



**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante  
bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud

**TESIS**

Para optar el título profesional de Ingeniero(a) Civil

**AUTORES**

Ayasca Ilizarbe, Carolina Mirella  
ORCID: 0000-0001-5585-9953

Quispe Salvatierra, Jhon Cristhian  
ORCID: 0000-0002-2799-0388

**ASESOR**

Torres Chung, César Roberto  
ORCID: 0000-0002-3212-2817

**Lima, Perú**

**2022**

## **Metadatos Complementarios**

### **Datos del autor(es)**

Ayasca Ilizarbe, Carolina Mirella

DNI: 70104917

Quispe Salvatierra, Jhon Cristhian

DNI: 75242483

### **Datos de asesor**

Torres Chung, César Roberto

DNI: 41182279

### **Datos del jurado**

#### **JURADO 1**

Donayre Córdova, Oscar Eduardo

DNI: 06162939

ORCID: 0000-0002-4778-3789

#### **JURADO 2**

Chavarry Vallejos, Carlos Magno

DNI: 07410234

ORCID: 0000-0003-0512-8954

#### **JURADO 3**

Chavarria Reyes, Liliana Janet

DNI: 25481792

ORCID: 0000-0002-1759-2132

### **Datos de la investigación**

Campo del conocimiento OCDE: 2.01.01

Código del Programa: 732016

## **DEDICATORIA**

Esta tesis está dedicada a mi familia; y especialmente a mis padres quienes con su ejemplo de superación han sido de gran inspiración para poder culminar el desarrollo de esta tesis. A mis amigos y compañeros de la universidad por contar con su incondicional apoyo para lograr esta meta.

(Ayasca Ilizarbe, Carolina Mirella)

La presente tesis está dedicada a todas las personas que con su ayuda hicieron posible este trabajo, en especial a mis padres Cesar y Teodora que constantemente me recordaban lo importante que era culminar este proyecto. A mis amigos y hermanos por sus palabras de motivación, consejos y aliento para poder culminar esta interesante etapa.

(Quispe Salvatierra, Jhon Cristhian)

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos a nuestra querida universidad por brindarnos esta bonita etapa de encaminarnos hacia el desarrollo profesional, a los docentes por brindarnos su asesoría y críticas constructivas que hicieron posible este trabajo.

(Ayasca I. Carolina; Quispe S. Cristhian)

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN.....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Árbol de problemas.....	1
1.3 Formulación del problema.....	2
1.3.1 Problema general.....	2
1.3.2 Problemas específicos.....	3
1.4 Objetivo general y específico.....	3
1.4.1 Objetivo General.....	3
1.4.2 Objetivos específicos.....	3
1.5 Delimitación de la investigación.....	3
1.5.1 Delimitación geográfica.....	3
1.5.2 Delimitación temporal.....	3
1.5.3 Delimitación de la temática.....	4
1.5.4 Delimitación muestral.....	4
1.6 Justificación de la investigación.....	4
1.6.1 Conveniencia.....	4
1.6.2 Relevancia social.....	4
1.6.3 Aplicación práctica.....	4
1.6.4 Utilidad metodológica.....	4
1.6.5 Valor teórico.....	4
1.7 Importancia del estudio.....	5
1.7.1 Nuevos conocimientos.....	5
1.7.2 Aportes.....	5
1.8 Limitaciones del estudio.....	5
1.8.1 Falta de estudios previos de investigación.....	5
1.8.2 Metodológicos o prácticos.....	5
1.8.3 Medidas para la recolección de los datos.....	5
1.8.4 Obstáculos en la investigación.....	5
1.9 Alcance.....	5

1.10 Viabilidad del estudio .....	6
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>7</b>
2.1 Marco histórico .....	7
2.2 Antecedentes del estudio de investigación .....	7
2.2.1 Antecedentes nacionales .....	7
2.2.2 Antecedentes internacionales.....	8
2.2.3 Artículos relacionados con el tema .....	10
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	11
2.3.1 Mejoramiento de suelos .....	11
2.3.2 Capacidad portante de suelos.....	12
2.3.3 Refuerzo del suelo .....	17
2.3.4 Asentamientos.....	19
2.3.5 Técnicas de mejoramiento de suelos .....	26
2.3.6 Metodologías de cálculo para el refuerzo del suelo con geomallas.....	33
2.3.7 Metodologías de cálculo para el refuerzo del suelo con Columnas de grava .	39
2.4 Definición de términos básicos.....	43
2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis .....	44
2.5.1. Esquema desarrollo de hipótesis .....	44
<b>CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>46</b>
3.1 Hipótesis o supuestos teóricos .....	46
3.1.1 Hipótesis general.....	46
3.1.2 Hipótesis específicas .....	46
3.2 Variables .....	46
3.1.3 Definición conceptual de las variables .....	46
3.1.4 Operacionalización de las variables.....	47
<b>CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>48</b>
4.1 Método de investigación.....	48
4.2 Tipo de investigación.....	48
4.3 Nivel de investigación .....	49
4.4 Diseño de investigación.....	49
4.5 Población y muestra.....	51
4.5.1 Población .....	51
4.5.2 Muestra .....	51
4.6 Técnicas de instrumentación y recolección de datos .....	52

4.6.1 Instrumento de recolección de datos.....	52
4.6.2 Métodos y técnicas .....	52
4.7 Descripción de procesamiento de análisis .....	52
<b>CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA</b>	
<b>INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>53</b>
5.1 Diagnóstico y situación actual .....	53
5.1.1 Ubicación del Proyecto .....	53
5.1.2 Ubicación Geográfica .....	54
5.1.3 Condición Climática y altitud de la zona.....	55
5.1.4 Descripción del terreno en estudio.....	55
5.2 Cálculo de la Capacidad portante y asentamientos sin refuerzo empleando el	
método numérico (FEM) .....	58
5.2.1 Parámetros de los materiales.....	58
5.2.2 Cargas transmitidas de la estructura .....	59
5.2.3 Modelamiento en Plaxis 2D.....	60
5.3 Diseño de refuerzo del suelo con geomallas empleando el método numérico (FEM)	
.....	62
5.4 Cálculo de la Capacidad portante y asentamientos sin refuerzo empleando los	
métodos analíticos. ....	66
5.4.1 Calculo de la capacidad de carga .....	66
5.4.2 Parámetros de calculo .....	66
5.4.3 Calculo de carga admisible .....	67
5.4.4 Calculo de asentamientos inmediatos .....	68
5.5 Cálculo de la capacidad portante y asentamientos con geomallas empleando los	
métodos analíticos .....	68
5.5.1 Parámetros de calculo .....	68
5.5.2 Cálculo de capacidad de carga.....	69
5.5.3 Cálculo de asentamientos diferenciales .....	69
5.6 Cálculo de la capacidad portante y asentamientos con columnas de gravas	
empleando los métodos analíticos .....	70
5.6.1 Cálculo de asentamientos.....	70
5.6.2 Cálculo de capacidad portante del suelo.....	72
5.7 Método de cálculo numérico con el empleo de columnas de gravas en Plaxis 2D .	73
5.8 Presentación de resultados .....	75

5.8.1 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos de las zapatas sin refuerzo.....	75
5.8.2 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos de las zapatas con refuerzo.....	75
5.8.3 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos con columnas de grava .....	76
5.9 Análisis de resultados .....	76
5.9.1 Comparación del método numérico FEM y los métodos analíticos sin refuerzo .....	76
5.9.2 Comparación del método numérico FEM y los métodos analíticos con refuerzo de geomallas.....	77
5.9.3 Comparación del método numérico y el método analítico con refuerzo de columnas de gravas. ....	78
5.9.4 Interpretación de resultados .....	79
5.9.5 Comparación de las técnicas de refuerzo con geomallas y columnas de grava .....	86
5.10Contrastación de hipótesis .....	87
DISCUSIÓN .....	91
CONCLUSIONES .....	92
RECOMENDACIONES.....	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94
ANEXOS .....	99
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	99
Anexo 2: Operacionalización de las variables .....	100
Anexo 3: Plano de topografía del Centro de Salud de Limón de Porcuya .....	101
Anexo 4: Plano de cimentación del Centro de Salud de Limón de Porcuya .....	102
Anexo 5: Metrado de cargas para la zapata 1 .....	103
Anexo 6: Metrado de cargas para la zapata 2 .....	104
Anexo 7: Metrado de cargas para la zapata 3 .....	105
Anexo 8: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 1 .....	106
Anexo 9: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 2.....	107
Anexo 10: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 3.....	108
Anexo 11: Calculo analítico sin refuerzo de la zapata 1, 2 y 3.....	109
Anexo 12: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla -Zapata 1 .....	110

Anexo 13: Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1 .....	111
Anexo 14: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1 .....	112
Anexo 15: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1 .....	113
Anexo 16: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1 .....	114
Anexo 17: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla -Zapata 2 .....	115
Anexo 18: Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomalla -Zapata 2 .....	116
Anexo 19: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomalla-Zapata 2 .....	117
Anexo 20: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomallas-Zapata 2 ....	118
Anexo 21: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomallas-Zapata 2 ....	119
Anexo 22: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla-Zapata 3 .....	120
Anexo 23: Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3 .....	121
Anexo 24: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3 .....	122
Anexo 25: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3 ....	123
Anexo 26: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3 ....	124
Anexo 27: Calculo analítico con refuerzo de geomallas .....	125
Anexo 28: Interpretación de resultados para el cálculo numérico con refuerzo de geomallas Zapata 1 y 2 .....	126
Anexo 29: Interpretación de resultados para el cálculo numérico con refuerzo de geomallas Zapata 3 .....	127
Anexo 30: Interpretación de resultados de capacidad y asentamientos con refuerzo de geomallas .....	128
Anexo 31: Comparación de cálculos numéricos vs analíticos con refuerzo de geomallas .....	129
Anexo 32: Ficha geomalla biaxial Coextruida-ACEGrid .....	130
Anexo 33: Cálculo de asentamiento con refuerzo de columnas de gravas .....	131
Anexo 34: Cálculo de la capacidad portante con refuerzo de columnas de gravas .....	132

## INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1. Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof.....	16
Tabla N° 2. Correlación para el índice de compresión $C_c$ .....	21
Tabla N° 3. Cuadro de obtención del módulo de elasticidad.....	23
Tabla N° 4. Cuadro de obtención del módulo de elasticidad.....	24
Tabla N° 5. Tabla de distorsión angular .....	25
Tabla N° 6. Propiedades mecánicas de la geomalla .....	36
Tabla N° 8: Propiedades de la placa .....	36
Tabla N° 9. Operacionalización de las variables .....	47
Tabla N° 10. Resumen de tipologías de referencias .....	50
Tabla N° 11. Ubicación regional .....	53
Tabla N° 12. Ubicación geográfica.....	54
Tabla N° 13. Cuadro de calicatas.....	57
Tabla N° 14: Resumen de Resultados de Ensayos Triaxial.....	58
Tabla N° 15. Dimensiones de las zapatas .....	58
Tabla N° 16: Parámetros del acero de zapata .....	59
Tabla N°17. Valores de acero Plaxis 2D .....	59
Tabla N° 18. Cargas transmitidas .....	59
Tabla N° 19. Capacidad admisible .....	62
Tabla N° 20: Parámetros de la geomalla .....	63
Tabla N° 21: Diseño de refuerzo con geomalla.....	63
Tabla N° 22: Calculo de $q_{adm}$ para una capa de refuerzo.....	65
Tabla N° 23: Calculo de $q_{adm}$ para dos capas de refuerzo.....	65
Tabla N° 24: Calculo de $q_{adm}$ para tres capas de refuerzo .....	66
Tabla N° 25. Parámetros iniciales al cálculo .....	67
Tabla N° 26 Calculo de carga admisible .....	67
Tabla N° 27. Cuadro de datos iniciales.....	68
Tabla N° 28. Asentamientos inmediatos .....	68
Tabla N° 29. Parámetros característicos de la cimentación.....	69
Tabla N° 30. Parámetros característicos de la cimentación.....	69
Tabla N° 31. Asentamientos diferenciales sin refuerzo.....	70
Tabla N° 32. Asentamientos diferenciales con refuerzo.....	70
Tabla N° 33. Datos iniciales para el diseño de columnas de gravas.....	71
Tabla N° 34. Resultados del método de Priebe .....	71

Tabla N° 35. Calculo de capacidad de carga máxima del suelo mejorado con columnas de grava.....	73
Tabla N° 36: Valores para el diseño de columnas de gravas en Plaxis 2D .....	74
Tabla N° 37: Cargas admisibles y asentamientos sin refuerzo.....	75
Tabla N° 38. Cargas admisibles y asentamientos con refuerzo de geomallas.....	76
Tabla N° 39. Cargas admisibles y asentamientos con refuerzo de columnas de grava ..	76
Tabla N° 40. Cargas admisibles y asentamientos para geomallas y columnas de grava	86

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Árbol del problema.....	2
Figura 2: Mejoramiento de suelos con el método columna de grava. ....	11
Figura 3: Falla de corte general .....	13
Figura 4: Falla de local .....	13
Figura 5: Falla por punzonamiento.....	14
Figura 6: Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava .....	15
Figura 7: Suelo sin refuerzo.....	17
Figura 8: Suelo con refuerzo.....	18
Figura 9: Deformación de masa de suelo con y sin refuerzo.....	18
Figura 10: Curva presión vs asentamiento del suelo .....	19
Figura 11: Deformación en función del tiempo durante la consolidación para un aumento particular de carga.....	20
Figura 12: Esquema de asentamiento elástico y presión de contacto sobre arcilla: (a) cimentación flexible; (b) cimentación rígida.....	22
Figura 13: Asentamiento elástico de cimentación flexible y rígida.....	22
Figura 14: Coeficientes de influencia para el asentamiento de una superficie rectangular. .....	24
Figura 15: Asentamientos de una cimentación. ....	25
Figura 16: Técnicas de mejoramiento de acuerdo al tipo de suelo.....	27
Figura 17: Cal y agregados .....	28
Figura 18: Proceso de ejecución del Jet Grouting .....	29
Figura 19: Fijación de la geomalla en el área de cizallamiento antes de colocar y compactar.....	30
Figura 20: Geomalla uniaxial extruida y soldada .....	30
Figura 21: Geomalla biaxial extruida y tejida. ....	31
Figura 22: Implementación de columna de grava vía seca.....	33
Figura 23: Prototipo del modelo de zapata, generó malla y condiciones de contorno. ..	34
Figura 24: Diseño de geomalla .....	35
Figura 25: Modelo experimental matrix multilecho de suelo reforzado .....	37
Figura 26: Factor de mejora básico ( $n_0$ ).....	40
Figura 27: Método homogeneización .....	41
Figura 28: Celda unitaria equivalente .....	42

Figura 29: Pantalla infinita equivalente .....	43
Figura 30: Esquema de desarrollo de hipótesis .....	45
Figura 31: Edificaciones de salud en mal estado en la region de Piura.....	51
Figura 32: Edificaciones de salud Limon de Porcuya .....	51
Figura 33: Actual centro de salud Limón de Porcuya .....	54
Figura 34: Actual centro de salud Limón de Porcuya .....	54
Figura 36: Topografía del área de estudio .....	56
Figura 37: Ubicación satelital de las calicatas .....	57
Figura 38: Modelado numerico de la zapata 3 sin refuerzo.....	60
Figura 39: Asentamiento inicial de la zapata 3.....	61
Figura 40: Esfuerzo máximo transmitido .....	61
Figura 41: Modelamiento de la zapata reforzada 1.....	64
Figura 42: Máximo asentamiento del suelo de la zapata 1 .....	64
Figura 43: Esfuerzo transmitido para una zapata reforzada .....	65
Figura 44: Vista seccional del modelo matemático representativo en dirección transversal .....	74
Figura 45: Deformaciones verticales de la cimentación con columnas de gravas.....	74
Figura 46: Capacidad de carga del suelo con columnas de gravas .....	75
Figura 47: Comparación de métodos numéricos y analíticos (Qadm).....	77
Figura 48: Comparación de métodos numéricos y analíticos (u) .....	77
Figura 49: Comparación de métodos numéricos y analíticos (Qadm).....	78
Figura 50: M. analítico vs M. numérico Plaxis para columnas de grava.....	79
Figura 51: Grafica de capacidad portante versus el número de refuerzos para la zapata 1 .....	80
Figura 52: Grafica de capacidad portante versus el número de refuerzos para la zapata 2 .....	80
Figura 53: Grafica de capacidad portante versus el número de refuerzos para la zapata 1 .....	81
Figura 54: Carga admisible con refuerzo de las zapatas 1,2 y 3.....	81
Figura 55: Grafica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 1 ...	82
Figura 56: Grafica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 2 ...	83
Figura 57: Grafica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 3 ...	83
Figura 58: Asentamientos de las zapatas reforzadas 1,2 y 3 .....	84
Figura 59: BCR de la zapata 1,2 y3 .....	85

Figura 60: Esfuerzos transmitidos al suelo .....	85
Figura 61: Técnicas de refuerzo del suelo de fundación .....	86

## RESUMEN

El presente trabajo tuvo como propósito determinar el cálculo del refuerzo del suelo de fundación empleando las técnicas de refuerzo de suelo de geomallas y columnas de grava para mejorar la capacidad portante y reducir los asentamientos del suelo, empleando métodos de análisis numéricos y analíticos, el tipo de investigación fue descriptivo, explicativo y correlacional porque describió los problemas de suelos de baja capacidad portante, sus causas, comportamiento ante elevadas cargas y consecuencias que sufre la estructura de cimentación en el centro de salud Limón de Porcuya distrito de Huarmaca provincia de Huancabamba, región Piura, para el procedimiento del cálculo se tomó el plano de cimentación del centro de salud donde se escogió 3 zapatas de diferentes geometrías y fundaciones para el diseño con geomallas y un ancho tributario transversal al eje del plano para el diseño de columnas de grava, se utilizó como instrumento de cálculo el programa Plaxis 2D para el análisis numérico y metodologías de cálculo desarrolladas de diversos autores para el cálculo analítico en la herramienta Excel. Los resultados demuestran un aumento del 67.59% de capacidad de carga y una reducción del 55.16 % en el asentamiento empleando cinco capas de refuerzo con geomallas de igual manera las columnas de grava se obtuvo la mejora de 0.42, que representa un 58% de reducción del asentamiento, se concluye que existe el mejoramiento del suelo de fundación del centro de salud por el aumento de la capacidad carga y reducción de los asentamientos, empleando ambas técnicas.

