D422
Plasticidad	Límites de Atterberg	NTP 339.129 ASTM D 4318
DEFORMACIÓN		
Asentamiento	Colapso Insitu	NTP 339.153 ASTM D1194
ANÁLISIS QUÍMICO		
Características químicas	Sales Solubles Totales	NTP 339.152

Fuente: Elaboración propia

CAPITULO IV

4. DIAGNÓSTICO SITUACIONAL

4.1. PRESENTACIÓN

La zona de estudio seleccionada es el Puesto de Salud Intiorko, el cual se encuentra ubicado en la asociación 28 de Agosto del Distrito de Ciudad Nueva – Tacna. Fue construido el año 1996, a razón de la creciente expansión demográfica de este distrito, con la finalidad de prestar el servicio de salud a los moradores de las zonas aledañas, posteriormente en el año 2007 se amplió el servicio, teniendo un área construida y total de 524.75 m² y 2 874.16 m², respectivamente.

El terreno presenta una pendiente variable ascendente de Sur Este a Norte que oscila entre 3.59% a 4.76%. No hay problema de drenaje superficial en la zona estudiada, debido que los reportes hidrográficos de la cuenca nos demuestran que las precipitaciones no son considerables

El clima es árido, con temperaturas desde 9.50° a 27.20 °C, con precipitaciones desde 2 mm. a 8 mm., y se encuentra sobre los 730 m.s.n.m.

La geología corresponde a la formación Huaylillas, era cuaternaria reciente con depósitos residuales de ceniza volcánica superficiales, cuya clasificación es: Toba bentonítica micácea color blanco rosado en cotas inferiores y arena micácea en cotas superiores.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

4.2.1. Características físicas del suelo

Se puede resumir en base a las investigaciones anteriores, que el suelo de la zona de estudio está clasificado como Arena Limosa (SM),

límite líquido menor a 30%, no presenta límite plástico, contenido de humedad menor al 5%, densidad relativa menor al 40%, gravedad específica de los sólidos alrededor de 2.60 gr/cm³.

4.2.2. Características mecánicas del suelo

En ensayos de corte directo en laboratorio con muestras remoldeadas, se determinó que el ángulo de fricción varía desde 22.00° a 22.89° y la cohesión $c = 0.00$ a 0.277 kg/cm².

Igualmente, utilizando el equipo triaxial y ensayo no consolidado no drenado, se determinó el ángulo de fricción de 26° y cohesión $c = 0.00$ kg/cm².

De otro lado, realizando pruebas in situ, por medio del ensayo de carga en placa, se determinó el ángulo de fricción de 30.00° y cohesión $c = 0.00$ kg/cm².

Adicionalmente a ello, en el distrito de Ciudad Nueva, dependiendo de la densidad y contenido de sales solubles totales, el ángulo de fricción puede variar de 22.12° a 36.60° y la cohesión desde 0.275 a 0.335 kg/cm².

Respecto al módulo de elasticidad, se determinaron por medio de muestras remoldeadas valores entre 98 a 275 kg/cm² mientras que en pruebas in situ 440 kg/cm², mediante el ensayo de carga en placa, y de 139 a 992 kg/cm², utilizando el ensayo MASW, según la tesis “Caracterización dinámica de los suelos en la ciudad de Tacna”.

4.2.3. Características químicas del suelo

De la revisión a ensayos históricos del contenido de sales solubles totales en el distrito de Ciudad Nueva, se advierte que el límite máximo obtenido en la Universidad Privada de Tacna, es 28 370 ppm.

4.2.4. Potencial de colapso del suelo

Según investigaciones anteriores, con muestras remoldeadas, el potencial de colapso del suelo del distrito de ciudad Nueva puede llegar hasta el 7.70 %.

Adicionalmente a ello, entre las densidades secas de 1.30 a 1.50 gr/cm^3 y contenido menores de 30 000 ppm de sales solubles totales, el potencial de colapso es inferior al 5.00 %.

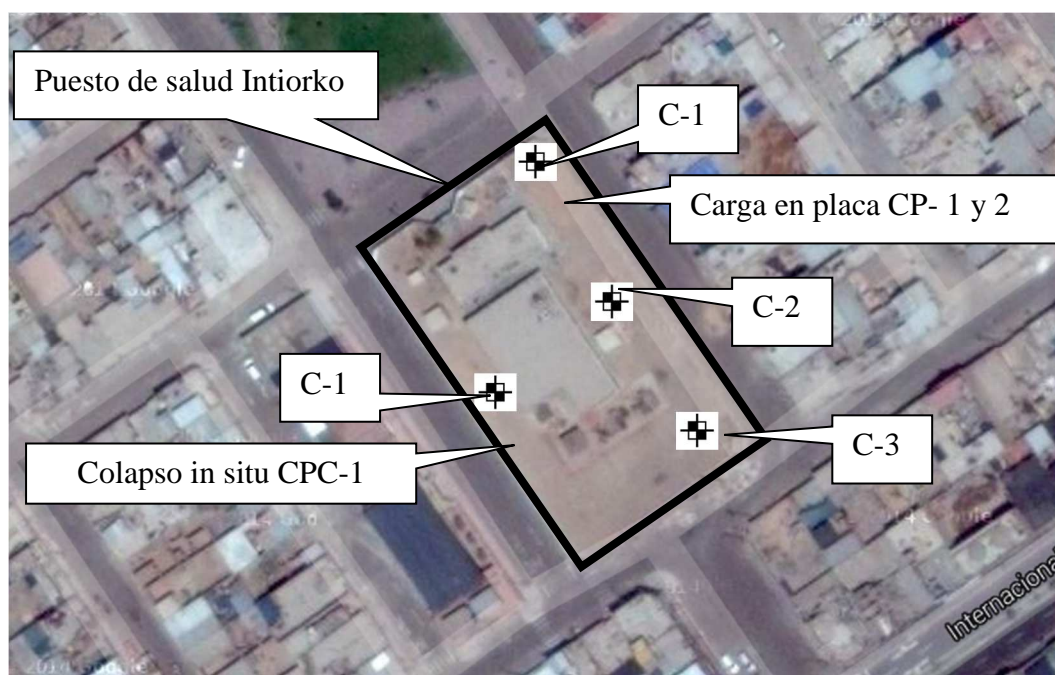
CAPITULO V

5. PROPUESTA DE METODOLOGÍA

Debido que previamente se realizó la tesis “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”, en la cual se ejecutaron tres calicatas y dos pruebas de carga en placa in situ en la misma zona de estudio (lado derecho de la edificación construida), para la presente investigación únicamente se realizará una calicata con una profundidad de 3.00 metros, con los siguiente ensayos para su caracterización física y mecánica, así como la ejecución de una prueba de carga con colapso in situ (lado izquierdo de la edificación construida), según se detalla:

Fotografía n.º 4

Ubicación de exploración de campo



Fuente: Google Maps y tesis “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”.

:

5.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Para identificar los parámetros físicos del suelo bajo estudio, se desarrollarán los siguientes ensayos estándares, los cuales permiten identificar cualitativamente suelos colapsables:

Densidad in situ

Con base a la norma NTP 339.143 ASTM D 1556, se realizará en ensayo de densidad in situ por medio del cono de arena, previamente se calibrará la densidad de la arena y el peso de la arena en el cono, conforme el anexo de dicha norma.

Contenido de humedad

Considerando la norma NTP 339.127 ASTM D 2216, se determinará el contenido de humedad natural, utilizando bolsas plásticas para almacenar la muestra e inmediatamente colocar el suelo en el horno.

Granulometría

Para el presente ensayo se redujo el suelo hasta obtener una muestra representativa, de acuerdo a la norma NTP 339.128 ASTM D422, durante el ensayo se realizará el lavado de muestra; sin embargo no es posible determinar el tamaño de las partículas menores a la malla n.º 200, debido que el laboratorio no cuenta con el hidrómetro.

Límites de Atterberg

El límite líquido y plástico, debe fue realizado tomando como referencia la norma NTP 339.129 ASTM D 4318.