**Palabras Clave:** cálculo, columnas de grava, geomallas, capacidad de carga, asentamientos, fundación, arcilla y plasticidad.

## ABSTRACT

The purpose of this work was to determine the calculation of the reinforcement of the foundation soil using the soil reinforcement techniques of geogrids and gravel columns to improve the bearing capacity and reduce soil settlements, using numerical and analytical analysis methods, the type The research study was descriptive, explanatory and correlational because it described the problems of soils with low bearing capacity, their causes, behavior before high loads and consequences suffered by the foundation structure in the Limón de Porcuya health center, Huarmaca district, Huancabamba province, Huancabamba region. Piura, for the calculation procedure, the foundation plan of the health center was taken, where 3 footings of different geometries and foundations were chosen for the design with geogrids and a tributary width transverse to the axis of the plan for the design of gravel columns. The Plaxis 2D program was used as a calculation instrument for numerical analysis. Rich and developed calculation methodologies from various authors for analytical calculation in the Excel tool.

The results show an increase of 67.59% in load capacity and a reduction of 55.16% in settlement using five layers of reinforcement with geogrids, in the same way the gravel columns improve the soil by 0.42 kg/cm<sup>2</sup>, which represents 58% of reduction of the settlement, it is concluded that there is improvement of the foundation soil of the health center by increasing the load capacity and reducing the settlements, using both techniques.

**Keywords:** calculation, gravel columns, geogrids, bearing capacity, settlements, foundation, clay and plasticity.

## INTRODUCCIÓN

Existen en el Perú diversas edificaciones cimentadas sobre suelos blandos de depósito aluvial generalmente arenas y arcillas o rellenos de desmonte producidas por el hombre, estos poseen parámetros de resistencia muy bajos de capacidad portante y elevados asentamientos. Esto influye en su cimentación como por ejemplo asentamientos diferenciales excesivos conllevando a daños a elementos estructurales reduciendo su vida útil y daños a la serviciabilidad de los cimientos. Se busca minimizar estos inconvenientes en las edificaciones de salud, debiendo ser los más seguros por ser construcciones de vital importancia para la atención poblacional. Para reducir estos problemas se utilizan las técnicas de refuerzo del suelo de geomallas y columnas de grava esperando conseguir aumentar la capacidad portante del suelo y la reducción de asentamientos.

El trabajo tiene como objetivos hacer el cálculo del refuerzo del suelo con geomallas y columnas de grava para el mejoramiento de la baja capacidad portante y la reducción de los asentamientos bajo las cimentaciones superficiales en la edificación de salud Limón de Porcuya ubicada en la región Piura, además de determinar la técnica más adecuada es decir la que mejor refuerza el suelo de fundación mediante el empleo de cálculos de métodos numéricos y analíticos.

En el capítulo I parte con la descripción del problema y su delimitación, los problemas generales y específicos y consecuente los objetivos, se delimita la investigación, se analizó la justificación, la importancia del trabajo su alcance, la limitación del estudio y su viabilidad.

En el capítulo II se hace una recopilación bibliográfica de diversas fuentes nacionales e internacionales que sirve para justificar la investigación y sentar las bases teóricas.

En el capítulo III se plantea la hipótesis general y sus específicas a fin se puedan demostrar en la investigación el refuerzo del suelo empleando ambas técnicas.

En el capítulo IV se reconoce el método, tipo, nivel y diseño de la investigación para una correcta metodología de investigación.

En el capítulo V se describe el diagnóstico y la situación del proyecto, luego se hace una recopilación ordenando datos y parámetros que sirven de ayuda para el cálculo del refuerzo del suelo con ambas técnicas, seguido del análisis de resultados para su posterior demostración de las hipótesis planteadas acerca del aumento de la capacidad portante y disminución de los asentamientos.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 Descripción del problema

El aumento demográfico de la población peruana genera la necesidad de la construcción de edificaciones habitacionales, recreacionales y públicas. Para la satisfacción de esta necesidad primaria de vivienda, esto conlleva a buscar un lugar donde asentar la edificación, lugar que no presente riesgos a desastres naturales y que posean características aptas para poder cimentar la edificación.

Existe gran diversidad de tipos de suelos en el Perú, suelos de buena composición granulométrica, capacidad portante y de pequeñas deformaciones, como también existen suelos muy malos en lo que respecta a poder edificar sobre ellos.

La edificación de un centro de salud es muy relevante para ayudar al bienestar de la salud poblacional por ello las normas de construcción son muy estrictas en el diseño y construcción de estas estructuras. El centro de salud de Limón de Porcuya (1-3) Distrito de Huancabamba, Región Piura se encuentra asentado en un suelo de mala composición granulométrica y baja capacidad portante, se Presentó problemas de asentamientos diferenciales a futuro, por lo cual optaron por losas y plateas de cimentación.

El excesivo asentamiento diferencial de un punto de la cimentación respecto a otro conlleva a una mala distribución de las cargas estáticas y dinámicas y a un riesgo en la estructura de las edificaciones como fisuras, grietas, elevadas deformaciones, incluso colapso de la estructura. Orosco y Ramírez (2020) afirma “Los asentamientos por consolidación se producen en arcillas cuando el agua presente en los poros es expulsada debido a la sobre carga impuesta por la cimentación. Este fenómeno se produce después del asentamiento elástico o inmediato” (p.120).

## 1.2 Árbol de problemas

En la figura 1 se observa el árbol de problemas que sirve de ayuda para observar de mejor forma los problemas que traen los suelos blandos de baja capacidad portante como la baja resistencia al corte, elevadas deformaciones, suelos con baja permeabilidad, etc.

Las consecuencias más típicas son fallas por los esfuerzos transmitidos y deslizamientos, asentamientos diferenciales que generan fallas en los elementos

estructurales y siendo suelos de arcilla y limos, traen consigo problemas de consolidación primaria.



Figura 1: Árbol del problema

Fuente: Elaboración propia

### 1.3 Formulación del problema

#### 1.3.1 Problema general

¿Cómo es el diseño de geomallas y columnas de grava para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura?

### 1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿Cómo es el cálculo del refuerzo del suelo con geomallas para el mejoramiento de la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales?
- b) ¿Cómo es el cálculo del refuerzo del suelo con columnas de grava para el mejoramiento de la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales?
- c) ¿Cuál es la técnica más adecuada para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales?

## 1.4 Objetivo general y específico

### 1.4.1 Objetivo General

Determinar el diseño de geomallas y columnas de grava para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura mediante cálculos analíticos en hojas de cálculo, y numéricos con el programa Plaxis 2D.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Calcular el refuerzo del suelo con geomallas para aumentar la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales
- b) Calcular el refuerzo del suelo con columnas de grava para la reducción de asentamientos y mejora de la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.
- c) Determinar la técnica más adecuada con respecto al aumento de la capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

## 1.5 Delimitación de la investigación

### 1.5.1 Delimitación geográfica

El proyecto ejecutado es el centro de salud en Limón de Porcuya, ubicado en el distrito de Huarmaca, a cinco horas de la ciudad de Piura.

### 1.5.2 Delimitación temporal

La investigación tiene una duración de 07 meses aproximadamente donde se realizarán modelaciones y simulaciones con el programa geotécnicos.

### 1.5.3 Delimitación de la temática

El método utilizado es descriptivo y comparativo, usando como herramienta de modelación y simulación con programas geotécnicos, lo cual permite obtener información para la descripción y comparación del empleo de geomallas y columnas de grava para la mejora de la capacidad portante del suelo.

### 1.5.4 Delimitación muestral

La muestra está constituida por una edificación de salud el cual se identifica la baja capacidad portante del suelo.

## 1.6 Justificación de la investigación

### 1.6.1 Conveniencia

Es necesario emplear nuevas técnicas de mejoramiento de suelos para reforzar el suelo bajo cimentaciones en edificaciones de salud.

### 1.6.2 Relevancia social

La investigación sirve de guía para los consultores, constructores e interesados en futuros proyectos de edificaciones de salud que presenten problemas en los suelos como baja capacidad portante. Ayuda de modo que la construcción sea más rentable y duradera con edificaciones de salud que puedan albergar de una forma segura a la población atendida.

### 1.6.3 Aplicación práctica

Resuelve los problemas de baja capacidad portante y asentamientos diferenciales que tuvo el centro de Salud de Limón de Porcuya (1-3) Distrito de Huancabamba, Región Piura con técnicas de mejoramiento de suelos como las geomallas y columnas de grava.

### 1.6.4 Utilidad metodológica

La investigación ayudará a incentivar la búsqueda y mejora de nuevas técnicas de mejoramiento de suelos.

### 1.6.5 Valor teórico

Los resultados obtenidos refuerzan el hecho de usar geomallas y columnas de grava para mejorar los suelos, dando puerta a futuras investigaciones y mejoramientos de esta técnica.

## 1.7 Importancia del estudio

### 1.7.1 Nuevos conocimientos

La investigación incentiva al desarrollo y transformación de las geomallas y columnas de grava para la mejora de sus características abriendo la posibilidad a nuevas técnicas de mejoramiento de suelos

### 1.7.2 Aportes

Aporta e incentiva el desarrollo de estas técnicas por ser innovadoras en lo que respecta a la reducción de costos y tiempo de construcción, minimizando el uso de recursos naturales contribuyendo al desarrollo sostenible, además de contribuir al incremento de calidad y duración de las obras de ingeniería

## 1.8 Limitaciones del estudio

### 1.8.1 Falta de estudios previos de investigación

En referencia al empleo de geomallas en suelos no es muy utilizado bajo cimentaciones superficiales, es más frecuente su uso en pavimentos y estabilización de taludes.

### 1.8.2 Metodológicos o prácticos

No existe un manual o norma de estandarización para el empleo de geomallas o columnas de grava bajo cimentaciones superficiales en suelos de baja capacidad portante.

### 1.8.3 Medidas para la recolección de los datos

Debido a la pandemia Covid-19 no se ha tenido acceso a un laboratorio de ensayos para el estudio de suelos, por eso se desarrolla de manera documental, estudios previos y fuentes de referencia para cumplir con los objetivos.

### 1.8.4 Obstáculos en la investigación

Información incompleta en el informe de Estudios de Mecánica de Suelos del centro de salud en estudio.

Asistir al lugar de estudio ya que las vías de acceso que rodean el predio se encuentran a nivel de terreno natural y en mal estado.

## 1.9 Alcance

La presente investigación desarrollará un empleo bajo las cimentaciones superficiales de geomallas y columnas de grava para aumentar la capacidad portante del suelo y así disminuir los asentamientos.

### 1.10 Viabilidad del estudio

Esta investigación es viable ya que se puede aplicar en la actualidad, así como las diferentes referencias bibliográficas (tesis, revistas, artículos). Los cuales se centran en los diferentes métodos para la mejora de la capacidad portante del suelo mediante el empleo de geomallas y columnas de grava.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Marco histórico

A lo largo de los años, ha traído atención a los investigadores el empleo de suelos reforzados en cimentaciones superficiales para mejorar la capacidad portante. Lo cual algunos métodos implementados son drenajes verticales prefabricados convencionales, construcción de etapas, geosintéticos, consolidación al vacío entre otras técnicas, considerada como el más popular el método de mezcla profunda desde que se introdujo en la década de 1970. Los iniciadores más importantes incluyen a Binke y Lee en 1975, quienes evaluaron la capacidad de carga de la arena reforzada con tiras de metal. Muchos investigadores han evaluado las ventajas entre la capacidad portante de la cimentación con refuerzo y una sin refuerzo donde esta relación es llamada BCR (Relación de capacidad de carga).

Entre las diferentes técnicas de reforzar el suelo mencionados también encontramos el uso de geomallas que son empleados como refuerzo del suelo en su mayoría en obras viales y con respecto a su normatividad este se encuentra implementado en nuestro país sobre su uso y control, otro método a mencionar es el uso de las columnas de grava el cual se planteó desde el año 1960 el cual consiste en una serie de columnas de grava que se inyectan en el suelo que se desea mejorar.

### 2.2 Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.2.1 Antecedentes nacionales

Berlanga M. (2018), en su investigación realizó una comparación entre el comportamiento geotécnico de zapatas aisladas reforzadas con geosintéticos y una losa de cimentación como alternativa de solución para suelos con condiciones desfavorables. Su zona de estudio fue un edificio de cinco pisos ubicado en la ciudad de Arequipa el cual como resultados del estudio realizado de microzonificación sísmica presentan una zona con baja capacidad portante y nivel freático cerca de la superficie. Para su análisis se modeló en el programa Etabs V16 y posteriormente en el programa Plaxis 2D para finalmente presentar las ventajas y desventajas entre el empleo de zapatas aisladas reforzadas con geosintéticos y una losa de cimentación.

Sedano J. & Sedano D. (2019), este trabajo de investigación se planteó un diseño de cimentación en la zona de Cerro Azul utilizando diferentes métodos como el uso de geomallas teniendo un impacto en la sociedad debido que en

ese momento era desconocido su empleo en la cimentación de suelos de baja capacidad portante. Siendo su método de investigación descriptivo e inductivo realizando cálculos los cuales se apoyaron para determinar que el diseño de la cimentación empleando el uso de geomallas tenía un mejor impacto y era más viable según el caso de estudio.

Valdiviezo K. (2019), en su trabajo de investigación plantea como solución la aplicación de columnas de gravas compacta para mejorar la capacidad portante de suelos en la ciudad de Piura para lo cual realizó sondajes SPT en 4 puntos de apoyo permitiéndole obtener las propiedades y tipo del suelo en estudio luego se realizaron ensayos en el laboratorio para las gravas posteriormente las pruebas de módulo de rigidez y finalmente se realizó una análisis de comparación de la capacidad portante del suelo antes y después del empleo de columnas de gravas siendo su método de investigación descriptivo.

Chávez D. & Ruiz F. (2019), en su tesis evaluó técnica y económicamente para mejorar la capacidad del suelo dos alternativas de solución siendo estas el empleo de geomallas y afirmado. Desarrolló su investigación usando la metodología del tipo cuantitativa y descriptiva con orientación aplicada. Siendo su zona de estudio una vivienda de cuatro pisos ubicada en el Callao. Luego de la evaluación técnica le permitió concluir que el uso de geomallas y afirmado son soluciones factibles, y en la evaluación económica determinó el uso de afirmado para su caso de estudio.

Mendoza D. & Paitan A. (2020), su tesis se basó en analizar el uso de columnas de grava como un método de mejora para un suelo de tipo arcilloso siendo su caso de estudio ubicado en Cajamarca analizando mediante el método de Priebe para determinar las dimensiones de las columnas de gravas para luego realizar una comparación de los asentamientos con y sin columnas de gravas.

### 2.2.2 Antecedentes internacionales

Bautista D. & Mayorga E. (2018), En este trabajo de grado, se diseñó un modelo experimental para simular un suelo en condiciones normales saturadas compuesto por los estratos de arcilla y arena de tal manera que se establezcan las condiciones adecuadas para el empleo de columnas de grava como método de mejoramiento de suelos, los cuales fueron sometidos a una

fuerzas en la misma dirección de ejes de igual magnitud; y modelado el estrato en software con la finalidad de comparar resultados que se obtuvieron experimentalmente y conseguidos por la simulación. Siendo la metodología empleada experimental y obteniendo una diferencia del 25% de reducción entre los asentamientos de un suelo mejorado con columnas de grava y un suelo sin mejorar.

Monsalve I. (2018), en su trabajo de investigación tuvo por finalidad realizar una comparación técnica y económica, entre el empleo de fundaciones columnas de grava y pilotes pre excavados de hormigón armado. Ellas fueron aplicadas al proyecto “Puente Bypass Lumaco”, situado en Chile. El desarrollo de esta investigación fue guiado en consideración de los supuestos establecidos por la metodología mixta de datos. Se tuvo como conclusión que el sistema de mejoramiento de suelo mediante columnas de grava compactada aumentó la capacidad de soporte admisible y disminuyó los asentamientos esperados. Sin embargo, en este caso particular su efectividad no es mayor debido a la poca profundidad considerada de las columnas de gravas.

Cóndor L. & Oñate K. (2019), en su trabajo de investigación tenía como objetivo el empleo de las geomallas que permitiera el reforzamiento del suelo. Para ello realizó un ensayo el cual utiliza como material reforzado la arena y geomallas de polipropileno tipo biaxial y multiaxial colocados respectivamente en el suelo, determinando la capacidad de carga que puede resistir el modelo realizado de suelo-geomalla y la capacidad de carga que presenta el suelo al colocarse en él distintos tipos de distribución de geomallas.

Ortiz N. & Quintero E. (2020), es una recopilación de investigaciones y metodologías para analizar el comportamiento de las cimentaciones superficiales mediante el refuerzo del suelo con geosintéticos. Se analizó usando el software GEO5 mediante elementos finitos con y la ubicación del suelo en estudio fue la ciudad de Cartagena.

Pinzón E. (2020), En esta investigación se realizó el análisis de los factores que tienen mayor influencia en la capacidad portante de un suelo cohesivo mejorado con geosintéticos bajo condiciones drenadas, a través de la modelación con elementos finitos usando el Software Praxis 2D. Siendo los

resultados de esta investigación una clara tendencia a la mejora de la capacidad portante ante la inclusión de geosintéticos mostrando un comportamiento satisfactorio al utilizar este método de mejora con zapatas de ancho pequeño.

### 2.2.3 Artículos relacionados con el tema

Arjomand M., Abedib M., Gharib M., Damghanid M. (2019), este artículo trató de un estudio experimental sobre geomalla con efectos geotextiles destinado a mejorar el suelo arcilloso teniendo como resultado un aumento del módulo de dureza del suelo, y también del esfuerzo de tracción mecánico máximo. La resistencia al cizallamiento de la superficie de contacto en el suelo aparece debido tanto a la resistencia a la fricción contra la superficie de contacto como a la resistencia pasiva formada frente a los elementos del sistema de geomalla.

Mohammed F., Sinan A. y Mudhafar H. (2020), en el presente artículo se realizaron ensayos para medir la relación entre carga aplicada y asentamiento de un suelo arenoso inclinado, reforzándolo con una capa de geomalla lo cual aumento un porcentaje de la capacidad de carga de la cimentación dependiendo el ángulo de la pendiente y la distancia desde el borde de la pendiente hasta el borde de la cimentación también se observó que la presencia de la geomalla proporciona una estabilidad a la pendiente del suelo.

Stacho J., Sulovska M., Slavik I. (2020), en este artículo de investigación se trató de las pruebas de laboratorio de suelos de grano grueso que se refuerzan utilizando una geomalla. Las propiedades de resistencia al cizallamiento se determinaron utilizando un aparato de prueba de cizallamiento directo a gran escala. Las pruebas se ejecutaron tanto en suelo original como en suelo reforzado, cuando la geomalla se colocó sobre una superficie deslizante, lo que permitió determinar las propiedades de resistencia al cizallamiento de la interfaz suelo-geomalla.

Wahyuni, D., Ratna, D., & Saloma, S. (2021); Esta investigación tiene como objetivo mejorar el suelo capacidad de carga, la compresibilidad y la permeabilidad utilizando el método de columna de suelo con una mezcla de suelo blando. Siendo el mayor incremento en la capacidad portante del suelo blando ocurrió en la variación de la columna de suelo de 53 cm de longitud con 4,8 cm de diámetro donde la capacidad portante del suelo aumentó.

Palmeira E., Araújo G. y Santos E. (2021), este artículo abordó el uso de geosintéticos con materiales desperdiciados en diferentes aplicaciones. Los usos potenciales de materiales alternativos como neumáticos desperdiciados, desechos de construcción y demolición, y botellas de plástico se presentan y discuten considerando los resultados de pruebas de laboratorio y de campo. Se discuten combinaciones de geosintéticos y materiales de construcción alternativos aplicados a estructuras de suelo reforzado, sistemas de drenaje para vertederos, barreras y estabilización de terraplenes en terrenos blandos.

## 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1 Mejoramiento de suelos

El mejoramiento de suelos es el cambio de las características ingenieriles del suelo in situ a partir de su estado natural. Se realizan con el objetivo simple de permitir la estabilidad mecánica en la construcción de una obra.

Las características mecánicas del suelo que comúnmente se mejoran son la capacidad y/o resistencia al corte, disminuir asentamientos tanto absolutos como diferenciales, disminuir o eliminar el riesgo de licuefacción en caso de terremotos o vibraciones importantes. En términos generales el mejoramiento de suelos se realiza a través de una acción física como una compactación, o mediante la inclusión o mezcla del suelo con otro material. Rashid, Bunawan y Mat Said (2017) afirma. “Se emplean varias técnicas para mejorar el problema de llevar a cabo la construcción en suelos blandos al aumentar la resistencia de la base del suelo y reducir el asentamiento del suelo”. (p.1271)



*Figura 2:* Mejoramiento de suelos con el método columna de grava.

Fuente: Pilotes Terratest, 2014

En la figura 2 se observa el empleo de mejoramiento de suelos con la técnica de vibrosustitución o columnas de grava.

### 2.3.2 Capacidad portante de suelos

Es la capacidad del suelo para soportar cargas inducidas sin llegar al fallo por cortante del suelo o un asentamiento diferencial excesivo, es la máxima presión media de contacto entre el cimiento y el suelo. La capacidad portante de un suelo depende de las características físicas, químicas y mecánicas del suelo.

“La capacidad portante se refiere específicamente al riesgo de formación de superficies de falla por corte o zonas plásticas en el suelo de soporte, que generan grandes desplazamientos o el colapso del cimiento, cuando la presión promedio de la fundación-suelo alcanza un valor crítico denominado capacidad de carga última o  $q_u$ ” (Orosco y Ramírez, 2020, p.43).

#### a) Capacidad portante neta

Máxima presión promedio que puede resistir el suelo a nivel de fundación sin que este falle. Se expresa en la ecuación 1.

$$\sigma_{neto} = q_u - q \dots \dots (1)$$

$\sigma_{neto}$  = Capacidad de carga neta (KPa)

$q_u$  = Capacidad de carga última (KPa)

$q$  = Sobrecarga (KPa)

#### b) Capacidad portante admisible

Carga última dividida entre un factor de seguridad, denominado también esfuerzo de capacidad portante. Se expresa de la siguiente forma en la ecuación 2.

$$\sigma_{admisible} = \frac{q_u - q}{FSI} \dots \dots (2)$$

$\sigma_{admisible}$  = Capacidad portante admisible

$q_u$  = Capacidad de carga última (KPa)

$q$  = Sobrecarga (Peso específico del suelo ( $\gamma$ ) a una profundidad (D))

FSI = Factor de seguridad

#### c) Falla general por corte

Es normal ver estas fallas en arenas compactas, el suelo se hincha a ambos lados de la cimentación. “En determinado punto, cuando la presión de la fundación alcanza un valor pico de  $q_{ult}$ , sobreviene una falla súbita del suelo portante, y la superficie de falla en el mecanismo de

desplazamiento del suelo se extiende hasta la superficie del manto”  
(Orosco y Ramírez, 2020, p.44)

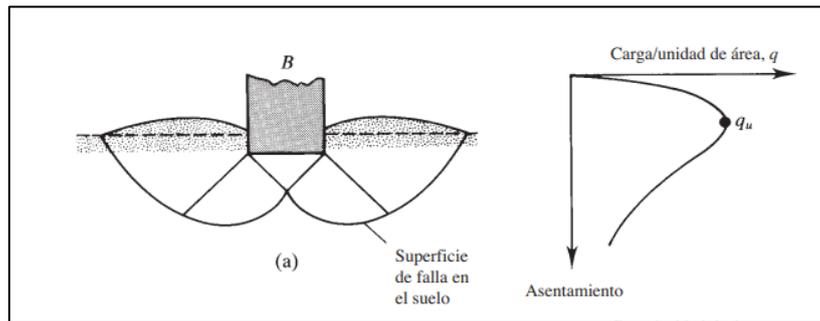


Figura 3: Falla de corte general

Fuente: Braja M. Das, 2015

En la figura 3 se muestra una imagen idealizada de lo que ocurre en el suelo por falla de corte general.

d) Falla local por corte

En esta falla se produce aumento en el volumen y asentamiento del suelo se forma una cuña de cimentación como en la falla general, pero con superficies de falla incompletas.

“Puede decirse que la superficie de deslizamiento no es completa, sino que es parcial. Cuando la presión de fundación se hace igual a  $q_{ult}$  denominada capacidad portante ultima. Más allá de este punto el aumento de la carga vendrá acompañado de grandes incrementos en los asentamientos de la fundación” (Orosco y Ramírez, 2020, p.45).

En la figura 4 se observa una imagen idealizada de lo que ocurre en el suelo por falla de corte local.

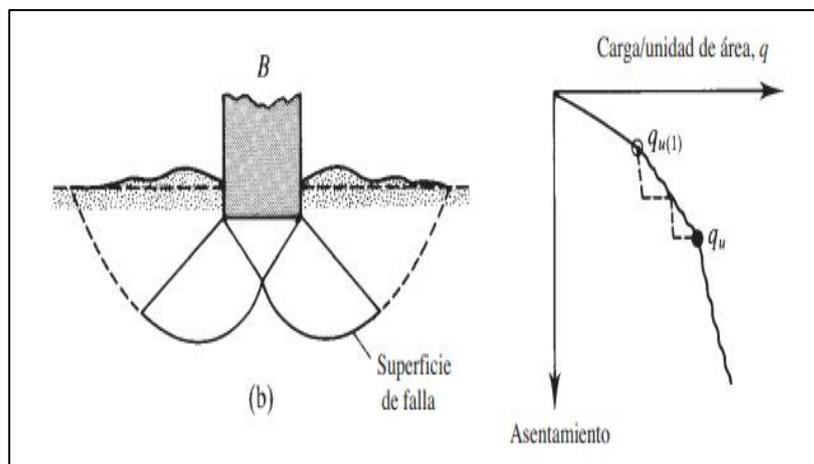


Figura 4: Falla de local

Fuente: Braja M. Das, 2015

e) Falla por punzonamiento

En esta falla se produce el movimiento vertical de la cimentación por la compresión del suelo debajo de ella, la rotura se ocasiona por cortante alrededor de la cimentación. No existe hinchamiento del suelo en la superficie es decir no presentan superficies de fallas definidas.

Una cimentación podría considerarse totalmente flexible o rígida. Cargada de manera uniforme, perfectamente flexible, descansando sobre un material elástico como arcilla saturada, tendrá un perfil de hundimiento, se observa en la figura 5 cuando el terreno falla por punzonamiento.

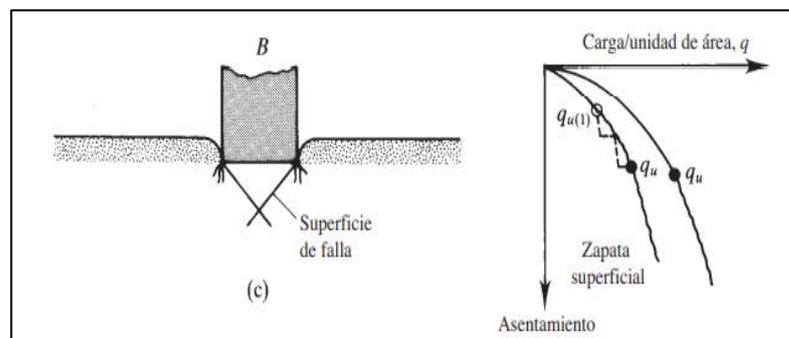


Figura 5: Falla por punzonamiento

Fuente: Braja M. Das (2015)

f) Teoría de capacidad última Terzaghi

Es una teoría global para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones poco profundas.

De acuerdo con esta teoría, una cimentación es poco profunda si la profundidad,  $D_f$  es menor o igual que el ancho de la cimentación. “Sin embargo, investigadores posteriores han sugerido que las cimentaciones con  $D_f$  igual a 3 a 4 veces el ancho de la cimentación se pueden definir como cimentaciones poco profundas” (Braja, 2015, p.481).

Esta teoría puede ser implementada en cimentaciones corridas o continuas, cuadradas y circulares, donde los factores de suelo influyentes son peso específico, cohesión y ángulo de fricción, se muestra de mejor forma en la figura 6.

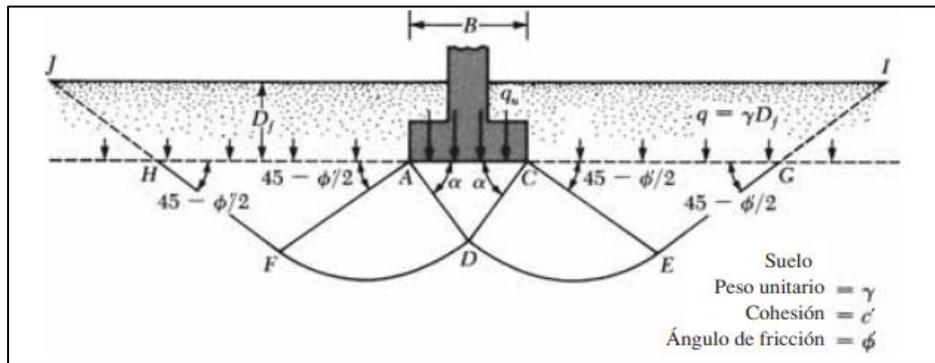


Figura 6: Falla de la capacidad de carga en un suelo bajo una cimentación continua rígida en grava.