5.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO

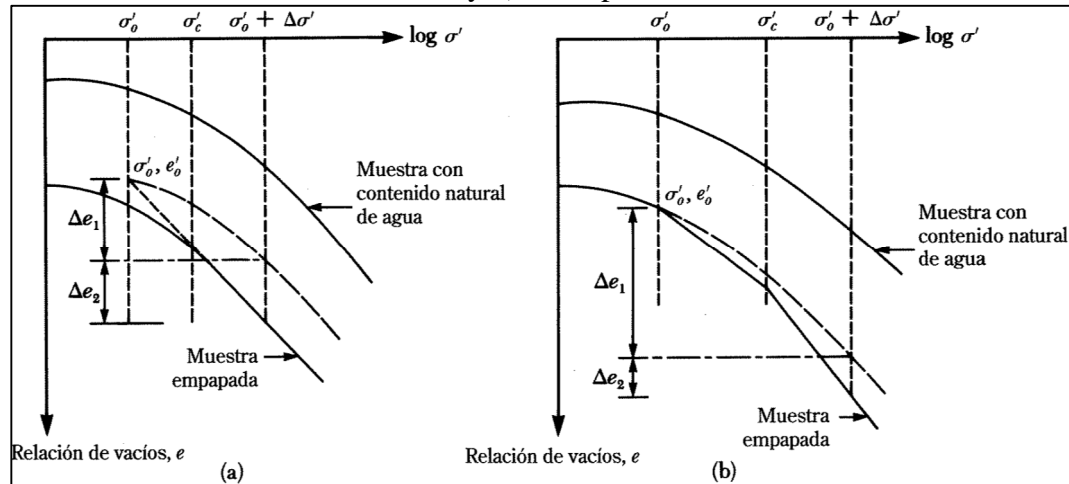
5.2.1. Método de doble edómetro - Jennings y Knight 1975

El procedimiento propuesto por Jennings y Knight en 1975, puede determinar el asentamiento de colapso de estructuras al saturarse el suelo y es conocido generalmente como el método del doble edómetro, el cual consiste en:

1. Obtener dos muestras inalteradas de suelo para probarlas en un aparato de ensayos de consolidación estándar (edómetro). Sin embargo, debido que no es posible obtener muestras inalteradas del suelos, se remodelará el suelo a su densidad natural.
2. Iniciar el ensayo de las dos muestras a una presión mínima.
3. Después se satura una muestra inundándola, mientras que la otra se mantiene con su contenido de humedad natural.
4. Después de la inundación, se continúa con la prueba en ambas muestras duplicando la carga hasta alcanzar el nivel de presión deseado. En el presente caso, se aplicarán las cargas de 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 kg/cm².
5. Trazar las gráficas relación de vacíos (e) vs logaritmo de presión ($\text{Log } \sigma'$) para ambas muestras, con los siguientes gráficos se puede determinar si el suelo es, normalmente consolidado o pre consolidado:

Gráfico n.º 14

Cálculo del asentamiento con doble prueba de odómetro: a) suelo normalmente consolidado y b) suelo preconsolidado.



Fuente: Principios de cimentaciones. Braja M. Das.

6. Calcular la presión efectiva insitu, σ'_o . Dibuje una línea vertical correspondiente a la presión σ'_o .
7. De la curva relación de vacíos (e) – logaritmo de presión ($\log \sigma'$) de la muestra saturada, determine la presión de preconsolidación σ'_c . Si $\sigma'_c / \sigma'_o = 0.80 - 1.50$, el suelo está normalmente consolidado; sin embargo, si es mayor a 1.50, éste está preconsolidado.
8. Determinar e'_o , correspondiente a la σ'_o de la curva $e - \log \sigma'$ del suelo saturado. (este procedimiento para suelos normalmente consolidados y preconsolidados se muestra en las figuras).
9. A través del punto (σ'_o y e'_o) dibujar una curva que sea similar a la curva $e - \log \sigma'$ obtenida del suelo con contenido de humedad natural.
10. Determinar el incremento de presiones, $\Delta\sigma'$, sobre el suelo causada por la construcción de la cimentación (asentamiento inmediato). Dibuje una línea vertical correspondiente a la presión $\sigma'_o + \Delta\sigma'$ en la curva $e - \log \sigma'$.
11. Determinar Δe_1 y Δe_2 . El asentamiento del suelo sin cambio en el contenido natural de agua es:

$$S_c(1) = \frac{\Delta e_1}{1 + e'_o} H$$

Y el asentamiento causado por el colapso de la estructura del suelo es:

$$Sc(2) = \frac{\Delta e_2}{1 + e_0} H$$

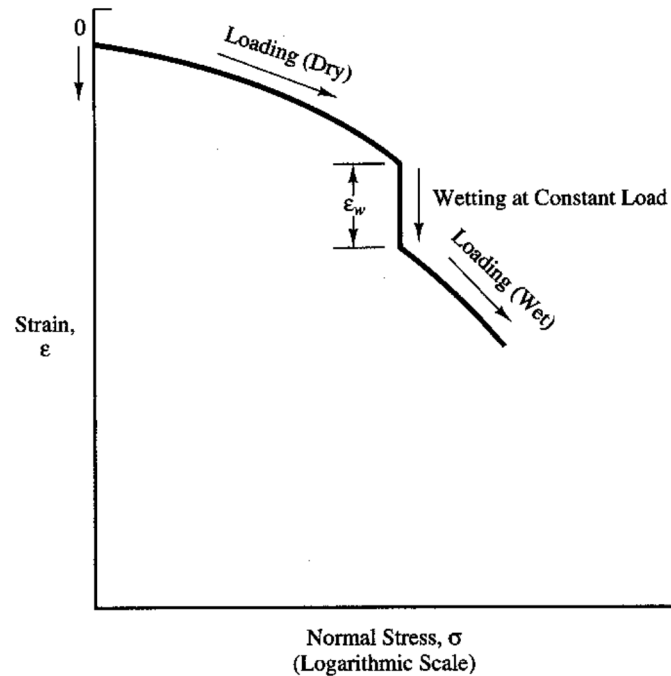
5.2.2. Método de simple edómetro - Houston 1988

Fue propuesto por Houston en 1988, en el cual únicamente utiliza una muestra de suelo, y consiste en ensayar una muestra de suelo en el equipo del edómetro y en determinado esfuerzo vertical, saturar la muestra manteniendo la carga constante, luego del cual se aprecia un asentamiento considerable en suelos colapsables, el procedimiento se describe a continuación:

1. Colocar una muestra de suelo en el edómetro, debido que no es posible obtener muestras inalteradas del suelo, se debe remoldear el suelo y obtener dos muestras.
2. Aplicar la carga de 5 kPa y colocar en cero el dial de deformación.
3. Incrementar el esfuerzo vertical (para el presente caso se utilizará 0.50, 1.00, 1.50 y 2.00 kg/cm²), después que cada asentamiento se mantenga constante.
4. Inundar el suelo, este asentamiento que sufre el suelo es el potencial de colapso, se realizará en la primera muestra en la carga de 1.00 kg/cm² y la segunda muestra en 2.00 kg/cm².
5. Cuando el asentamiento culmine, seguir con el incremento de esfuerzo vertical, la gráfica típica que corresponde a la relación de vacíos (e) y el logaritmo del esfuerzo (Log σ'), es la siguiente:

Gráfico n.º 15

Resultado típico de un ensayo de colapso usando el método del odómetro simple.



Fuente: Diseño de cimentaciones - Donald Coduto – Prentice Hall 2001.

Con base a este método se obtiene el potencial de colapso, el cual se obtiene aplicando el esfuerzo vertical de 2.00 kg/cm^2 y sumergiendo la muestra, este índice se calcula con la siguiente expresión

$$PC = \frac{\Delta e}{1 + e_0} 100$$

Cabe precisar que, para el presente caso la inundación del suelo se realizará dos ensayos por separado en 1.00 y 2.00 kg/cm^2 , con la finalidad de poder determinar el potencial de colapso en dos estados de carga diferentes.

5.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU

Tomando de referencia la norma NTP 339.153 ASTM D1194, el procedimiento a seguir es el siguiente:

Selección del área de ensayo

Una selección representativa de la ubicación del ensayo se realiza en base a los resultados de los sondajes de exploración y de los requerimientos de la estructura; sin embargo, debido que la edificación se encuentra construida, se determinó realizar el ensayo al lado izquierdo de la misma.

Excavación de prueba

Se debe limpiar y nivelar cuidadosamente el área donde se colocara la placa de carga, de modo que el área de contacto sea en suelo no disturbado y representativo, para el presente caso se debe realizar el ensayo de carga a la profundidad de cimentación y en las mismas condiciones a las que esta estará sujeta, y sobre todo encontrar a la profundidad entre la zapata proyectada y 1.50 veces el ancho de la cimentación.

En ese sentido, se excavará a una profundidad de 2.00 m., esto debido que se está asumiendo que el suelo bajo análisis se encuentra entre la profundidad de desplante D_f , el cual es asumida de 1.50 metros y la distancia Z de 1.50 metros por debajo de la zapata ($1.50 \times B$, ancho de la cimentación).

Plataforma de carga

Soportar la plataforma de carga o cajón en puntos tan distantes del área de ensayo como sea posible, preferiblemente a distancias no menores que 2.40 metros, para el presente caso se utilizó un camión volquete de 6 m³ de capacidad.

Carga muerta

Pesar y registrar como peso muerto todo el equipo usado, tal como la placa de acero, columna de transmisión de carga y gata hidráulica, que es colocada en el área previa a la aplicación de los incrementos de carga. Para el presente caso se cuenta con equipo hidráulico, el cual registra la carga aplicada al suelo.