Fuente: Braja M. Das, 2015

Dónde:

$\phi'$  = ángulo de fricción ( $^{\circ}$ )

$\gamma$  = peso específico del suelo ( $kN/m^3$ )

$c'$  = cohesión del suelo (KPa)

$q_u$  = carga (KN)

Acorde a la figura anterior, se puede observar cómo los ángulos CAD y ACD son similares al ángulo de fricción, determinando como la sobrecarga que reemplaza la parte posterior de suelo genera una falla cortante por desplazamiento del suelo en los puntos GI y HJ (Braja, 2015, p.482)

Utilizando el análisis de equilibrio, Terzaghi expresa la capacidad última de carga en la forma de la ecuación 3, 4 y 5 para cada tipo de zapata.

$$q_u = c'Nc + qNq + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma \quad \dots \dots (3)$$

La ecuación 4 nos expresa la capacidad última de carga de una zapata cuadrada.

$$q_u = 1.3c'Nc + qNq + 0.4\gamma BN\gamma \quad \dots \dots (4)$$

La ecuación 5 nos expresa la capacidad última de carga de una zapata circular.

$$q_u = 1.3c'Nc + qNq + 0.3\gamma BN\gamma \quad \dots \dots (5)$$

$B$  = ancho zapata (m)  $\gamma$  = peso específico del suelo ( $kN/m^3$ )

$c$  = Cohesión del suelo (KPa)

$q$  = sobrecarga (KPa)

$Nc, Nq, N\gamma$  = factores de carga (adimensionales)

Tabla N° 1. Factores de capacidad de carga para la teoría de Meyerhof.

$\phi'$ (grad)	$N_c$	$N_q$	$N^{a_Y}$	$\phi'$ (grad)	$N_c$	$N_q$	$N^{a_Y}$
0	5.14	1	0	26	27.09	14.21	9.84
1	5.38	1.09	0.07	27	29.24	15.9	11.6
2	5.63	1.2	0.15	28	31.61	17.81	13.7
3	5.9	1.31	0.24	29	34.24	19.98	16.18
4	6.19	1.43	0.34	30	37.16	22.46	19.13
5	6.49	1.57	0.45	31	40.41	25.28	22.65
6	6.81	1.72	0.57	32	44.04	28.52	26.87
7	7.16	1.88	0.71	33	48.09	32.23	31.94
8	7.53	2.06	0.86	34	52.64	36.5	38.04
9	7.92	2.25	1.03	35	57.75	41.44	45.41
10	8.35	2.47	1.22	36	63.53	47.16	54.36
11	8.8	2.71	1.44	37	70.01	53.8	65.27
12	9.28	2.97	1.69	38	77.5	61.55	78.61
13	9.81	3.26	1.97	39	85.97	70.61	95.03
14	10.37	3.59	2.29	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	41	106.81	93.85	140.51
16	13.68	4.92	1.82	42	119.67	108.75	171.99
17	14.6	5.45	2.18	43	134.58	12.65	211.56
18	15.12	6.04	2.59	44	151.95	147.74	261.6
19	16.56	6.7	3.07	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	46	196.22	204.19	407.11
21	18.92	8.26	4.31	47	224.55	241.8	512.84
22	20.27	9.19	5.09	48	258.28	287.85	650.67
23	21.75	10.23	6	49	298.71	344.63	831.99
24	23.36	11.4	7.08	50	347.5	415.14	1072.8
25	25.13	12.72	8.34				

Fuente: Braja M. Das (2015)

### 2.3.3 Refuerzo del suelo

Es la mejora de las propiedades mecánicas de una masa de suelo de baja capacidad portante, empleando diversos métodos con el objetivo de que el suelo sea un material compuesto más estable con alta resistencia a la tracción, mínimos asentamientos diferenciales, buena capacidad de drenaje, etc.

“El uso de refuerzos proporcionará una tensión de cizallamiento adicional en la masa del suelo a través de la fuerza de tracción en el refuerzo, lo que aumentará la resistencia de la masa de refuerzo del suelo y, por lo tanto, reducirá las deformaciones horizontales y, por lo tanto, aumentará la estabilidad general de la estructura del suelo, como caminos, muros de contención, terraplenes y pendientes” (Ramjiram, Naveen y Tegar, 2010, p.2).

El suelo y el material empleado de refuerzo se denominan suelo reforzado siendo más resistente y menos deformable que un suelo sin refuerzo. Se realizaron diversos ensayos de corte directo para observar el desenvolvimiento de los suelos reforzados.

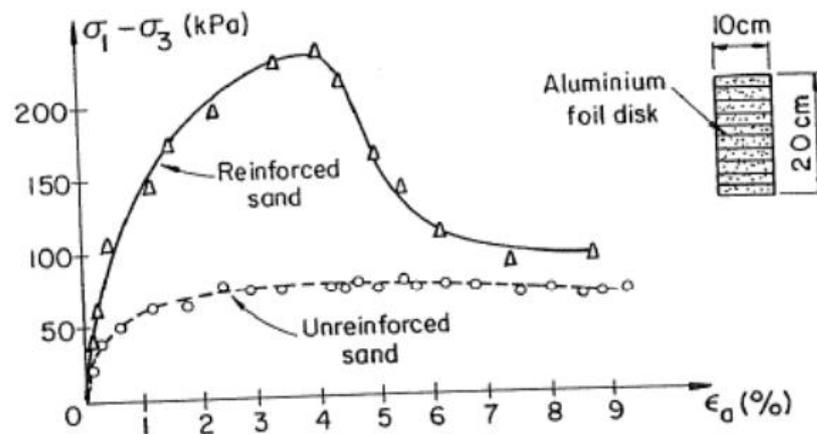


Figura 7: Suelo sin refuerzo

Fuente: Egoavil (2012)

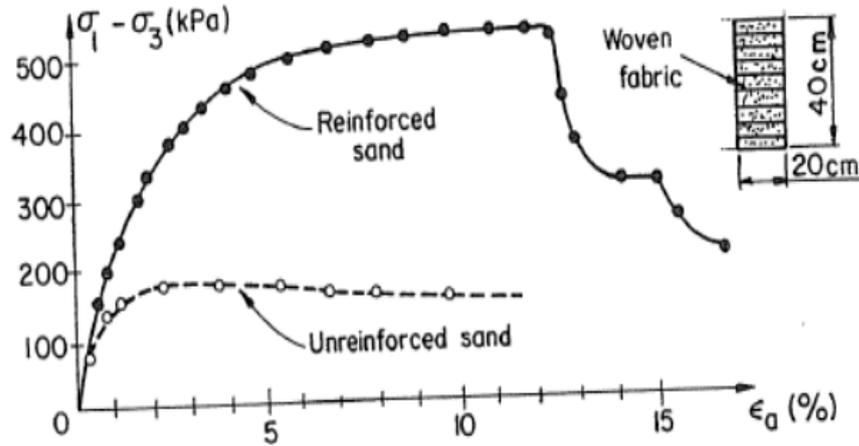


Figura 8: Suelo con refuerzo

Fuente: Egoavil (2012)

En la figura 7 y 8 se puede observar que existe una falla en la rotura temprana al 3% de deformación en la muestra de suelo sin reforzar a comparación del suelo con refuerzo donde la falla es al 12% siendo la resistencia elevada hasta ese punto. Esto vendría siendo debido al resultado de una cohesión aparente que es directamente proporcional a la resistencia de tracción e inversamente proporcional al refuerzo.

“Los suelos en general poseen elevada resistencia a los esfuerzos de compresión, pero baja resistencia a los esfuerzos de tracción. Cuando una masa de suelo es cargada verticalmente, esta sufre deformaciones verticales de compresión y deformaciones laterales de tracción (extensión). Sin embargo, si una masa de suelo estuviese reforzada los movimientos laterales de tracción son limitados por la deformabilidad del refuerzo” (Egoavil, 2012, p.10).

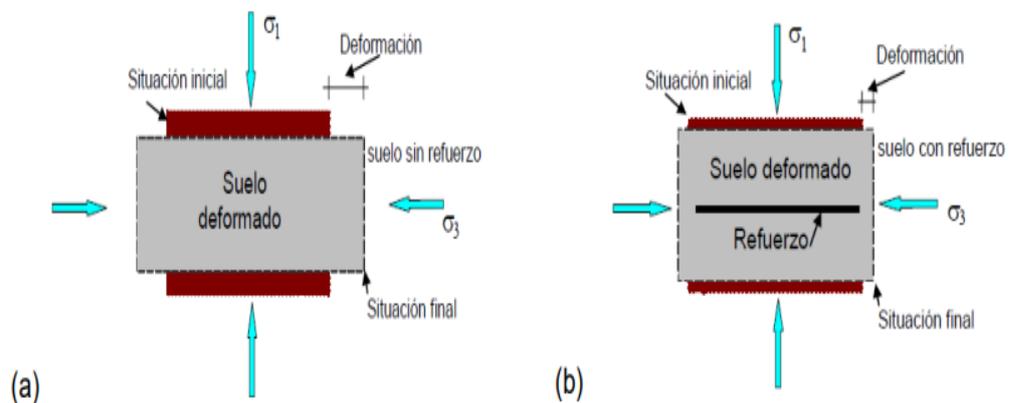


Figura 9: Deformación de masa de suelo con y sin refuerzo

Fuente: Egoavil (2012)

La figura 9 muestra las deformaciones del suelo sin refuerzo y con refuerzo.

#### 2.3.4 Asentamientos

Las cargas transmitidas por las cimentaciones a la masa de suelo dan lugar a deformaciones como lo son los asentamientos, desplazamientos horizontales y giros de la estructura, el aumento considerable de las deformaciones puede dar lugar a la falla de la funcionalidad de la estructura. Se ve reflejada con agrietamientos y fisuras en los elementos estructurales.

“Una cimentación puede fallar por falla de corte del suelo soportado. Sin embargo, antes de la ocurrencia de la falla de corte en el suelo, también es posible que una cimentación se someta a un asentamiento lo suficientemente grande para causar daño a una estructura y hacerla disfuncional para el fin para el que está diseñada” (Braja, 2015, p.512).

En cimentaciones como zapatas el asentamiento crece conforme aumenta la carga vertical, en figura 10 se muestra la gráfica de presión vs asiento está en función de la forma y tamaño de la zapata, la resistencia del suelo y la carga aplicada.

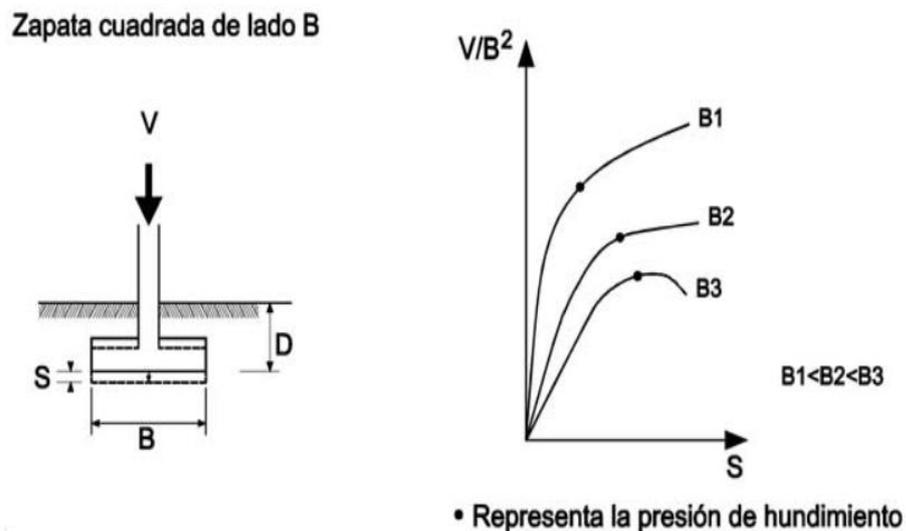


Figura 10: Curva presión vs asentamiento del suelo

Fuente: Blog de Ing. Civil, Arquitectura y Construcción (2022)

Existen otros factores que incentivan al asentamiento del suelo como la reducción del nivel freático, vacíos profundos, vibración del suelo y eventos sísmicos. Existen 2 tipos de asentamientos por consolidación y elástico.

##### a) Asentamiento por consolidación

Se produce por la variación de volumen en un suelo cohesivo saturado debido a la expulsión de agua intersticial, este asentamiento depende del tiempo y el

drenaje del agua por el suelo. La salida del agua de los suelos susceptibles a hinchamientos y hundimientos son arcillas y limos generalmente, el drenaje suele durar semanas o años. (Braja, 2015) afirma:

“Cuando una capa de arcilla compresible saturada se somete a un aumento del esfuerzo, el asentamiento elástico se produce inmediatamente. Debido a que la conductividad hidráulica de la arcilla es significativamente menor que la de la arena, el exceso de presión de poros generado por la carga se disipa gradualmente durante un largo periodo. Por lo tanto, el cambio de volumen asociado (es decir, la consolidación) en la arcilla puede continuar por mucho tiempo después del asentamiento elástico. El asentamiento causado por consolidación en arcilla puede ser varias veces mayor que el asentamiento elástico” (p.184).

En los suelos arenosos ocurre lo contrario debido a que poseen buena permeabilidad, por su buen drenaje la presión de agua se completa inmediatamente lo que hace reducir el volumen de su masa generando asentamiento. Se puede decir que en estos suelos el asentamiento por consolidación y elástico ocurren simultáneamente, se muestra de mejor forma en la figura 11.

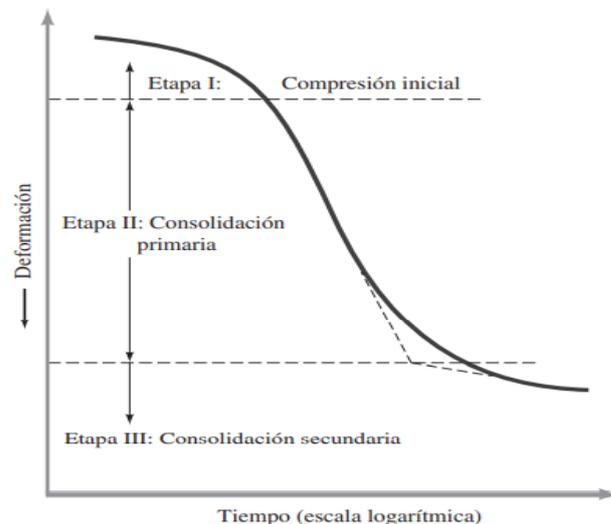


Figura 11: Deformación en función del tiempo durante la consolidación para un aumento particular de carga.

Fuente: Braja M. Das (2013)

De la figura 11 se puede observar:

Etapa I: Compresión inicial, originada por la precarga de la estructura.

Etapa II: Consolidación primaria, la presión intersticial se regulariza gradualmente en esfuerzo efectivo por la expulsión del agua.

Etapa III: Consolidación secundaria, ocurre cuando la presión intersticial de agua desaparece, el suelo experimenta una deformación plástica.

Existe un cálculo para el asentamiento probable causado por la consolidación primaria suponiendo que una interpretación unidimensional, se muestra en la ecuación 6.

$$S_p = \frac{C_s H}{1 + e_o} * \frac{\sigma'_c}{\sigma'_o} + \frac{C_c H}{1 + e_o} \log \left( \frac{\sigma'_o + \Delta\sigma'}{\sigma'_c} \right) \dots \dots (6)$$

$S_p$  = Asentamiento (m)

$H$  = Altura de la subcapa (m)

$\sigma'_o$  = Esfuerzo de sobrecarga efectiva inicial

$\Delta\sigma'$  = Aumento de la presión vertical

$C_c$  = Índice de comprensión

$e_o$  = Índice de vacíos

La tabla 2 muestra las ecuaciones de índice de comprensión para cada tipo de suelo.

Tabla N° 2. Correlación para el índice de comprensión  $C_c$

Ecuación	Región de aplicabilidad
$C_c=0.01W_w$	Arcillas de Chicago
$C_c=1.15(e_0-0.27)$	Todas las arcillas
$C_c=0.3(e_0-0.27)$	Suelos cohesivos inorgánicos: limo, arcilla limosa
$C_c=0.0115W_w$	Suelos orgánicos: turbas, limo orgánico y arcilla
$C_c=0.0046(LL-9)$	Arcillas brasileñas
$C_c=0.75(e_0-0.5)$	Suelos con baja plasticidad
$C_c=0.208e_0 + 0.0083$	Arcillas de Chicago
$C_c=0.156e_0 + 0.0107$	Todas las arcillas

Fuente: Braja M. Das (2013)

b) Asentamiento elástico

Es el asentamiento que ocurre inmediatamente después de que el suelo de cimentación se somete a la carga estructural, este asentamiento ocurre de

manera más rápida en suelos granulares, en la figura 12 se observa el desarrollo de distinta en forma en cimentaciones flexibles como rígidas. Braja (2015) explica. “Una cimentación podría considerarse totalmente flexible o totalmente rígida. Una cimentación cargada de manera uniforme, perfectamente flexible, descansando sobre un material elástico como arcilla saturada, tendrá un perfil de hundimiento” (p.512).