Viga de referencia

Soportar independientemente la viga de referencia, que sostendrá los extensómetros y otros dispositivos de registro de asentamientos, tan lejos como sea posible, pero no menor que 2.40 metros desde el centro del área de carga.

Incrementos de carga

Aplicar la carga al suelo en incrementos iguales y acumulativos, no mayores que 0.96 kg/cm^2 o aproximadamente de un cuarto a un quinto de la carga de servicio ($1/4q_s - 1/5q_s$) o un décimo de la carga última $1/10q_u$. Se debe de medir cada carga y aplicar esta de manera que el suelo sea cargado en forma estática, sin impactos, fluctuaciones o excentricidades.

Intervalos de tiempo de carga

Después de la aplicación de cada incremento de carga mantener la carga constante por un intervalo de tiempo seleccionado no menor que 15 minutos. Intervalos de tiempos mayores deben ser determinados manteniendo la carga constante hasta que el asentamiento cese o hasta que la razón de asentamiento no exceda 0.025 mm/min durante 3 minutos consecutivos.

Registro de asentamiento

Mantener un registro continuo de todos los asentamientos. Realizar mediciones del asentamiento tan pronto sea posible antes y después de la aplicación de cada incremento de carga y en intervalos de tiempos iguales cuando esta es mantenida constante. Realizar por lo menos 6 mediciones en cada incremento de carga, en el presente caso se utilizarán tres equipos para medir la deformación.

Termino del ensayo

Continuar cada ensayo hasta que la carga pico sea alcanzada o hasta que la relación de incremento de carga a incremento de asentamiento resulte un mínimo. Si existe suficiente carga disponible continuar el ensayo, a menos que la falla este bien definida.

Otra aplicación que se ha estado dando al ensayo de carga directa es la determinación del potencial de colapso insitu, el cual consiste en determinar el asentamiento adicional que sufre el suelo bajo una carga de 2 kg/cm^2 , cuando éste es saturado. En este caso se mantiene el esfuerzo vertical constante y se satura el suelo hasta que el asentamiento se estabilice.

Para el presente caso, se determinó incrementar las cargas de 0.43, 0.79, 0.94 y 1.95 kg/cm^2 , produciendo la inundación del suelo a 0.94 kg/cm^2 , esto debido a la aplicación de las cargas sobre las zapatas y se procede a obtener la gráfica esfuerzo – deformación.

Algunos investigadores especifican que esta es la mejor prueba para determinar si un suelo es susceptible al colapso, inclusive la norma peruana lo recomienda. En ese sentido, el objetivo es comprobar la influencia de una posible inundación del terreno en las propiedades deformacionales y de esta forma determinar el potencial de colapso. Sin embargo su desventaja es el costo y el tiempo que involucra su ejecución.

CAPITULO VI

6. APLICACIÓN DEL MODELO PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE COLAPSO

6.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Con base a la propuesta de metodología, se determinaron las características físicas del suelo, la primera calicata es la realizada en la presente investigación y las tres siguientes fueron las ejecutadas en la Tesis “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna” ubicadas en la misma edificación y realizadas en el año 2008:

Cuadro n.º 15
Resumen de ensayos estándares.

Calicata	Estrato	Profundidad	SUCS	Densidad Natural gr/cm ³	Contenido de humedad natural %	Densidad Mínima gr/cm ³	Densidad Máxima Seca gr/cm ³	Cr %	Relación de vacíos e	Límite Líquido	Límite Plástico	Peso Específico gr/cm ³	Sales Solubles Totales PPM
C-01	E - 02	2.00	SM	1.41	2.01	1.37	1.69	18%	88%	21%	NP	2.62	--
	E - 02	3.00	SM	1.43	1.89	1.37	1.71	22%	88%	22%	NP	2.63	2 910
C-01	E - 01	0.30	SM	1.41	2.08	1.38	1.66	11%	88%	22%	NP	2.59	14 040
	E - 02	0.90	SM	1.52	1.76	1.38	1.70	49%	75%	26%	NP	2.61	23 040
C-02	E - 01	0.70	SM	1.40	4.90	1.38	-	-	88%	23%	NP	2.51	14 680
	E - 02	0.80	SM	1.43	1.25	1.38	1.69	18%	88%	28%	NP	2.66	28 640
	E - 03	1.10	SM	1.53	1.48	1.38	1.68	55%	75%	26%	NP	2.65	32 800
C-03	E - 01	0.30	SM	1.39	3.20	1.23	1.68	43%	89%	24%	NP	2.56	15 120
	E - 02	0.90	SM	1.49	3.21	1.23	1.69	63%	72%	27%	NP	2.50	27 560

Fuente: Ensayos estándares y Sales Solubles Totales, Apéndices A-01, 02, 03, 04, 05, 06, 07 y 08.

Como se puede apreciar del cuadro resumen anterior, el suelo típico de

la zona de estudio, tal como se detalla en los perfiles estratigráficos de las exploraciones realizadas (Apéndice A-01), se presenta a 1.00 metro de profundidad, el cual contiene grumos compuestos de arena, limo y sales de aproximadamente de 1" a 2" de diámetro, suelo que según la clasificación SUCS es Arena Limosa SM (Apéndice A-02) no plástica.

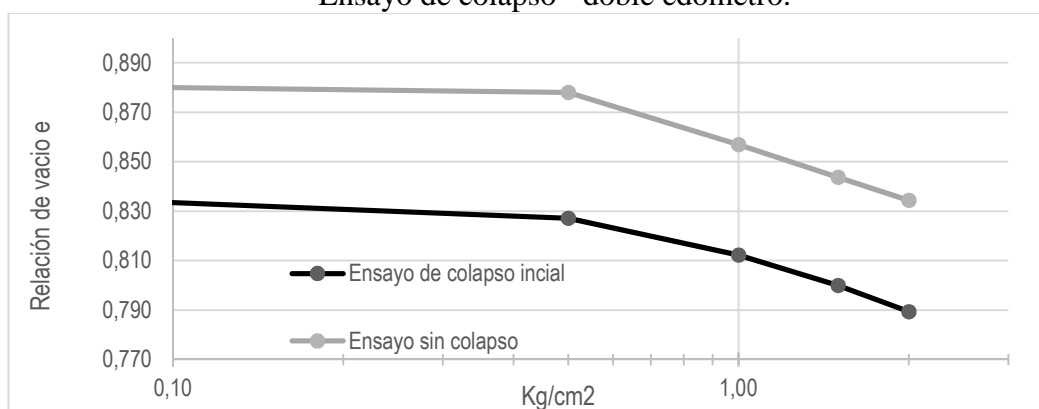
Así mismo, al nivel de cimentación la densidad natural seca va desde 1.41 gr/cm^3 a 1.53 gr/cm^3 (Apéndice A-03), límite líquido entre 21 % y 27 % (Apéndice A-06) y contenido de humedad de 1.76 % a 3.21 % (Apéndice A-03), el cual es típico de suelos areno limosos colapsables.

6.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO

6.2.1. Método de doble edómetro

Aplicando el método descrito con dos muestras, la primera en su estado natural (Apéndice A-09) y la segunda con humedecimiento (saturación) inicial (Apéndice A-10), se obtuvo la siguiente gráfica, de la cual se aprecia que ambas curvas son casi paralelas entre sí.

Gráfico n.º 16
Ensayo de colapso - doble edómetro.



Ensayo con colapso inicial		Ensayo sin colapso	
Carga kg/cm²	Relación de vacíos e	Carga kg/cm²	Relación de vacíos e
0.01	0.883	0.01	0.883
0.01	0.842	0.50	0.878
0.50	0.827	1.00	0.857
1.00	0.812	1.50	0.844
1.50	0.800	2.00	0.834
2.00	0.789		

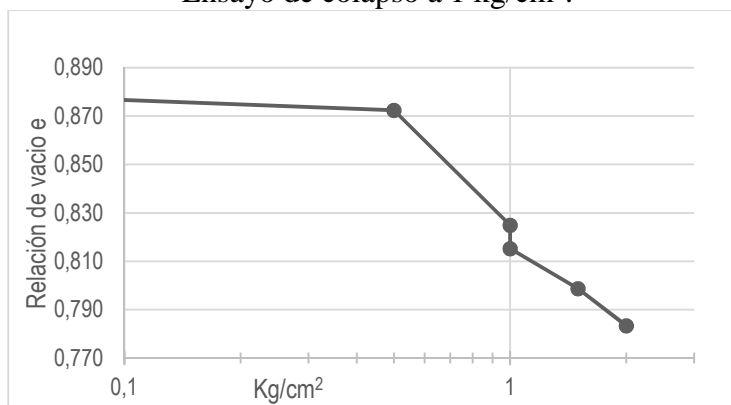
Fuente: Ensayo de colapso del doble edómetro.

6.2.2. Método de simple edómetro

Los ensayos especiales que se realizaron fueron: colapso unidireccional en 1.00 kg/cm^2 (Apéndice A-11) y 2.00 kg/cm^2 (Apéndice A-09).

Al respecto, el primero de ello, se realizó con muestra remoldeada a densidad natural de 1.45 gr/cm^3 , iniciando el ensayo a 0.50 kg/cm^2 e incrementando a 1.00 kg/cm^2 , luego de mantenerse el asentamiento, se humedeció la muestra y posteriormente se aumentó la carga a 1.50 kg/cm^2 y 2.00 kg/cm^2 , obteniendo la siguientes gráfica relación de vacíos (e) – carga kg/cm^2 , según se aprecia:

Gráfico n.º 17
Ensayo de colapso a 1 kg/cm^2 .

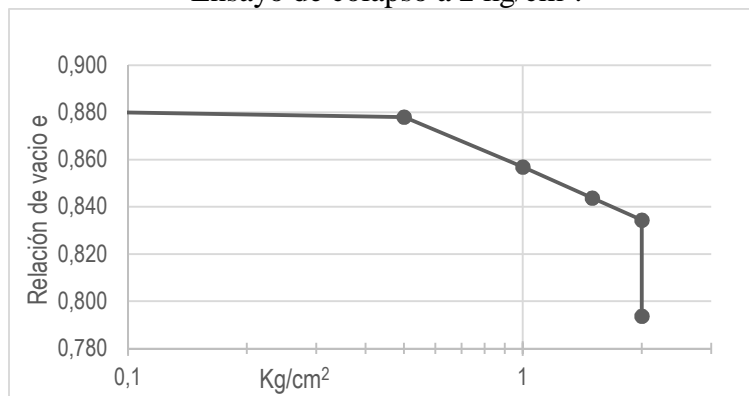


Carga kg/cm^2	Relación de vacíos e
0,01	0,883
0,50	0,872
1,00	0,825
1,00 – Saturación de muestra	0,815
1,50	0,799
2,00	0,783

Fuente: Ensayo de colapso.

Así mismo, se realizó el mismo ensayo, pero el humedecimiento (colapso) del suelo se aplicó en la carga de 2 kg/cm^2 , obteniendo el siguiente gráfico:

Gráfico n.º 18
Ensayo de colapso a 2 kg/cm².



Carga kg/cm ²	Relación de vacíos e
0.01	0.883
0.50	0.878
1.00	0.857
1.50	0.844
2.00	0.834
2.00 – Saturación de muestra	0.794

Fuente: Ensayo de colapso.

6.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU

Para el desarrollo del colapso in situ (Apéndice A-12), se optó por realizar el ensayo con carga en placa in situ de 0.30 metros de diámetro, a una profundidad de 2.00 metros, correspondiente a la zona activa de la cimentación de la edificación, y saturación del suelo al esfuerzo cercano a 1 kg/cm², que es la capacidad de carga admisible, del cual se obtuvo sus respectivas gráficas de esfuerzo deformación por cada dial utilizado, y así el promedio de asentamiento por cada carga aplicada, según se aprecia:

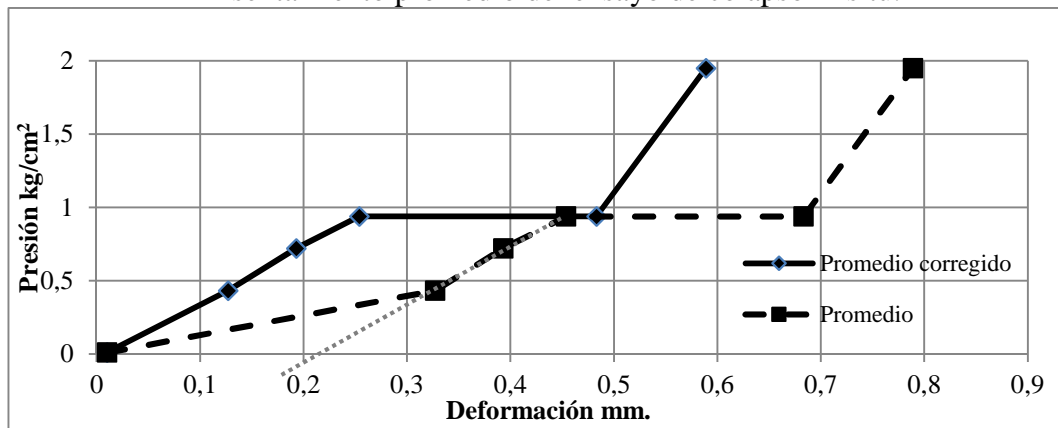
Cuadro n.º 16
Resumen de resultados del ensayo de colapso in situ.

Dial-01		Dial-02		Dial-03		Promedio		Promedio corregido	
Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	mm	Kg/cm ²	mm
0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
0.43	0.23	0.43	0.35	0.43	0.40	0.43	0.33	0.43	0.13
0.72	0.33	0.72	0.43	0.72	0.42	0.72	0.39	0.72	0.19
0.94	0.41	0.94	0.51	0.94	0.45	0.94	0.45	0.94	0.25
0.94	0.53	0.94	0.89	0.94	0.63	0.94	0.68	0.94	0.48
1.95	0.56	1.95	1.04	1.95	0.77	1.95	0.79	1.95	0.59

Fuente: Ensayo de colapso in situ.

Como se aprecia del siguiente gráfico, la curva presión vs deformación de las mediciones durante el ensayo in situ, no se advierte la fracción inicial lineal, motivo por el cual se corrigió los datos obtenidos, según se aprecia:

Gráfico n.º 19
Asentamiento promedio del ensayo de colapso in situ.



Fuente: Ensayo de colapso in situ.

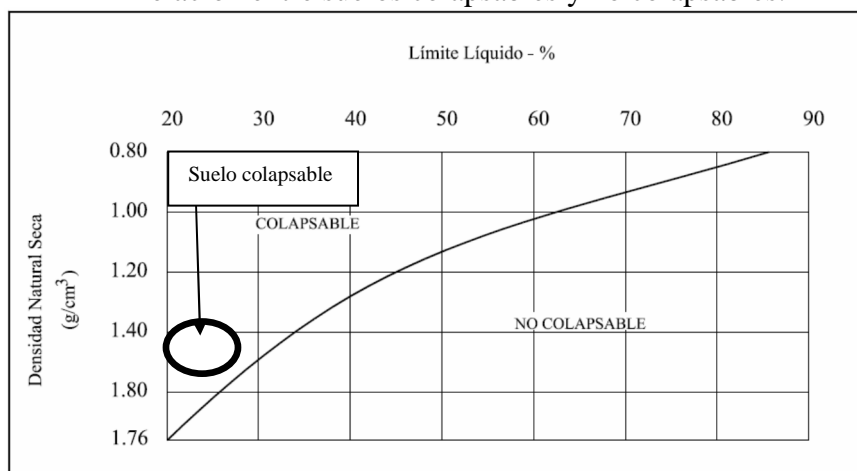
CAPITULO VII

7. VALIDACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA DETERMINAR EL POTENCIAL DE COLAPSO

7.1. PARÁMETROS FÍSICOS

Al nivel de cimentación la densidad natural seca se encuentra, desde 1.41 gr/cm^3 a 1.53 gr/cm^3 , límite líquido entre 21 % y 27 % y contenido de humedad de 1.76 % a 3.21 %, parámetros físicos que son típico de suelos areno limosos colapsables; en ese sentido, considerando el gráfico propuesto por Holtz y Hilf y definido por la norma peruana E 0.50 Suelos y Cimentaciones, el presente suelo es **colapsable**, según se aprecia:

Gráfico n.º 20
Relación entre suelos colapsables y no colapsables.



Fuente: Norma técnica E 0.50 Suelos y cimentaciones, figura n.º 6.1.2. Criterios del potencial de colapso.

Igualmente, las densidades mínima (Apéndice A-04) y máximas (Apéndice A-05) son entre 1.23 gr/cm^3 y 1.71 gr/cm^3 respectivamente, obteniendo densidades relativas entre el 18% al 63% y relación de vacíos entre 0.75 y 0.89, siendo estos últimos elevados.

En ese sentido, utilizando las fórmulas propuestas por Denisov (Factor K), Gibbs (factor R) y código soviético (factor L), se determinó cualitativamente que el suelo es colapsable, según se detalla:

Cuadro n.º 17
Resumen de factores de suelos colapsables.