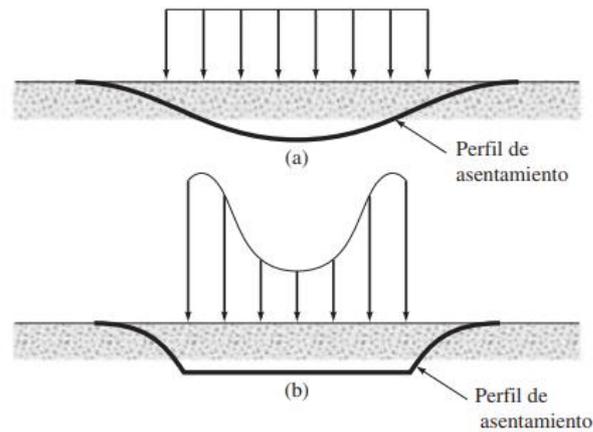


Figura 12: Esquema de asentamiento elástico y presión de contacto sobre arcilla: (a) cimentación flexible; (b) cimentación rígida.

Fuente: Braja M. Das (2013)

En la figura 13 se observa una cimentación superficial de sección  $B \times L$  en una capa de roca incompresible a una profundidad  $D_f$ , además de la carga neta por unidad de área  $q_0$ .

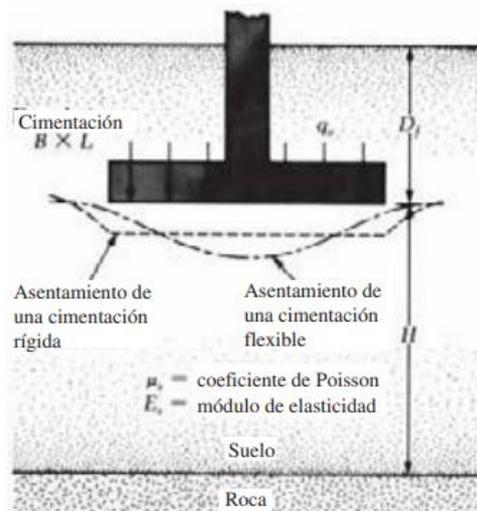


Figura 13: Asentamiento elástico de cimentación flexible y rígida.

Fuente: Braja M. Das (2013)

Según la teoría de elasticidad con respecto a la figura 13 el coeficiente de Poisson ( $u_s$ ) y la elasticidad del suelo ( $E_s$ ), el asentamiento se puede expresar como lo siguiente ecuación 7.

$$S_e = \frac{q_0 B (1 - U^2) I_p}{E} \dots \dots (7)$$

$q_0$  = Presión aplicada sobre la cimentación

$S_e$  = Asentamiento inmediato

$u_s$  = Relación de Poisson para el suelo

$E$  = Modulo de elasticidad promedio del suelo

$B'$  =  $B/2$  para el centro de la cimentación

$B$  = Para la esquina de la cimentación

$I_p$  = factor de forma.

Se requiere para el cálculo de asentamientos los valores de módulo de Elasticidad y la relación de Poisson y el coeficiente de influencia, los datos se obtienen de las tablas 3, 4 y la figura 14.

Tabla N° 3. Cuadro de obtención del módulo de elasticidad

Tipo de suelo	Es (Ton/m <sup>2</sup> )
Arcilla muy blanda	30-300
blanda	200-400
media	450-900
dura	700-2000
arcilla arenosa	3000-4250
suelos graciareos	1000-16000
loess	1500-6000
arena limosa	500-2000
arena suelta	1000-2500
densa	8000-20000
grava arenosa: densa	5000-14000
suelta	200-2000
Arcilla esquistosa	
Limos	

Fuente: Jorge A. Hurtado (2007)

Tabla N° 4. Cuadro de obtención del módulo de elasticidad

Tipo de suelo	u
Arcilla saturada	0.4-0.5
no satura	0.1-0.3
arenosa	0.2-0.3
limo	0.3-0.35
arena: densa	0.2-0.4
de grano grueso	0.15
de grano fino	0.25
roca	0.1-0.4
loess	0.1-0.3
hielo	0.36
concreto	0.15

Fuente: Jorge A. Hurtado (2007)

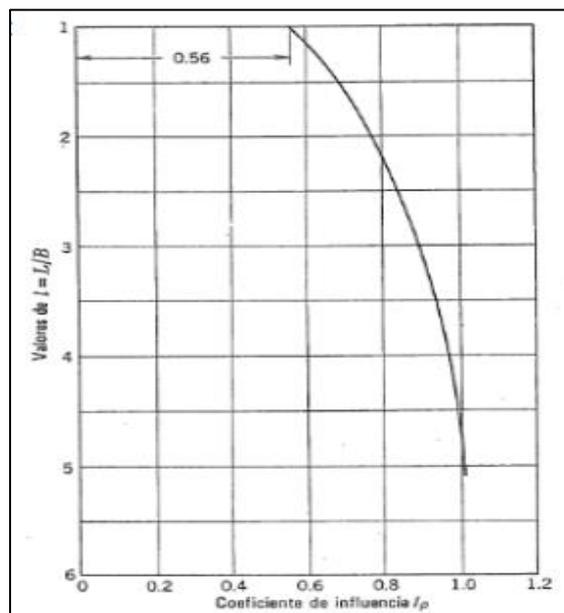


Figura 14: Coeficientes de influencia para el asentamiento de una superficie rectangular.

Fuente: Jorge A. Hurtado (2007)

### c) Asentamiento diferencial

Es la diferencia de asentamientos de un punto a otro de la cimentación, también son expresados en términos de distorsión angular al igual que la deformación de las vigas estructurales en las edificaciones se muestra en la figura 14.

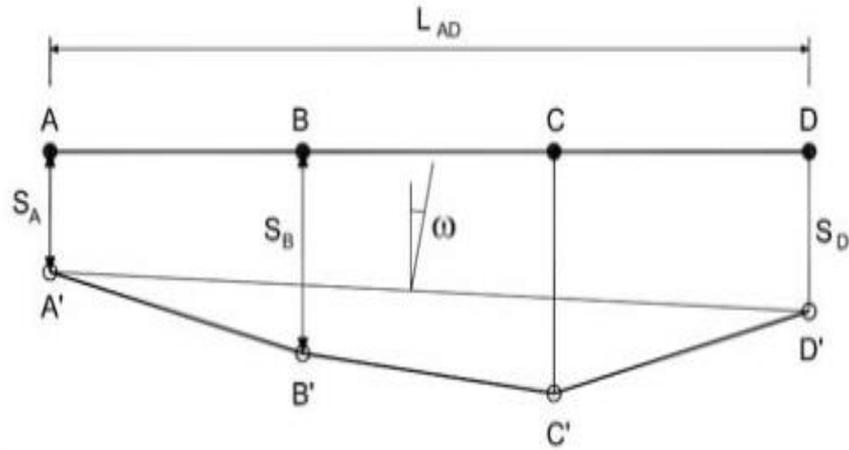


Figura 15: Asentamientos de una cimentación.

Fuente: Blog de Ing. Civil, Arquitectura y Construcción (2022)

De la figura 15 se interpretan las siguientes formulas.

Asentamiento diferencial ( $\delta S_{AB}$ ): Se expresa según la ecuación 8.

$$\delta S_{AB} = S_B - S_A \dots \dots (8)$$

Distorsión angular ( $\alpha$ ): Se expresa según la ecuación 9.

$$\alpha_{AB} = \frac{\delta S_{AB}}{L_{AB}} \dots \dots (9)$$

A, B, C, D = Puntos base del cimientto.

A', B', C', D' = Puntos desfasados por el asentamiento.

Los asentamientos diferenciales excesivos pueden generar fallas en los elementos estructurales de la edificación como vigas, columnas, losas, etc. Según la tabla 5 de la Norma E050 se observa límites de distorsiones angulares para edificaciones.

Tabla N° 5. Tabla de distorsión angular

$\alpha=\delta/L$	DESCRIPCIÓN
1/150	Limite en el que se debe esperar daño estructural en edificios convencionales.
1/250	Limite en que la perdida de verticalidad de edificios altos y rígidos puede ser visible.
1/300	Limite en que se debe esperar dificultades con puentes grúas.

1/300	Limite en que se debe esperar primeras grietas en paredes.
1/500	Limite 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 concretos cimentados sobre un solado con espesor aproximado de 1.20m.
1/750	Limite donde se esperan dificultades en maquinaria sensible a asentamientos.

---

Fuente: Norma E050 Suelos y Cimentaciones

### 2.3.5 Técnicas de mejoramiento de suelos

Son diversos métodos que consisten en mejorar la eficiencia en condiciones de diseño o carga operativa en el sitio de construcción. Estas soluciones pueden ser de manera temporal o permanente de acuerdo a las solicitaciones de la estructura.

Lo que comúnmente se busca mejorar en el terreno son la rigidez, refuerzo, consolidación, drenaje, etc. Estos métodos de mejora pueden ser tanto físicos como químicos, en el caso de cimentaciones lo común es la mejora de la capacidad portante del terreno de modo que puedan soportar las cargas solicitadas sin generar una falla funcional, además de controlar los asentamientos totales y diferenciales.

En la figura 16 se puede observar una clasificación rigurosa de métodos de mejora propuesto por el Profesor James K. Mitchell de la Universidad de Virginia Tech.

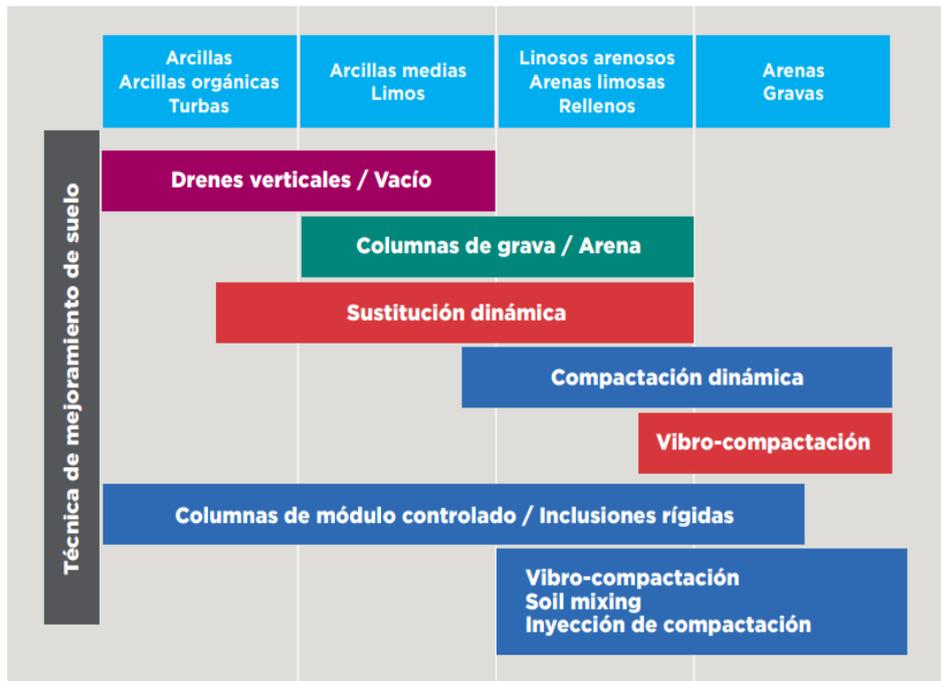


Figura 16: Técnicas de mejoramiento de acuerdo al tipo de suelo

Fuente: Soletanche Bachy (2018)

Algunos métodos más usados son la estabilización con los geosintéticos, columnas de grava, cal en carreteras y terraplenes. Y el Jet Grouting el cual viene siendo usado de mejor manera en la mejora de terrenos de edificaciones.

a) Estabilización con cal

Es una técnica muy usada hace más de cincuenta años mejora la trabajabilidad y capacidad portante del suelo.

La cal es un mineral inorgánico que contiene calcio que consiste principalmente en óxidos e hidróxido, típicamente óxido de calcio e hidróxido de calcio. Dichos materiales también se utilizan como materiales de construcción e ingeniería en grandes cantidades incluyendo cemento, hormigonado, productos de piedra caliza y mortero. (Arun, Kulanthaivel, Selvapraveen, Vinodhkumar y Naveenraj, 2020, p. 3)

En la figura 17 se observa la cal y agregados, normalmente empleada en la construcción de terraplenes, subrasantes de estructuras, carreteras, etc.



*Figura 17: Cal y agregados*

Fuente: Mora R. (2020)

La arcilla contiene sílice y alúmina estos compuestos en contacto con la cal es forman silicatos y aluminatos cálcicos hidratados. La reacción es nombrada “puzolánica” y resuelta en un aumento a la compresión simple.

b) Jet grouting

Es un método costoso para estabilizar suelos consiste en inyectar estabilizadores externos en el suelo creando geometrías in situ de suelo cemento, utilizando un monitor de lechada conectado a un extremo de barras de perforación, los chorros erosionan y mezclan el suelo en medida que la barra de perforación y el inyector de lechada giran y se elevan.

Obtenidos estos parámetros hace posible realizar un diseño adecuado que mejora la capacidad portante requerida, minimizar la licuefacción y reducir los asentamientos totales y diferenciales. Esta técnica se evalúa mediante ensayos y criterios de aceptación del proyecto. La figura 18 muestra el procedimiento de la empleabilidad de la técnica de jet grouting.

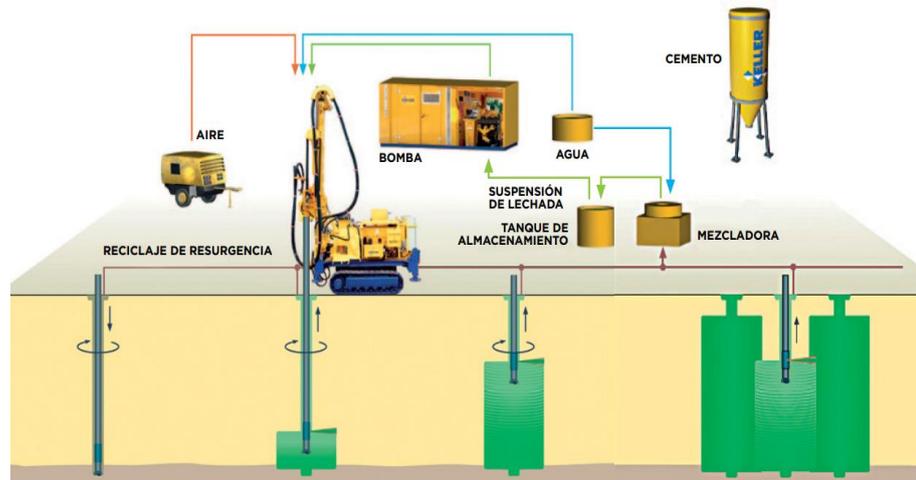


Figura 18: Proceso de ejecución del Jet Grouting

Fuente: Soletanche Bachy (2018)

### c) Geomalla

Las geomallas son elementos planos hechos de polímeros con forma de estructura de malla abierta con elementos de refuerzo llamados costillas, estas costillas están unidas por extrusión, soldadura o entrelazadas entre sí, poseen más resistencia que los geotextiles. Están conformadas por fibras de poliéster de alto modulo estos geosintético son flexibles, mientras que los conformados por fibras de polietileno (unidireccional) o polipropileno (bidireccional y multidireccional) son geo sintético rígidos.

Principalmente están diseñados para absorber los esfuerzos de tensión, esto incrementa la capacidad portante en suelos blandos como limos y arcillas, hace mínimos los movimientos verticales y horizontales del suelo gracias a su propiedad de confinamiento de las partículas del suelo. “La geomalla se puede utilizar para reforzar muros de contención, pendientes pronunciadas y terraplenes, así como para mejorar los parámetros de cizallamiento y deformación del subsuelo bajo un terraplén o una cimentación poco profunda” (Stacho, Sulovska y Slavik, 2020, p. 991)

En la figura 19 se observa el confinamiento del suelo por parte de la geomalla.



*Figura 19:* Fijación de la geomalla en el área de cizallamiento antes de colocar y compactar

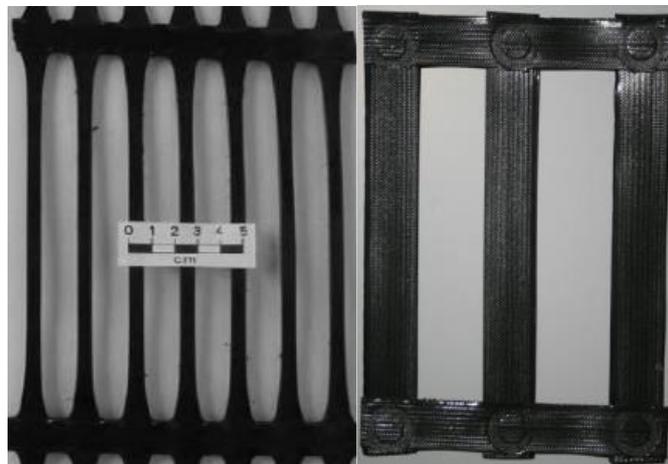
Fuente: Stacho et al. (2020)

#### i. Geomallas uniaxiales

Estas geomallas generan una gran fuerza de tensión en la dirección longitudinal, se utilizan en terrenos de una orografía accidentada y donde se verifica la dirección del esfuerzo principal. Sus ventajas más notorias son aumento de la vida de servicio útil, mejora en la capacidad portante, control de asentamientos diferenciales y refuerzan todo tipo de materiales de relleno.

Su aplicación es en mayor medida en muros y taludes verticales inclinados. Los polímeros empleados para su fabricación son Poliéster de alta tenacidad y Polietileno de alta densidad.

En la figura 20 se observa geomalla uniaxial a la izquierda y geomalla uniaxial soldada a la derecha.



*Figura 20:* Geomalla uniaxial extruida y soldada

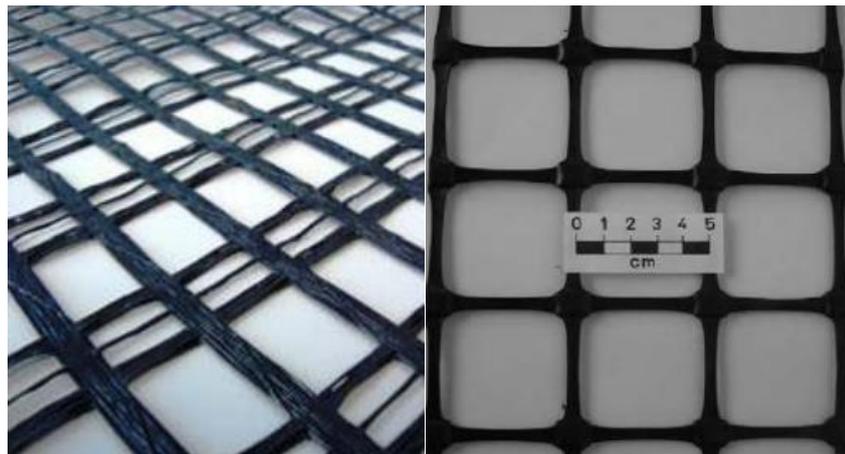
Fuente: Egoavil (2012)

## ii. Geomallas biaxial

Estas geomallas generan una gran fuerza de tensión en la dirección longitudinal y transversal son esencialmente practicados en pavimentos y cimentaciones superficiales. Están fabricadas a partir de una lámina de geotextil perforada inducida a un estiramiento gradual hasta conseguir la forma solicitada.

Poseen una estabilidad dimensional global por tener refuerzos en más direcciones, dando una mejor resistencia a la tracción, sus costillas son fabricadas de manera perpendicular formando grillas donde el suelo es de fácil entrada logrando su confinamiento. Estas geomallas poseen elevadas tolerancias a la tensión, así como una elevada resistencia al momento de su instalación en obra.

En la figura 21 se observa dos tipos de geomalla biaxial, una extruida izquierda y otra tejida derecha.



*Figura 21: Geomalla biaxial extruida y tejida.*

Fuente: Egoavil (2012)

## d) Columna de grava

Es una técnica de mejoramiento de suelo conocida por vibrosustitución mediante vibración profunda y aporte de gravas al terreno densificando y desplazando el terreno, esto forma columnas de grava y este a su vez incrementa la capacidad portante del suelo y disminuye los asentamientos los asentamientos diferenciales y totales, incluso mitiga la licuefacción producida por un sismo.

El principio básico de la realización de esta técnica consiste en preparar la máquina y posicionarlo en el punto de trabajo, la máquina se apoya

sobre apoyos hidráulicos garantizando la verticalidad del mástil, la maquina penetra el suelo con un vibrador eléctrico hincando y desplazando el terreno hasta la profundidad diseñada, luego al momento que sale el vibrador lentamente sale la grava y rellena el terreno desplazado por el vibrador. Al final queda conformada la columna de grava de abajo hacia arriba, este procedimiento es realizado en los puntos del terreno que solicite el estudio del proyecto.

Los vibradores se usan generalmente en dos variantes.

**Top fedd o vía Húmeda** En este método se emplea el agua como ayuda al vibrador eléctrico.

“En este método, el vibrador profundo va unido a tubos de extensión y suspendido de una grúa. El vibrador penetra en el terreno por su peso propio, vibración y barrido con agua a gran caudal. Una vez alcanzado el fondo planificado de la columna, se inicia el aporte de grava en superficie. El vibrador se extrae lentamente, realizando movimientos ascendentes-descendentes, para dejar pasar la grava por el espacio anular y luego compactarla contra el terreno” (Fernández, 2018, p. 2).

**Bottom fedd o vía seca** en este método se utiliza el aire comprimida sin nada de agua.

“En este método, el conjunto se baja desplazando el terreno, sólo acompañado por aire comprimido, pero básicamente sin extracción de finos o suelo. Es importante destacar que el equipo cuenta con una compuerta superior, de forma que durante el aporte de la grava se presuriza el interior del tubo con aire comprimido, para evitar el sifonaje de la arena cuando se ejecutan columnas de grava en arena o limo bajo agua” (Fernández, 2018, p. 2).

En la figura 22 se muestra el procedimiento implementación de las columnas de grava al terreno.

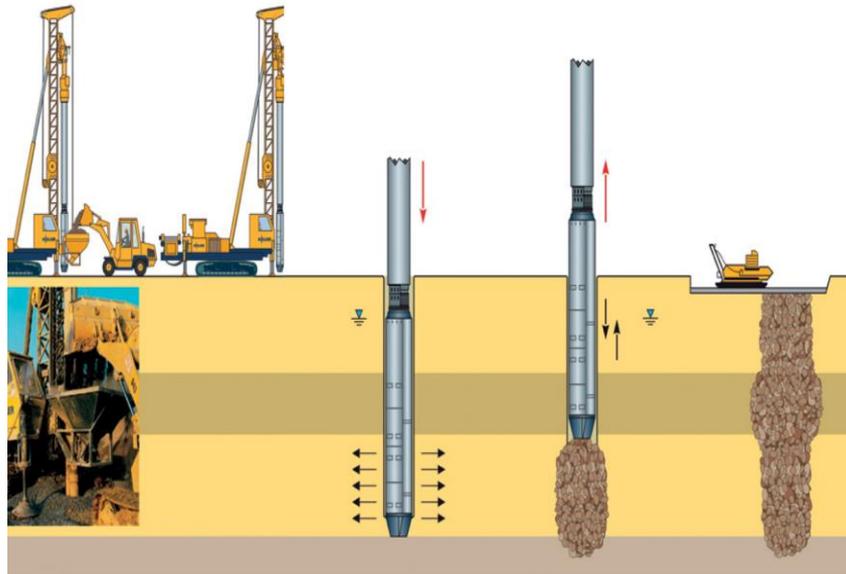


Figura 22: Implementación de columna de grava vía seca

Fuente: Soletanche Bachy (2018)

### 2.3.6 Metodologías de cálculo para el refuerzo del suelo con geomallas.

Existen muchos métodos de cálculo entre los analíticos y numéricos, para cuantificar el aumento de la capacidad portante del suelo y sus características ingenieriles. Metodologías que van de la mano de acuerdo a cada técnica de mejoramiento de suelos.

“Numerosos estudios analíticos han contribuido al conocimiento de la interacción suelo-estructura realizada por varios investigadores hacia la capacidad portante de cimientos de suelo reforzados con geomallas. Además, se han llevado a cabo modelos numéricos innumerables que han permitido ahorrar tiempo y costes para investigar la capacidad portante y el asentamiento de suelo reforzado” (Ibrahim, Mohd, Shazwani, Razuhanafi, Mutalib y Abang, 2018, p.2)

#### a) Método de elementos finitos (MEF)

Es un método numérico utilizado para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales complejas que caracterizan el comportamiento físico del problema. Los ordenadores ayudan en su desarrollo debido a que se necesitan de demasiados cálculos a ecuaciones complejas mediante iteraciones a geometrías complicadas, además existen diversos modelos constitutivos que se emplean para el cálculo.

“Desarrollar un prototipo a escala real o a escala reducida conduce a un alto costo y un laboratorio equipado. Para abordar esta

situación es necesario utilizar métodos de análisis numérico con apreciaciones razonables, como el análisis de elementos finitos; que forma parte de una técnica numérica muy general para resolver diversos problemas geotécnicos y diversos fenómenos físicos de interés en ingeniería” (Aquise y Torres, 2015, p.4).

El programa de ingeniería que mejor emplea el (MEF) es el Plaxis 2D.

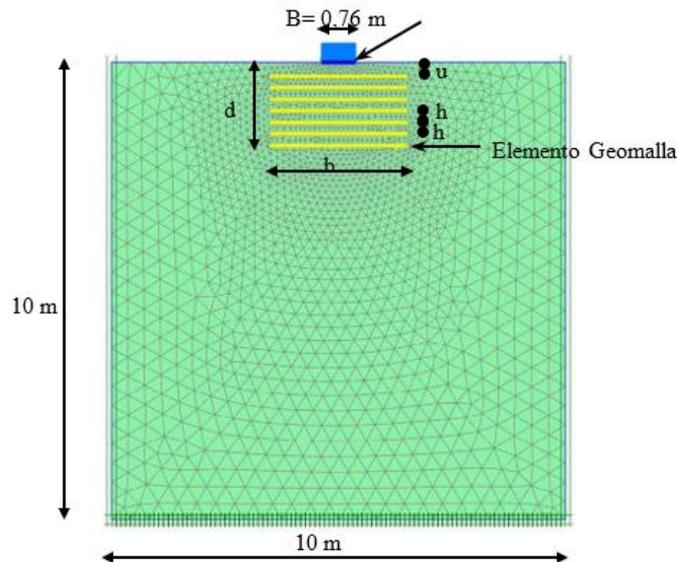


Figura 23: Prototipo del modelo de zapata, generó malla y condiciones de contorno.

Fuente: Arab, Maher y Tahmaz (2017)

En la figura 23 se observa el modelado de una zapata y la discretización del elemento previo a su evaluación.

El modelo constitutivo de Mohr Coulomb representa mejor la relación entre la tensión y deformación de los materiales.

“El modelo de Mohr-Coulomb se considera como un enfoque de primer orden para el comportamiento no lineal del suelo. Es un modelo perfecto de plástico elástico (isotrópico) desarrollado a partir de la composición de la ley de Hooke, que puede simular suelos granular suelto o fino normalmente consolidado” (Aquise y Torres, 2015, p.4).

En el modelado FEM se requieren parámetros de los materiales como el suelo, geomallas, la zapata es considerado como un elemento tipo placa y la fuerza de interfaz de Rinner.

“Este factor relaciona la resistencia de la interfaz con la resistencia del suelo (ángulo de fricción y cohesión). Se utiliza un elemento

de interfaz entre el suelo y la geomalla que tenía el valor típico de  $R_{inter} = 0,85$ . Este factor relaciona la resistencia de la interfaz con la resistencia del suelo” (Gamal, Belal y Elsoud, 2016, p.2).

“Una característica adicional del modelo es que la función de potencial elástico depende del parámetro: ángulo de dilatación; de modo que las deformaciones plásticas son proporcionales a la derivación del potencial plástico. Cuando el ángulo de dilatación es igual al ángulo de fricción, se llama plasticidad asociada” (Aguise y Torres, 2015, p.4).

Abdolhosseinzadeh, Samui, Samaei y Garousi (2022) afirman. “El FEM puede adaptarse fácilmente al modelado de elemento a elemento de diferentes tipos de propiedades de materiales, y también las condiciones de contorno se pueden incorporar fácilmente en el FEM” (P.3).

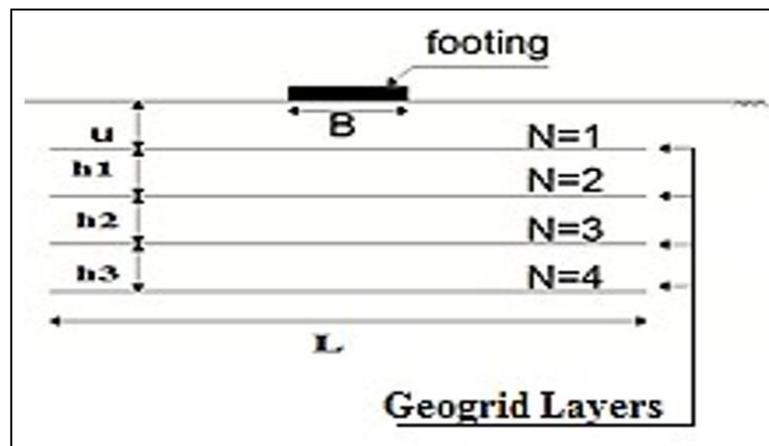


Figura 24: Diseño de geomalla

Fuente: Gamal, Belal y Elsoud (2016)

En la figura 23 se muestra el diseño del refuerzo del suelo con geomallas para una cimentación superficial.

Dónde:

$B$  = Ancho de la base de zapata (m)

$U$  = La profundidad de la primera capa medida desde la cara inferior de la zapata

$h$  = El espaciado vertical entre las capas consecutivas del refuerzo

$N$  = Numero de capas de refuerzo

$L$  = Longitud de la geomalla

Las geomallas consideradas elementos flexibles con una rigidez normal y sin rigidez de flexión. Para modelar la geomalla se utiliza un elemento constitutivo elastoplástico, se parámetros de ejemplo en la tabla 6.

Tabla N° 6. Propiedades mecánicas de la geomalla

Nombre de la geomalla	Forma de apertura	Tamaño de apertura (mm x mm)	Espesor de malla (mm)	Resistencia a la tracción (KN/m)	Rigidez axial (KN/m)	Masa por unidad de área (gr/m <sup>2</sup> )
CE121	Oval	6 x 8	3.3	45	500	730

Fuente: Abdolhosseinzadeh et al. (2022)

El suelo es constituido de acuerdo a la modelo de Mohr-coulomb estima aproximación de primer orden del comportamiento real del suelo. Es un modelo elastoplástico necesita parámetros como los observados en la tabla 7.

Tabla N° 7. Propiedades mecánicas del suelo

Suelo	Peso unitario seco $\gamma_{seco}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Peso unitario saturado $\gamma_{sat}$ (KN/m <sup>3</sup> )	Módulo de Young E (Kipá)	Relación de Poisson (Vnu)	Cohesión C (Kipá)	Ángulo de fricción ( $\phi$ )	Ángulo de dilatación ( $\psi$ )
Arena	14.25	16.5	30,000	0.33	2	36.2	2

Fuente: Abdolhosseinzadeh et al. (2022)

Las zapatas se modelan como una placa con parámetros de acero, como se observan en la tabla 8.