Descripción	Nomenclatura	Uni.	CALICATA 01		CALICATA 01		CALICATA 02			CALICATA 03	
			E-02 - 2,00 m.	E-02 - 3,00 m.	E-01	E-02	E-01	E-02	E-03	E-01	E-02
Volumen de Sólidos	$V_s = \frac{W_s}{\gamma_s}$	cc	38,17	38,02	38,61	38,31	39,89	37,64	37,72	39,12	40,06
Volumen de Agua	$V_w = \frac{W_w}{(\gamma_o)}$	cc	2,00	2,00	2,08	1,76	4,90	1,25	1,48	3,20	3,21
Volumen de Vacíos	$V_v = V_m - V_s$	cc	33,66	33,31	33,79	28,63	35,04	33,17	28,61	35,12	29,20
Relación de Vacíos	$e = \frac{V_v}{V_s}$	-	0,88	0,88	0,88	0,75	0,88	0,88	0,76	0,90	0,73
Grado de Saturación	$G_s\% = \frac{V_w}{V_v} \times 100$	-	5,94%	6,00%	6,16%	6,15%	13,98%	3,77%	5,17%	9,11%	10,99%
Límite líquido	LL	-	0,21	0,22	0,22	0,26	0,23	0,28	0,26	0,24	0,27
Peso de agua al Límite líquido	WwLL	gr	21,00	22,00	22,00	26,00	23,00	28,00	26,00	24,00	27,00
Volumen de agua al Límite líquido	VwLL	cc	21,00	22,00	22,00	26,00	23,00	28,00	26,00	24,00	27,00
Relación de vacíos al Límite líquido	eLL		0,55	0,58	0,57	0,68	0,58	0,74	0,69	0,61	0,67
Factor K K=0.50 a 0.75 muy colapsable. K=1.00 no colapsable. K=1.50 a 2.00 no colapsa.	eLL/e		0,624	0,661	0,651	0,908	0,656	0,844	0,909	0,683	0,925
Contenido de humedad en saturación	W% (sat)		0,337	0,333	0,338	0,286	0,350	0,332	0,286	0,351	0,292
Factor R Si es mayor a 1, el suelo colapsa	W% (sat) / LL		1,603	1,514	1,536	1,101	1,523	1,185	1,100	1,463	1,082
Factor L Para un grado de saturación natural menor que 60%, si L > 0.10, se trata de un suelo colapsable.	$L = \frac{e_0 - e_L}{1 + e_0}$		0,176	0,159	0,163	0,039	0,161	0,073	0,039	0,150	0,032

Fuente: Ensayos estándares.

Otro factor muy importante y que contribuye a que este suelo es colapsable, es el alto y variable contenido de sales de la zona de estudios alrededor de 27 800 ppm, los cuales cementan las partículas sólidas del suelo, proporcionando resistencia adicional al esfuerzo cortante del suelo, que luego de humedecido, este pierde su resistencia y con ello ocasiona asentamientos diferenciales; esto se apreció en campo, seleccionando una parte de suelo cementado (del cual se identificaron tamaños de 1 a 2 pulgadas de diámetro) e introduciéndolo en un recipiente con agua, el cual después de

aproximadamente una hora, es disuelto totalmente, según se advierte:

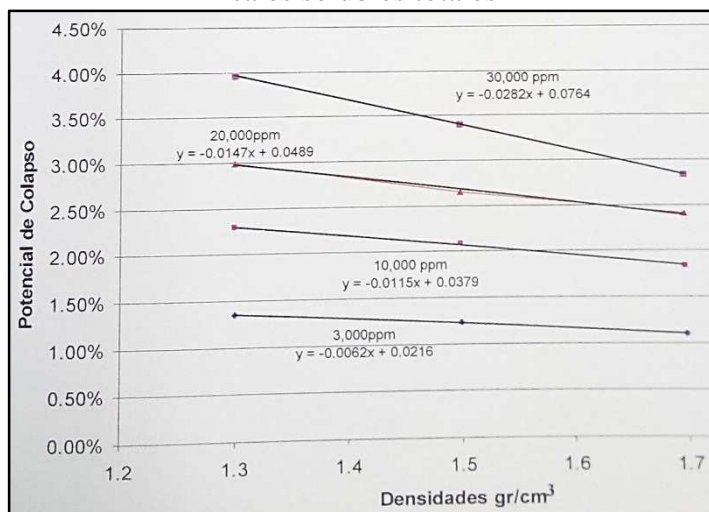
Fotografía n.º 5
Comparación de suelo colapsable.



Fuente: Visita de campo de marzo de 2015.

Adicionalmente a ello, en la tesis *“Influencia del contenido de sales solubles totales en el potencial de colapso del limo arenoso en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna”*, se concluyó que: *“(…) el potencial de colapso del suelo limo arenoso de la Institución Educativa (...) es directamente proporcional a variaciones en el contenido de sales solubles. Según la siguiente gráfica:”*

Gráfico n.º 21
Variación del potencial de colapso con el incremento del contenido de sales solubles totales



Fuente: Figura N° 25 Potencial de colapso vs densidades.

En ese sentido, por las características físicas y químicas del suelo es colapsable.

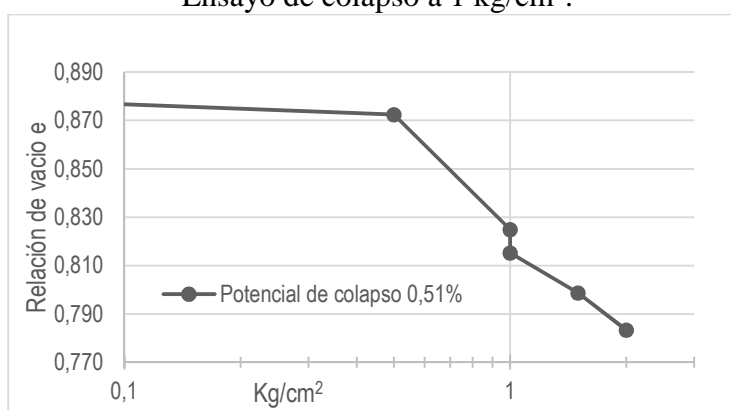
7.2. ENSAYO DE COLAPSO EN LABORATORIO

7.2.1. Método de simple edómetro

Tal como se detalló, el colapso unidireccional se realizó a 1.00 kg/cm² y 2.00 kg/cm².

En el primer caso se determinó el potencial de colapso 0.51 %, es decir, según lo propuesto por Clemence y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones, la severidad del problema es catalogado como “Ningún Problema” al ser menor al 1%; por lo que, el presente suelo con esta magnitud de esfuerzo aplicado es no colapsable, según se aprecia:

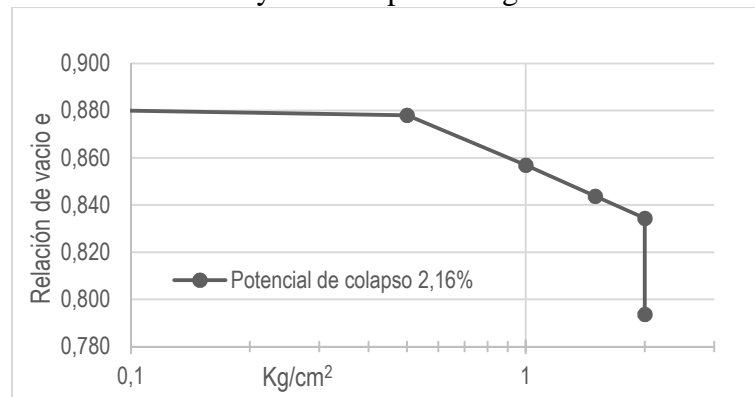
Gráfico n.º 22
Ensayo de colapso a 1 kg/cm².



Fuente: Ensayo de colapso.

En el segundo caso, al humedecer (colapso) el suelo durante la carga de 2.00 kg/cm², se determinó el potencial de colapso de 2.16 %, que según lo propuesto por Clemence y Finbarr y definido en la norma peruana E0.50 Suelos y Cimentaciones, corresponde a “Problema Moderado”; por lo que para la presente carga de esfuerzo, el suelo es colapsable, según se aprecia:

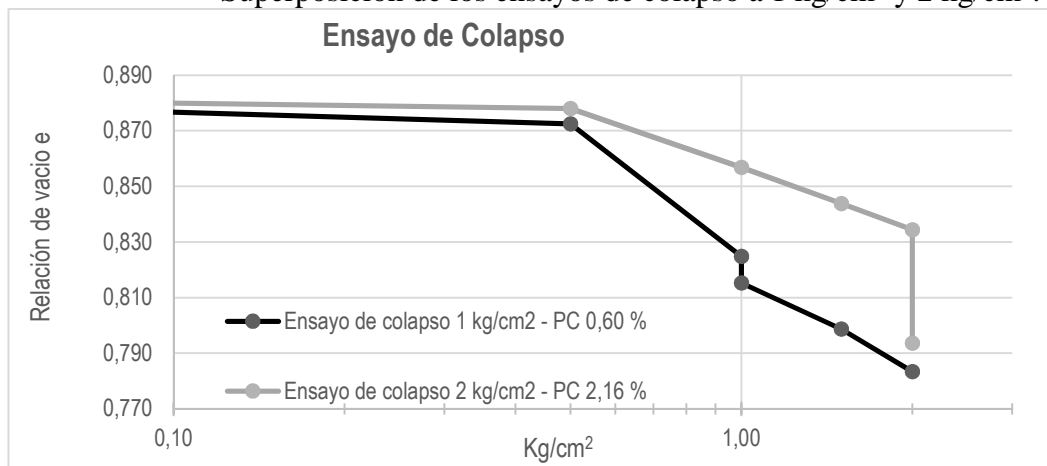
Gráfico n.º 23
Ensayo de colapso a 2 kg/cm².



Fuente: Ensayo de colapso.

Ahora bien, superponiendo ambos ensayos, se aprecia que la curva de relación de vacíos vs esfuerzo, no son paralelas entre las cargas de 0.50 kg/cm² a 1.00 kg/cm²; sin embargo, entre las cargas de 1.00 a 2.00 kg/cm², si son paralelas, según se aprecia:

Gráfico n.º 24
Superposición de los ensayos de colapso a 1 kg/cm² y 2 kg/cm².



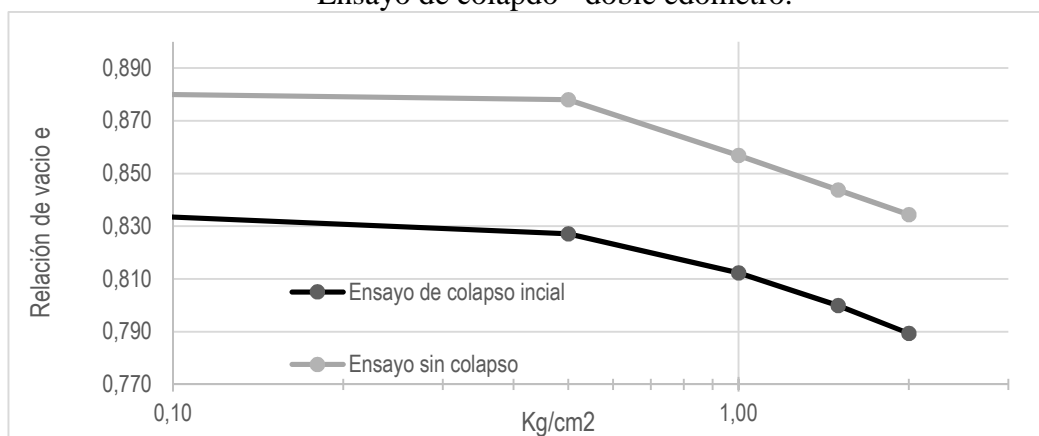
Fuente: Ensayo de colapso.

Adicionalmente a ello, las relaciones de vacíos finales son similares para ambos ensayos.

7.2.2. Método de doble edómetro

Respecto a este método, se determinó la gráfica relación de vacíos – presión para dos muestras, la primera en estado natural y la segunda con colapso inicial, según se aprecia.

Gráfico n.º 25
Ensayo de colapdo - doble edómetro.



Fuente: Ensayo de colapso del doble edómetro.

Con base a estas curvas, para una zapata cuadrada de 1.20 m. de lado con capacidad admisible de 1 kg/cm² y 2 kg/cm², profundidad de desplante 2 m. y asumiendo una profundidad de análisis de 2.40 m., se procedió calcular los asentamientos elástico, $Sc_{(1)}$, y por colapso, $Sc_{(2)}$. Determinando que el rango del asentamiento por colapso es de 68% a 89% del asentamiento elástico; además que, el asentamiento por colapso se incrementa conforme aumenta la presión sobre el suelo, es decir cuanto mayor capacidad admisible se considere mayor será el asentamiento por colapso, según se resume:

Cuadro n.º 18
Asentamiento elástico y de colapso con esfuerzos de 1 kg/cm² y 2 kg/cm².

Capacidad Admisible	Sc (1) m.	Sc (2) m.	Relación Sc(2)/Sc(1)
1 kg/cm ²	0.022	0.020	89%
2 kg/cm ²	0.036	0.025	68%

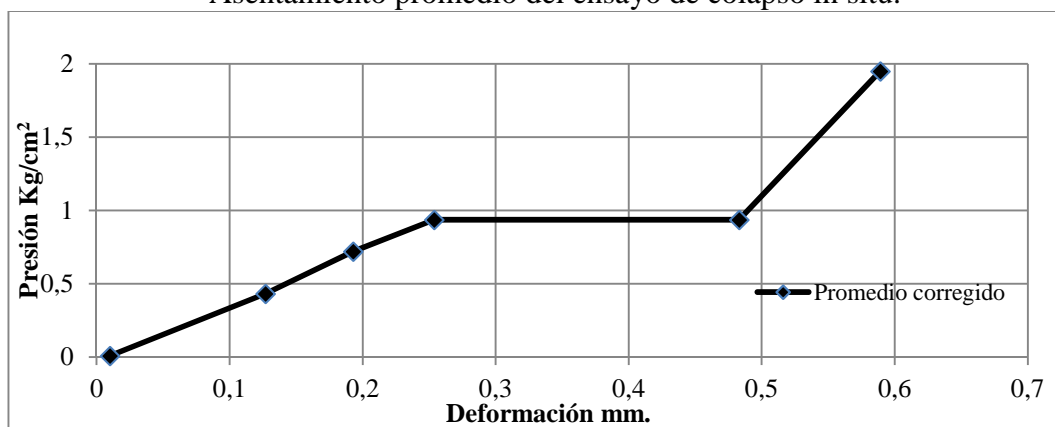
Fuente: Elaboración propia, Apéndice A-13 y A-14.

Es de precisar que, este asentamiento es obtenido asumiendo que únicamente existe asentamiento vertical y el estrato afectado por el colapso es de 2.40 m.

7.3. ENSAYO DE COLAPSO IN SITU

De la curva presión vs deformación del ensayo in situ, se determinó el asentamiento elástico de 0.25 mm. para la carga de 0.94 kg/cm², y luego de la aplicación del colapso se incrementó en 0.23 mm., es decir el asentamiento por colapso es cercano al 90 % del asentamiento elástico, según se aprecia:

Gráfico n.º 26
Asentamiento promedio del ensayo de colapso in situ.



Fuente: Ensayo de colapso in situ.

Adicionalmente a ello, en la gráfica se advierte un cambio de pendiente entre el suelo antes y después del colapso y/o saturación del suelo.

De otro lado, en la tesis precedente³ por medio de la prueba de carga in situ se obtuvieron dos curvas esfuerzo deformación del suelo en estado natural⁴, en los cuales se advirtió un comportamiento lineal hasta aproximadamente 7 kg/cm². Ahora bien, al superponer estas curvas con la prueba de carga in situ con colapso de la presente investigación, se advierte que:

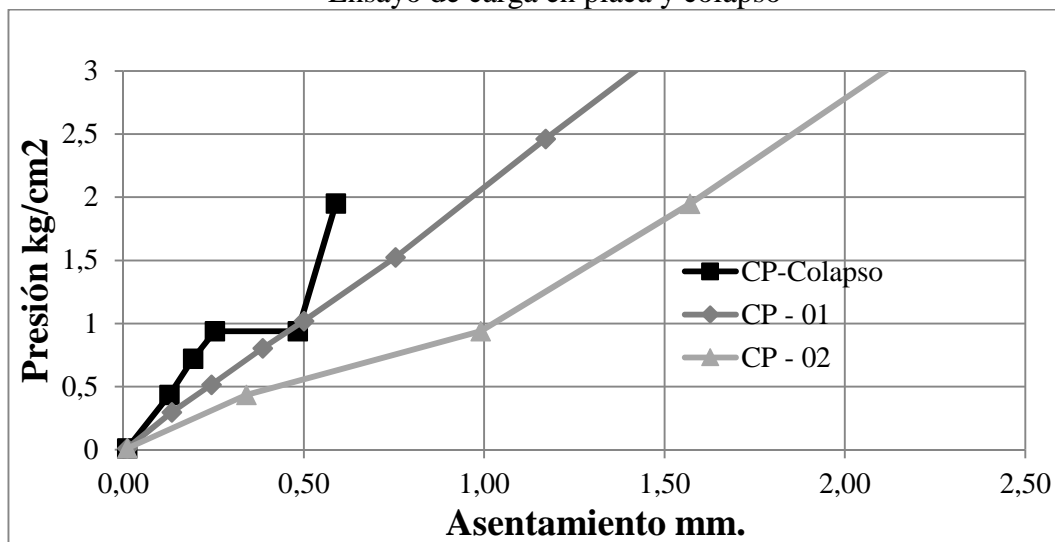
El último ensayo (CP-Colapso) tiene una mayor pendiente en la zona previa al colapso que los dos ensayos anteriores (CP-01 y CP-02), lo que equivale a un mayor módulo de elasticidad y parámetros de resistencia al

³ Fuente bibliográfica n.º 14: Tesis: “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko - Asociación 28 de Agosto - Ciudad Nueva”

⁴ Fuente bibliográfica n.º 14: Tesis: “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko - Asociación 28 de Agosto - Ciudad Nueva”, ensayos realizados a 1,50 m. de profundidad, densidad seca 1,43 gr/cm³, módulo de elasticidad de 440 kg/cm², ángulo de fricción de 30°.

esfuerzo cortante, esto probablemente obedece a la mayor profundidad de análisis, cambio de contenido de sales y/o densidad in situ, según se aprecia:

Gráfico n.º 27
Ensayo de carga en placa y colapso



Por lo que, se aprecia variaciones de las características físicas, mecánicas y químicas de la zona de estudio.