Tabla N° 8: Propiedades de la placa

$\gamma$ Acero	Módulo de Young E (Kipá)	Espesor (cm)	Ancho (cm)	EA-rigidez axial (KN/m)	EI-Rigidez de flexión (KN.m <sup>2</sup> /m)	Peso propio (KN/m/m)
78.4	2.00E+08	1	100	150000	1.25	0.0588

Fuente: Gamal, Belal y Elsoud (2016)

Para el diseño de refuerzo con geomalla se hace indispensable la utilización de la matriz de modelado de elementos finitos, que se muestra

en la figura 25 para el caso de fuerza única y múltiple, la misma matriz para el estudio experimental.

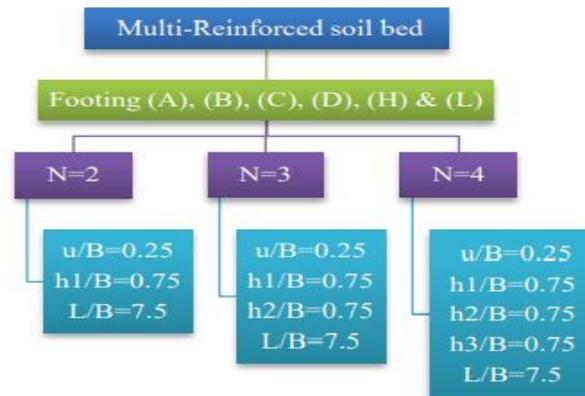


Figura 25: Modelo experimental matrix multilecho de suelo reforzado

Fuente: Gamal, Belal y El-Soud (2016)

Las propiedades mostradas del suelo, geomalla y zapatas son necesarias para el modelado y diseño del análisis numérico (FEM) en el programa Plaxis 2D.

#### b) Métodos Analíticos

Los métodos analíticos son ensayos ejecutados en laboratorio con escala reducida y a escala real para su análisis y cuantificación de resultados. Existen diversos métodos analíticos entre los más destacados se encuentran:

##### i. Método de Koerner

Neto, Bueno y Futai (2013) afirman. “Koerner (1994) desarrolló un método de cálculo de la capacidad de carga al agregar la mejora de la geocelda por el efecto de confinamiento a la capacidad de carga de cimentación poco profunda cargada estáticamente” (p.131).

$$Pr = 2kap \tan \delta + cNcSc + qNqSq + \frac{1}{2} \gamma BN\gamma S\gamma \dots \dots (10)$$

Donde en la fórmula 10 se muestra el cálculo de la capacidad de carga reforzada.

Pr = Capacidad de carga reforzada

K<sub>a</sub> = Coeficiente de presión de tierra activa

P = La carga aplicada a la estera del geosintético

δ = Interfaz de ángulo de cizallamiento de la pared celular y el suelo de relleno

C = Cohesión del suelo de la subrasante

Q = Carga de recargo

$\gamma$  = Peso unitario del suelo

B = Ancho de carga

$N_c, N_q, N_a$  = Factores de capacidad de carga

$S_c, S_q, S_\gamma$  = Factores de forma

ii. Método Presto

Neto et al. (2013) afirman. “Presto (2008) desarrolló un método teórico de capacidad portante para suelos reforzados con geoceldas basado en métodos de diseño derivados empíricamente para carreteras sin pavimentar sobre suelos blandos” (p.131).

$$Pr = 2 \frac{h}{d} K_a \sigma_v m \tan \delta + C u N_c \dots \dots (11)$$

Donde en la fórmula 11 se muestra el cálculo de la capacidad de soporte reforzada.

Pr = Capacidad de soporte reforzada

h/d = Relación de aspecto de la geocelda

$K_a$  = Coeficiente de presión de tierra activa

$V_m$  = Tensión vertical media

$C_u$  = Resistencia al cizallamiento

$N_c$  = Coeficiente de capacidad de carga

iii. Método de Cohesión aparente

Este método recopila estudios de laboratorio realizado por diversos trabajadores. Neto et al. (2013) sugieren. “En el análisis de estas investigaciones, el refuerzo de la geocelda se consideró una capa de suelo de cimentación adicional con fuerza cohesiva que mejora la capacidad de carga de la subrasante” (p.131)

$$I = \frac{M}{d_0} \left( \frac{1 - \sqrt{1 - \varepsilon a}}{1 - \varepsilon a} \right) * \sqrt{Kp} \dots \dots (12)$$

Donde en la fórmula 12 se muestra el cálculo de la mejora de la geocelda

I = Cohesión aparente del suelo inducida por el confinamiento del suelo

M = Módulo de membrana obtenida de la curva carga – elongación

$d_0$  = Tamaño inicial de bolsillo de geocelda

$\varepsilon_a$  = Deformación axial en falla

$K_p$  = Coeficiente de presión pasiva del suelo

iv. Método de Wayne

“El método aquí propuesto será el de Wayne et al. (1998), en que los autores proponen una adaptación de la fórmula de Meyerhof y Hanna (1978) desarrollada para el caso de una camada de arena sobreyacente a una camada de arcilla, con la ruptura ocurriendo por punción. La adaptación tiene por objetivo prever la capacidad de carga de un perfil de suelo con dos camadas (arena-arcilla), con un geosintético posicionado en la interfaz de las camadas, que contribuye con una determinada resistencia a tracción” (Ojea, Oliveira, dos Santos y Chiari, 210, p.90).

$$q_{ult} = q_b + 2C_{a(B+L)} \frac{d}{B+L} + \gamma d^2 \left(1 + 2 \frac{D_f}{d}\right) K_s(B+L) \frac{\tan \phi}{B.L} + 2(B+L) * \frac{T}{B.L} - \gamma d \dots \dots (13)$$

$q_b$  = capacidad de carga última del suelo de fundación abajo de la zona reforzada

$B$  = ancho de la fundación directa

$L$  = largo de la fundación directa

$d$  = profundidad total del refuerzo

$D_f$  = profundidad de engaste de la fundación directa

$K_s$  = coeficiente de empuje de la camada de suelo reforzada

$T$  = resistencia a tracción del geosintético

2.3.7 Metodologías de cálculo para el refuerzo del suelo con Columnas de grava

Existen numerosos métodos de cálculos el cual podemos mencionar el Método de Priebe que es utilizado frecuentemente en Europa, en España el método propuesto en la Guía de Cimentaciones (2002), en USA el método de Goughnour y Bayuk (Kirsh y Kirsch, 2010) y actualmente el método analítico que permite calcular la evolución de los asentos con el tiempo es de Castro y Sagasetta (2009). A continuación, se describe los siguientes métodos:

a) Método de Priebe (1976/1995)

Es un método el cual ha mejorado a través del tiempo desde 1976 al 1995 basándose en el concepto celda unidad. Los datos a obtener es el factor de mejora ( $n$ ) adoptando un coeficiente de Poisson del suelo  $1/3$  según la figura 26.

Siendo su aplicación práctica se asume que la columna está apoyada en una capa dura donde se calcula la deformación vertical del suelo y se ignora las deformaciones verticales causadas por la deformación horizontal causada por tensión vertical y tensión horizontal.

“El método proporciona unos resultados razonablemente próximos a la realidad, haciendo intervenir los parámetros significativos del problema: módulos edométricos de suelo y columna, razón de sustitución y ángulo de rozamiento de la grava” (Sagasetta, 2006).

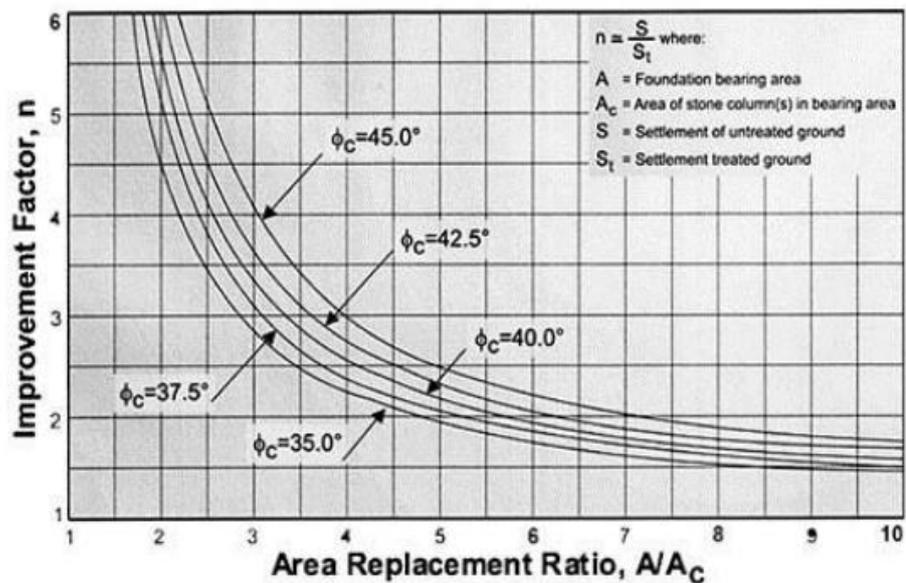


Figura 26: Factor de mejora básico ( $n_0$ )

Fuente: Priebe (1995).

b) Método de homogeneización o edométricos

Uno de los métodos más empleado similar al método elástico, el cual permite obtener los parámetros del suelo mejorado con columnas de gravas. Este método considera que el asiento de la columna y el suelo van a ser los mismos tal como se muestra en la figura 27.

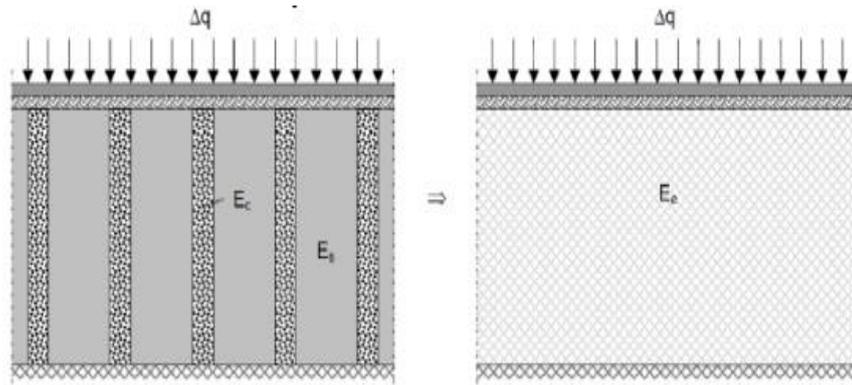


Figura 27: Método homogeneización

Fuente: Tejada Gómez (2017)

El factor de mejora puede determinarse con la siguiente expresión:

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{Ac}{A} * \left( \frac{Ec}{Es} - 1 \right) \dots\dots (14)$$

Dónde:

$E_c$ =módulo de elasticidad de las columnas

$E_s$ =módulo de elasticidad del suelo

$A_c$ =área de las columnas

$A$ =área de la celda equivalente

$\beta$ =razón de asientos

c) Método de Ballam y Brooker (1981)

Es similar al método de Priebe, donde se considera un cilindro en condiciones triaxiales expuesto a una tensión vertical y radial; sujetos a una expansión de una cavidad cilíndrica por presión radial en su pared y al mismo tiempo una cierta presión vertical en su superficie. Lo cual los asientos de columna-suelo se establecen la igualdad y afinidad con el equilibrio en la pared vertical de la interfaz columna-terreno.

En la figura 28 se muestra la celda unitaria equivalente según la separación de las columnas de gravas.

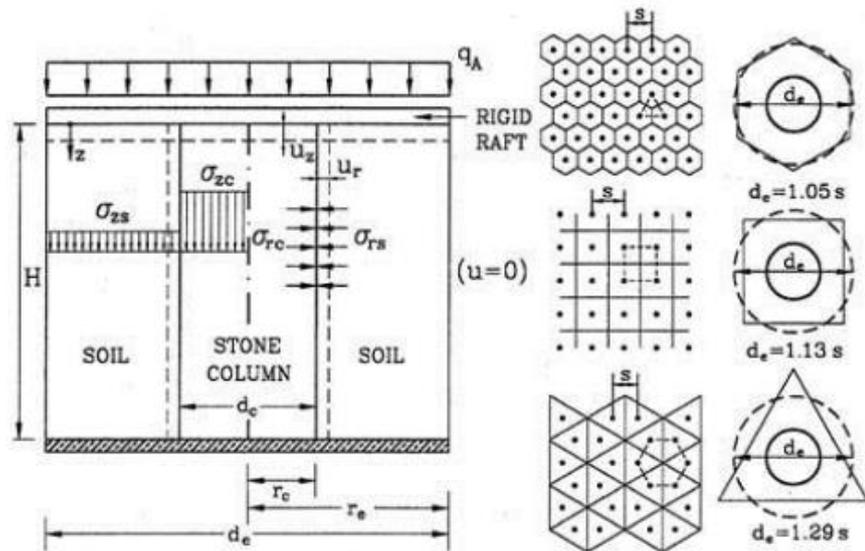


Figura 28: Celda unitaria equivalente

Fuente: Ballam y Brooker (1981)

d) Castro y Sagaseta (2009)

Este método se basa en el concepto de celda unidad en el que se incluye la deformación radial de las columnas en donde se asume el comportamiento del suelo elástico, pero es considerado deformaciones plásticas para las columnas.

Estos autores presentan una solución analítica teniendo en cuenta la plastificación de la columna y al despreciar las tensiones tangenciales estos requieren soluciones numéricas. A consecuencia de ello, Castro y Sagaseta presentaron una solución analítica el cual permite analizar las deformaciones en la columna y el suelo circundante con el proceso de consolidación.

e) Método de Van Impe-De Beer (1983)

El método es parecido al de Priebe y presenta la peculiaridad de trabajar en dos dimensiones así como se presenta en la figura 29, donde se considera una pantalla indefinida en deformación plana en lugar de la celda unitaria cilíndrica con espaciamiento entre el ancho igual a la razón de sustitución de la malla.

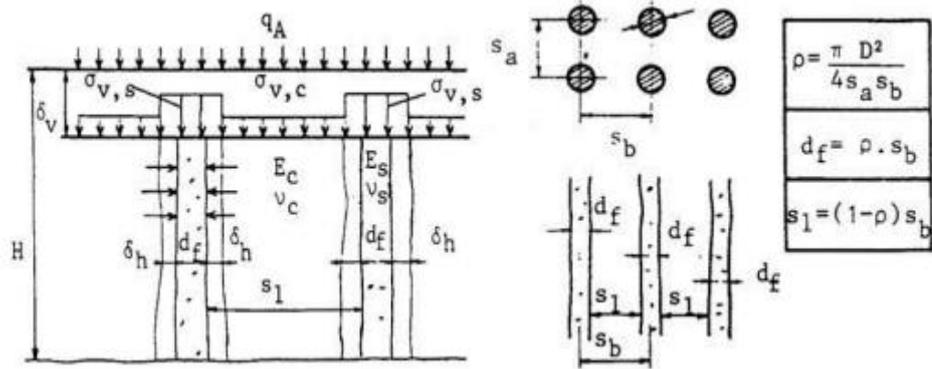


Figura 29: Pantalla infinita equivalente

Fuente: Van Impe-De Beer (1983)

#### f) Elementos finitos

La simulación mediante elementos finitos se ha llevado a cabo mediante el código comercial Plaxis 2D 2017. Este se desarrolló en el año 1987, donde el primer objetivo era crear un código sencillo de elementos finitos y está compuesto por 4 subprogramas (input, calculations, output, curves).

### 2.4 Definición de términos básicos

**Asentamiento:**

Deformación gradual vertical de una masa de suelo debido a una carga transmitida.

**Capacidad de carga:**

Esfuerzo vertical al cual es sometido una masa de suelo por la construcción de una estructura sobre este, sin que llegue a una falla funcional.

**Cimentación:**

Parte de la estructura de una edificación capaz de transmitir cargas al terreno.

**Consolidación:**

Proceso de disminución del volumen del suelo debido a la pérdida de presión intersticial, influenciado por el constante incremento de un esfuerzo de compresión.

**Módulo de elasticidad:**

Es la relación entre el esfuerzo y la deformación unitaria de un material en el rango de su comportamiento elástico.

**Nivel freático:**

Altura en el que se encuentra el agua debajo del estrato de suelo.

Vibro flotación:

Técnica que consiste en la densificación in situ de un estrato de suelo y con la sustitución de capas de agregados granulares.