7.4. ANÁLISIS Y COMPROBACIÓN DE HIPOTESIS (DISCUSIÓN)

Considerando las características físicas del suelo bajo análisis, se determinó cualitativamente que el suelo es colapsable, debido básicamente a su baja densidad natural y por tanto elevada relación de vacíos, reducido límite líquido, así como su variable contenido de sales solubles totales, el cual es directamente proporcional al potencial de colapso.

Así mismo, los ensayos de colapso unidimensional determinaron que el suelo presenta problema moderado cuando en la presión de 2.00 kg/cm² se produce el colapso; mientras que no presenta problemas cuando el colapso se produce en 1.00 kg/cm².

Respecto al asentamiento producido por el colapso, tanto en análisis teóricos (método del doble edómetro) y ensayos in situ (prueba de carga con colaps), se advierte que el asentamiento correspondiente al colapso, se

encuentra entre el 69 y 90 % del asentamiento inmediato.

Adicionalmente a ello, Terzaghi y Peck en 1967 propusieron la siguiente expresión para determinar los asentamientos inmediatos y/o elásticos de cimentaciones en función al ensayo de carga directa:

$$S_F = S_P * \left(\frac{2 * B_F}{B_F + B_P} \right)^2$$

Bf	=	Ancho de la zapata
Bp	=	Ancho de la placa
Sp	=	Asentamiento de placa
Sf	=	Asentamiento de la zapata

En ese sentido, con base al ensayo de carga en placa se determinó el asentamiento inmediato en función de la prueba de carga directa, en zapatas cuadradas típicas de 1,20 metros de lado, con capacidades admisibles de 1.00, 1.50 y 2.00 kg/cm².

Adicionalmente a ello, considerando que la norma técnica peruana E.050 Suelos y Cimentaciones, define que el asentamiento inmediato diferencial es de 75% del asentamiento inmediato y/o elástico, y que el asentamiento debido al colapso del suelo es de alrededor del 90% del asentamiento inmediato, se determinó que:

- La distorsión (1/695) de la zapata con capacidad de carga admisible de 1.00 kg/cm² sin colapso, es menor al límite propuesto por la norma técnica peruana para edificios en los que no se permiten grietas (1/300). Mientras que considerando el colapso del suelo, la distorsión se ve reducida a 1/316, límite en el cual se debe esperar grietas, sin daño estructural.
- La distorsión de las zapatas con capacidad de carga admisible de 1.50 y 2.00 kg/cm² sin y con colapso, son menores a los límites propuestos por la norma, al sobrepasar 1/300 que corresponde al límite en que se debe esperar las primeras grietas en paredes y al estar muy cercano a 1/150 que representa el límite en el que se debe esperar daño estructural en edificios

convencionales⁵, según se resume:

Cuadro n.º 19

Asentamiento elástico, colapso y diferencial en función al ensayo de carga directa.

Carga Admisible qa kg/cm ²	Asentamiento en función de la Prueba de Carga Directa		Asen. Elástico diferencial cm. (3)=0.75*(2)	Asen. Debido a Colapso cm. (4)=0.90*(2)	Asen. Diferencial total cm.	Distorsión 1 /
	Placa Sp cm. (1)	Cimentación Sz cm. (2)				
1.00 sin colapso	0.267	0.672	0.504		0.504	695
1.00 con colapso	0.267	0.672	0.504	0.604	1.108	316
1.50 sin colapso	0.400	1.007	0.755		0.755	463
1.50 con colapso	0.400	1.007	0.755	0.907	1.662	211
2.00 sin colapso	0.533	1.343	1.007		1.007	347
2.00 con colapso	0.533	1.343	1.007	1.209	2.216	158

Fuente: Elaboración propia

En ese sentido, se advierte que guarda proporcionalidad con lo observado en laboratorio, al realizarse el humedecimiento a un esfuerzo de 1.00 kg/cm², en el cual se obtuvo que el suelo no colapsa, frente al esfuerzo de 2.00 kg/cm², en el cual el colapso es moderado.

En ese sentido, si consideramos que sobre la zapata se aplicará una carga de 1.00 kg/cm², el asentamiento por colapso no causará distorsiones mayores a los máximos permitidos; sin embargo con forme aumentamos la carga sobre la zapata, es decir 2.00 kg/cm², el asentamiento por colapso causaría distorsiones cercanos los límites permitidos por la norma.

Motivo por el cual, el colapso del suelo del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna es leve, debido que las cargas soportadas por las zapatas son menores de 1.00 kg/cm².

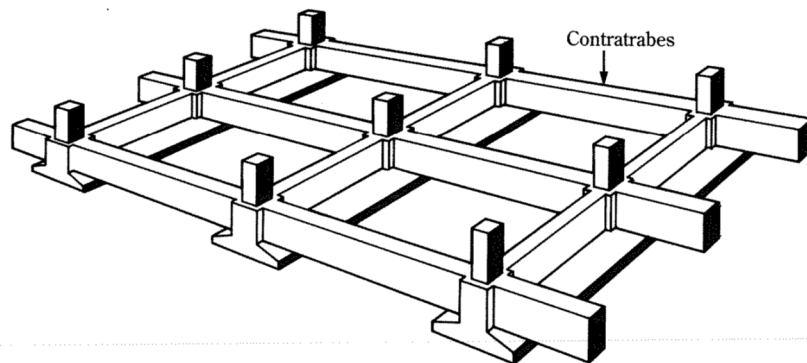
Por lo que, no se recomienda capacidades admisibles mayores a 1.00 kg/cm²; asimismo para este tipo de problema especial del suelo, se recomienda

⁵ Fuente bibliográfica n.º 19: Norma técnica peruana E0.50 Suelos y cimentaciones, Tabla n.º 8 Distorsión angular.

el uso de materiales resistentes al ataque químico y vigas de cimentación en ambas direcciones y rigidizar en lo posible la menor dirección, con el fin de contrarrestar el deterioro prematuro de la subestructura y disminuir los asentamientos diferenciales (que pueden ser causados por el asentamiento por colapso del suelo) en la cimentación en las posibilidades de la economía, según el esquema propuesto por Clemense y Finbarr.

Gráfico n.º 28

Propuesta de cimentación por Clemense y Finbarr, para suelos colapsables



CAPITULO VIII

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

1. El tipo de suelo del del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, es arena limosa suelta, cuyo potencial de colapso del suelo para capacidad de carga admisible de 1.00 kg/cm^2 es moderado.
2. Las propiedades físicas, mecánicas y químicas del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, contribuye en el potencial de colapso moderado, debido que:
 - Se identificó visualmente y químicamente material cementante.
 - La densidad natural seca, contenido de humedad y límite líquido son bajos.
 - La relación de vacíos y cantidad de sales solubles totales son elevados.
 - El suelo es colapsable, según la correlación entre la densidad natural seca y límite líquido de la norma técnica E.050 Suelos y cimentaciones, así como los factores K, R y L, propuestos por diferentes autores.
 - El potencial de colapso no sobrepasa el 5% permitido por la norma técnica E.050.
3. Con base al ensayo de colapso insitu en el suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, se determinó que el potencial de colapso es moderado, debido que:
 - El asentamiento generado por el colapso del suelo, es alrededor el 90% del asentamiento inmediato.
 - La distorsión generada por el asentamiento inmediato y el producido por el colapso, son menores a $1/150$ y $1/300$.
4. Pese que el suelo del suelo del Puesto de Salud Intiorko, distrito de Ciudad Nueva, departamento de Tacna, tiene la misma clasificación y tanto la densidad natural y contenido de humedad son similares, las propiedades

mecánicas y químicas son muy variables debido a las siguientes diferencias:

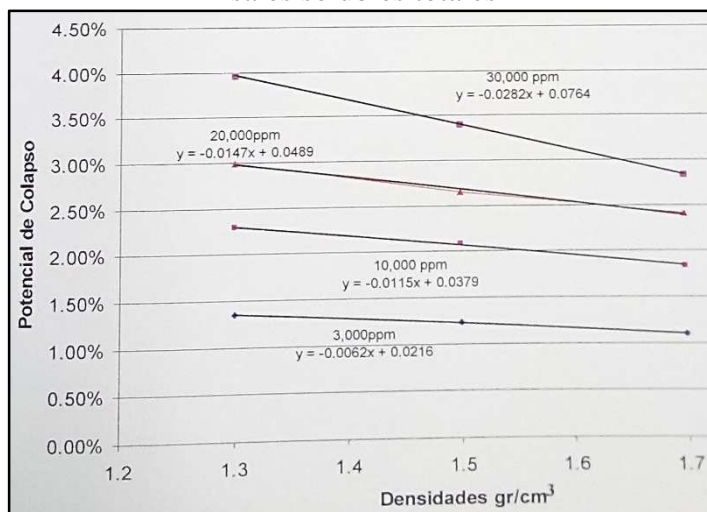
- La curva esfuerzo deformación del ensayo in-situ de placa a presiones menores de 2 kg/cm^2 de presente investigación tiene mayor pendiente que la investigación precedente, lo que ocasiona que las propiedades de resistencia mecánicas son mayores a las obtenidas anteriormente.
- Las propiedades químicas, específicamente la cantidad de sales solubles totales obtenidas en la presente investigación difiere de las obtenidas de la anterior investigación, lo que hace suponer que la distribución de estas en el presente suelo no es homogénea y por el contrario focalizadas.

8.2. RECOMENDACIONES

1. Para el diseño de cimentaciones de todo proyecto de mediana envergadura, realizar estudio en detalle de mecánica de suelos, los cuales deben tener como mínimo los ensayos estándares como densidad in situ seca y límite líquido y utilizar la gráfica propuesta por Holtz y Hilf y definido por la norma técnica peruana E 0.50 Suelos y Cimentaciones, ya que esta es aplicable a este tipo de suelo areno limoso, para determinar la necesidad de realizar mayor análisis del posible colapso del suelo.
2. No se recomienda la gráfica propuesta por Holtz y Hilf y definido por la norma técnica peruana E.050 Suelos y Cimentaciones para suelos gravosos y/o con bolonería, debido a que alta densidad puede ocultar un posible potencial de colapso, tal como ocurre en algunas zonas del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa, en la ciudad de Tacna.
3. Utilizar como información preliminar el potencial de colapso determinado con diferentes densidades y contenidos de sales solubles totales, de la investigación “Influencia del contenido de sales solubles totales en el potencial de colapso del limo arenoso en la institución educativa Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna”:

Gráfico n.º 29

Variación del potencial de colapso con la densidad seca y contenido de sales solubles totales



Fuente: Figura N° 25 Potencial de colapso vs densidades.

4. Utilizar como información preliminar los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del suelo determinado con diferentes densidades y contenidos de sales solubles totales, de la investigación “Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa. Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna”:

Cuadro n.º 20

Variación de los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante con respecto al contenido de sales solubles totales y densidad seca

TERRENO NATURAL (6000 PPM)				
Densidad (gr/cc)ta	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.275	0.272	0.277	0.277
Angulo de fricción (°)	22.12	22.14	22.03	22.89
TERRENO ALTERADO (10 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.281	0.280	0.296	0.294
Angulo de fricción (°)	25.00	25.64	25.6	25.79
TERRENO ALTERADO (20 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.312	0.316	0.328	0.329
Angulo de fricción (°)	25.62	26.35	27.02	27.12

TERRENO ALTERADO (30 000 PPM)				
Densidad (gr/cc)	1.30	1.40	1.50	1.60
Cohesión (kg/cm ²)	0.315	0.329	0.335	0.328
Angulo de fricción (°)	29.85	29.51	29.79	30.08

Fuente: Tabla n.º 19 Resumen de ensayo de corte directo.

5. A los futuros tesistas e investigadores realizar estudios complementarios con el suelo limo arenoso del distrito de Ciudad Nueva de Colapso con muestras de mayor tamaño, con la finalidad de analizar las variaciones del potencial de colapso.
6. Realizar análisis químico de las muestras de suelo, cuando se intuya la presencia de sales, sulfatos y/o cloruros, con el fin de recomendar las características de los materiales a utilizar para la subestructura; así como, prestar especial atención en la proyección, construcción y mantenimiento de las áreas verdes e instalaciones sanitarias, con el fin de minimizar la probabilidad que la filtración del agua llegue al nivel de la cimentación, ya que podría producir asentamientos diferenciales y ataques químicos importantes a la subestructura, en caso se presentasen estos inconvenientes se recomienda el uso de cementos resistentes al ataque de sulfatos, así como tomar especial atención en el proceso constructivo de la subestructura, siguiendo los lineamientos del estudio de mecánica de suelos para su construcción.
7. Se recomienda el uso del ensayo de carga en placa, debido a que nos permite conocer el comportamiento esfuerzo – deformación del suelo en estado natural, pudiendo determinar el esfuerzo para el cual las deformaciones son proporcionales a los esfuerzos y asentamiento debido al colapso de la estructura del suelo por incremento del contenido de humedad.
8. El uso de vigas de cimentación o cimentaciones conectadas para contrarrestar los posibles asentamientos producidos por la presencia de humedad en edificaciones y redistribuir los esfuerzos.
9. Difusión de las investigaciones técnicas realizadas en la Universidad Privada de Tacna, a través de boletines, folletos, charlas u otros medio, a la población vulnerable y sus autoridades.

BIBLIOGRAFIA

1. AMER ALI, State of the Art Review of Collapsible Soil, (2000).
2. ALVA HURTADO, Diseño de cimentaciones superficiales. Instituto de la construcción y gerencia.
3. ALVARES Y PICCARDO, Estudio de arenas colapsables de la región industrial de Matanzas. (1988).
4. BADILLO y RODRIGUEZ, Mecánica de suelos tomo I y Tomo II. (1985) Editorial Limusa.
5. BRAJA M. DAS, Cimentaciones. (2001) Editorial THOMSON
6. BRAJA M. DAS, Cimentaciones. (2006) Editorial THOMSON
7. BRAJA M. DAS, Principios de ingeniería de cimentaciones. (2006) Editorial THOMSON.
8. CATERINA, MARIA, Identification and behavior of collapsible soils. (2012).
9. CRESPO V., Mecánica de suelos y cimentaciones. (2004) Editorial Limusa.
10. CONDORI QUISPE, BETTY MARÍA, Tesis: Investigación del conglomerado especial en la Ciudad de Tacna, 2012.
11. DAY, ROBERT W., Foundation engineering handbook: Design and construction with the 2006 international building code. (2006) Editorial McGraw-Hill Companies.
12. DONALD P. CODUTO, Foundation design principles and practices. (2001) Editorial Prentice Hall
13. FERNANDEZ SIXTO, ERASMO ALEJANDRO, Tesis: Investigación del conglomerado colapsable de la Cano-Vitor Arequipa, 1998.

-
14. FLORES MELLO, ALFONSO OSWALDO, Tesis: “Determinación de los parámetros de la resistencia al esfuerzo cortante del Puesto de Salud Intiorko de la Asociación de vivienda 28 de Agosto - Ciudad Nueva – Tacna”, 2010.
 15. FLORES KUONG, EMMANUEL HUGO y ROSPIGLIOSI RENGIFO, RAUL GERMAN, Tesis: “Influencia del contenido de sales solubles totales en los parámetros de resistencia al esfuerzo cortante del limo arenoso en la institución educativa. Cesar Augusto Cohaila Tamayo N° 42250 del distrito de Ciudad Nueva - provincia de Tacna”, 2015.
 16. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL, UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GOOHMANN y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – “Estudio Mapas de Peligro para la Ciudad de Tacna y Locumba” 1998
 17. INSTITUTO NACIONAL DE DEFENSA CIVIL y PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO – Ciudades Sostenibles, 2002.
 18. LAMBE, Ingeniería de cimentaciones. Editorial Limusa.
 19. NORMA TÉCNICA PERUANA E.050 Suelos y cimentaciones, 2006.
 20. PECK, HANSON y THORNBURN, Ingeniería de cimentaciones. (2002) Editorial Limusa.
 21. REDOLFI, EMILIO, Suelos colapsables, (2007).
 22. SILVA A. y BERRIOS M., “Estudio de suelos para cimentaciones en edificaciones del cono norte de la Ciudad de Tacna” Tesis. Tacna-Perú.

APÉNDICES

- A-01. Perfil estratigráfico
- A-02. Análisis granulométrico
- A-03. Densidad in situ
- A-04. Densidad mínima
- A-05. Densidad máxima proctor modificado
- A-06. Límite líquido
- A-07. Peso específico
- A-08. Sales solubles totales
- A-09. Ensayo de colapso en 2.00 kg/cm²
- A-10. Ensayo de colapso inicial
- A-11. Ensayo de colapso en 1.00 kg/cm²
- A-12. Prueba de carga in situ con colapso
- A-13. Cálculo del asentamiento inmediato y colapso en 1 kg/cm²
- A-14. Cálculo del asentamiento inmediato y colapso en 2 kg/cm²
- A-15. Panel Fotográfico
- A-16. Planos del puesto de salud Intiorko