Compactación:

Actividad física donde se emplea energía de instrumentos y maquinarias para reacomodar las partículas del suelo eliminando sus vacíos, aumentando su capacidad portante y disminuyendo la permeabilidad.

Geo sintético:

Es un material hecho por polímeros sintéticos, empleados comúnmente para la mejora de las propiedades ingenieriles de los suelos de construcción.

Limos:

Es un sedimento caustico incoherente depositados sobre los lechos inundados con un diámetro de particular de 0.0625 mm promedio, poseen buena capacidad de retención de humedad y de fácil deformación.

Arcillas:

La arcilla es un sedimento compuesto por silicatos de aluminio hidratado procedentes de la composición de rocas que poseen feldespatos como el granito sonde grano mucho más fino que los limos, su conductividad hidráulica es muy baja, generalmente estos suelos son muy malos para la cimentación de estructuras.

## 2.5 Fundamentos teóricos que sustentan la hipótesis

### 2.5.1. Esquema desarrollo de hipótesis

La figura 30 muestra el esquema de cómo se desarrollará el trabajo de investigación hasta demostrar las hipótesis. Lo que se busca hacer es mejorar la capacidad portante de suelos, emplear geomallas y columnas de grava para mejorar la capacidad portante de suelos bajo cimentaciones superficiales en edificaciones de salud.

Con la finalidad de aumentar la capacidad de carga, disminuir asentamientos, determinar el costo más rentable de las técnicas y determinar la durabilidad de las técnicas. Se busca demostrar que aumenta la capacidad portante de los suelos y disminuye los asentamientos.

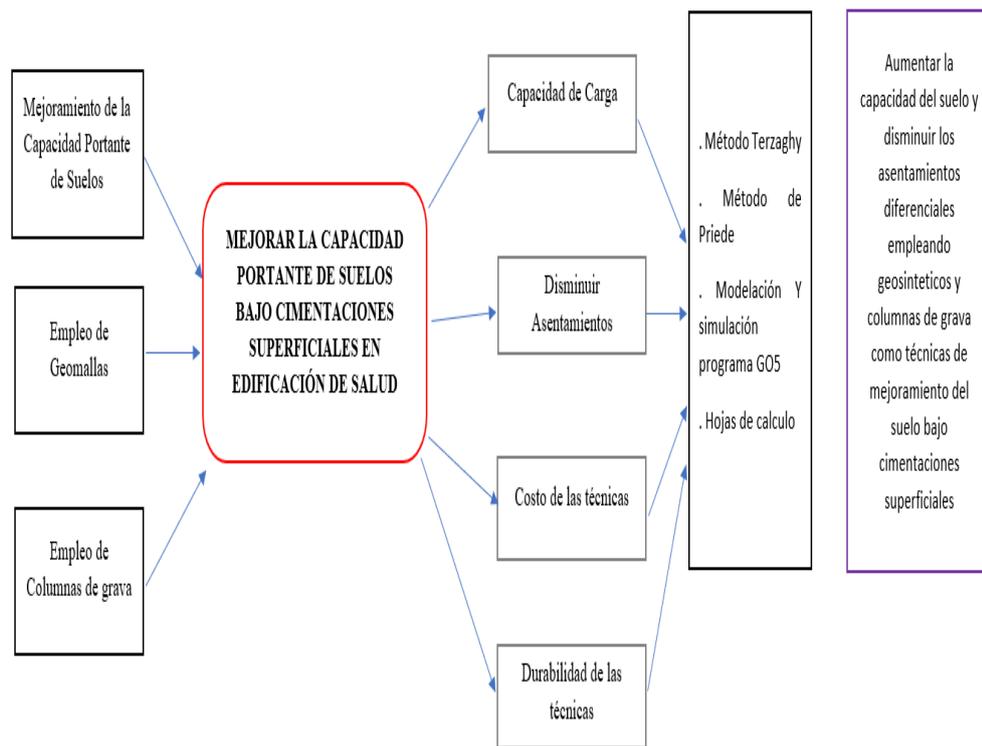


Figura 30: Esquema de desarrollo de hipótesis

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS**

### 3.1 Hipótesis o supuestos teóricos

#### 3.1.1 Hipótesis general

El diseño de geomallas y columnas de grava mejora la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura.

#### 3.1.2 Hipótesis específicas

- a) El refuerzo del suelo con geomallas incrementa la baja capacidad portante y reduce los asentamientos bajo cimentaciones superficiales.
- b) El refuerzo del suelo con columnas de grava reduce los asentamientos y aumenta la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.
- c) La geomalla es la técnica que mejor aumenta la baja capacidad portante y reduce asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

### 3.2 Variables

#### 3.1.3 Definición conceptual de las variables

##### a) Variable independiente

Se define como variable independiente cualitativa al término mejoramiento de suelos porque será evaluada de manera descriptiva en lo que respecta a las técnicas de mejoramiento de geomallas y columnas de grava ambas mejoran la capacidad portante del suelo.

##### b) Variable dependiente

Se define como variable dependiente cuantitativa al término capacidad portante debido a que se medirá el refuerzo del suelo y los asentamientos empleando las técnicas de suelos de geomallas y columnas de grava.

### 3.1.4 Operacionalización de las variables

Tabla N° 9. Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Índice	Und. De medida	Escala	Instrumento	Herramienta	
Capacidad Portante	Refuerzo del suelo	Geología local	Tipo de suelo Capacidad portante de suelos	KN/Cm <sup>2</sup>	Cuantitativa continua	Proceso y Análisis Jerárquico de la mejora de las propiedades mecánicas del suelo	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Normas técnicas E.030 Sismorresistente, E.050 Suelos y Cimentaciones y E.060 Concreto Armado. Norma American Society for Testing and Materials – ASTM. Expediente técnico	
		Propiedades	Cohesión	KPa	Cuantitativa continua			
			Peso específico	KN/m <sup>3</sup>	Cuantitativa continua			
	Influencia externa	Sobrecarga	Kpa	Cuantitativa continua				
		Presión intersticial	KN/m <sup>2</sup>	Cuantitativa continua				
	Asentamiento	Exposición	Localización de vivienda de acuerdo a su topografía y tipo de edificación	Grados				
			Evaluación de problemas	Consolidación	m			Cuantitativa continua
		Geomalla	Estructura	Poliéster y Polietileno	Adimensional			
				Uniaxial	Adimensional			
			Empleo	Biaxial Cuadro de datos técnicos	Adimensional			
Columna de grava	Vibradores	Top fedd o vía Húmeda	Adimensional					
		Bottom fedd o vía seca	Adimensional					
	Empleo	Estimación de costos	soles					

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: MARCO METODOLÓGICO

### 4.1 Método de investigación

La presente investigación se desarrolló por el método deductivo, porque reconoce y evalúa la variable de mejoramiento de suelos y su influencia en la capacidad portante, plantea hipótesis para el objetivo general y específicos, operacionaliza las variables y se propone una solución al problema de la baja capacidad portante de suelos. Con una orientación aplicada ya que propone reforzar suelos blandos como limos y arcillas para mejorar la capacidad portante de suelos. Posee un enfoque cuantitativo, en los resultados se observan indicadores, tablas comparativas, gráfica y porcentajes la recolección de datos es retrolectivo, porque los datos del estudio geotécnico se obtuvieron de un ETO, además de metodologías de cálculo para cuantificar nuestros objetivos.

Finalmente, la investigación fue de tipo descriptivo, explicativo y correlacional debido a que estudia la relación entre las variables dependiente e independiente, explicando que a un buen mejoramiento de suelo incrementa su capacidad portante, Además describe la realidad problemática de los suelos blandos de baja capacidad portante las causas que lo originan y sus consecuencias. El diseño es experimental, longitudinal y prospectivo, ya que se manipula el mejoramiento de suelos para la mejora de su resistencia empleando más de una medida para verificar que existe el aumento en su capacidad portante.

### 4.2 Tipo de investigación

El tipo de investigación fue descriptivo-explicativa-correlacional.

#### a) Descriptivo

Se describió la realidad problemática acerca de los suelos blandos de baja capacidad portante, como afecta a la cimentación en las edificaciones de salud.

#### b) Explicativo:

Se explicó las causas de la baja capacidad portante de suelos, su comportamiento ante elevadas cargas y las consecuencias que sufre la estructura cimentada si no se emplea una técnica de reforzamiento debida.

#### c) Correlacional:

Los documentos consultados de los investigadores llegaron a demostrar el aumento de la capacidad portante del suelo, empleando técnicas de refuerzo del suelo.

#### 4.3 Nivel de investigación

El nivel de investigación fue de tipo descriptivo, porque describe las condiciones del suelo de cimentación en el Centro de Salud Limón de Porcuya, técnicas de mejoramiento del suelo, características de las técnicas de mejoramiento de suelos de geomallas y columnas de grava.

#### 4.4 Diseño de investigación

El diseño de la investigación fue experimental, porque manipula la variable de mejoramiento de suelos para la modificación en la resistencia del suelo. Fue longitudinal, debido a que se toma más de una medida en el empleo de las técnicas de mejoramiento de suelos. Además, fue prospectivo ya que la data que se obtiene es por la experimentación que se realiza con las variables.

Tabla N° 10. Resumen de tipologías de referencias

Autor	Titulo	Investigación					Estudio de diseño	
		Método	Orientación	Enfoque	Tipo	Nivel	Diseño	
Berlanga M. (2018)	Análisis comparativo de cimentaciones superficiales y uso de geo-sintéticos en suelos de baja capacidad portante.	Inductivo	Aplicada	Cuantitativo	Explicativa, Descriptiva y Correlacional	Aplicativo, Explicativo y Descriptivo	Experimental	Ensayo-laboratorio
Sedano J. & Sedano D. (2019)	Propuesta técnica – económica para el diseño de la cimentación en el lote O10 del condominio playa Azul distrito de Cerro Azul.	Inductivo	Aplicada	Cuantitativo	Explicativa, Descriptiva y Correlacional	Aplicativo, Explicativo y Descriptivo	Experimental	Ensayo-laboratorio
Valdiviezo K. (2019)	Uso de columnas de grava compactada para aumentar la capacidad portante del suelo en la avenida Sánchez Cerro entre la avenida Chulucanas y avenida Mártires de Uchuraccay, ubicada en el distrito de Piura – provincia de Piura – departamento de Piura.	Inductivo	Aplicada	Cuantitativo	Descriptiva y Correlacional	Explicativo y Descriptivo	Experimental	Ensayo-laboratorio
Chávez D. & Ruiz F. (2019)	Evaluación técnico económica utilizando Geomallas y afirmado en cimentaciones superficiales, caso: Lote 37 de la Urb. Brisas de Oquendo – Callao	Inductivo	Aplicada	Cuantitativo	Explicativa, Descriptiva y Correlacional	Aplicativo, Explicativo y Descriptivo	Experimental	Ensayo-laboratorio
Mendoza D. & Paitan A. (2020)	Columnas de grava para reducir los asentamientos de una estructura hospitalaria cimentada sobre arcilla de alta plasticidad en San Ignacio, Cajamarca.	Inductivo	Aplicada	Cuantitativo	Descriptiva y Correlacional	Explicativo y Descriptivo	Experimental y retrospectivo	Estudio de casos y controles

Fuente: Elaboración propia.

## 4.5 Población y muestra

### 4.5.1 Población

El trabajo de investigación utilizó como población a los centros de salud de la Región Piura por ser una región característica de suelos de depósito aluvial teniendo como principal inclusión los centros de salud cimentados sobre suelos blandos de baja capacidad de soporte y con problemas estructurales en su cimentación.

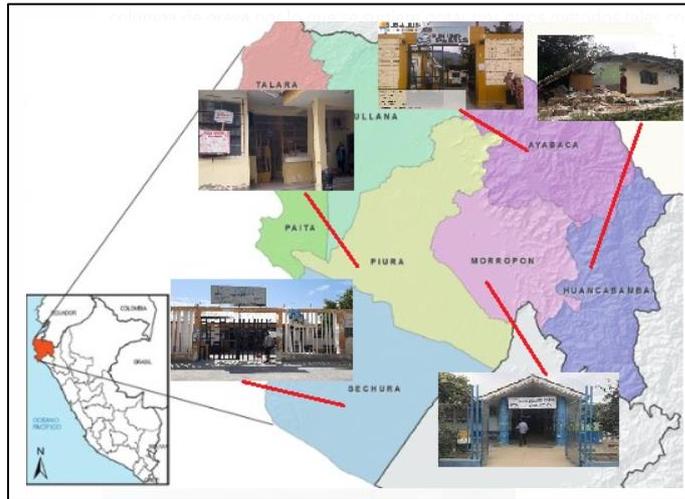


Figura 31: Edificaciones de salud en mal estado en la región de Piura

Fuente: Elaboración propia

### 4.5.2 Muestra

La muestra es la edificación de salud Limón de Porcuya distrito de Huarmaca, provincia de Huancabamba y Región de Piura. Se escoge este centro de salud debido a que las observaciones y mediciones de las variables pertinentes demuestran un suelo de baja capacidad de soporte, elevados asentamientos y una cimentación poco adecuada al tipo de suelo, hace ideal este centro de salud para la experimentación.



Figura 32: Edificaciones de salud Limón de Porcuya

Fuente Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

#### 4.6 Técnicas de instrumentación y recolección de datos

##### 4.6.1 Instrumento de recolección de datos

Los instrumentos de recolección que se emplearon fueron: hojas de cálculo (Microsoft Excel), libros, programa PLAXIS 2D y archivos relacionados con el tema de investigación.

##### 4.6.2 Métodos y técnicas

La información fue facilitada a través de un informe de Estudio de Mecánica de Suelos.

#### 4.7 Descripción de procesamiento de análisis

La información se recopiló de un informe de Estudio de Mecánica de Suelos por lo cual la información se analizó y proceso mediante cálculos analíticos y numéricos explicadas en el marco teórico y con ayuda de programa computacionales como Microsoft Excel 2013 y PLAXIS 2D, mediante cual se pudo analizar los métodos de refuerzo del suelo para aumentar la capacidad portante y realizar una posterior comparación para escoger la técnica más adecuada.

## **CAPÍTULO V: PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### 5.1 Diagnóstico y situación actual

El antiguo centro de salud Limón de Porcuya al ser una edificación antigua presentaba muchas deficiencias estructurales, además no cubría la demanda población en lo que respecta a atenciones médicas.

En el ET del proyecto contractual a la ejecución del nuevo centro de salud Limón de Porcuya en lo que respecta al sistema estructural, planteaba zapatas de cimentación poco profundas de base entre 0.60 m a 2 m a nivel de cimentación de 1.5 m, dando como resultados carga admisibles muy bajas de 0.79 kg/cm<sup>2</sup> a 0.86 kg/cm<sup>2</sup> y elevados asentamientos como 3.2 cm. Por lo que optaron por cambiar el sistema de zapatas aisladas por una platea de cimentación que minimice los efectos de baja capacidad portante y elevados asentamientos.

Por lo tanto, en la tesis expuesta se soluciona los mismos problemas de baja capacidad portante y elevados asentamientos de la edificación, realizando el diseño y el cálculo del refuerzo de suelo de cimentación con las técnicas de refuerzo de geomallas y columnas de grava empleando métodos numéricos y analíticos para su desarrollo.

#### 5.1.1 Ubicación del Proyecto

El centro de salud Limón de Porcuya se encuentra ubicado en el centro poblado Limón de Porcuya, distrito de Huarmaca, provincia de Huarmaca de la Región Piura. Como se muestra en la tabla 11.

Tabla N° 11. Ubicación regional

<b>DIVISIÓN</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Región	Piura
Provincia	Huancabamba
Distrito	Huarmaca
Dirección	Calle Daniel Alcides Carrión - Centro Poblado Limón de Porcuya

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)



*Figura 33:* Actual centro de salud Limón de Porcuya

Fuente: SkyscraperCity



*Figura 34:* Actual centro de salud Limón de Porcuya

Fuente: SkyscraperCity

### 5.1.2 Ubicación Geográfica

El centro de salud de Limón de Porcuya se encuentra en la zona UTM 17S a una altitud de 1584 msnm. La tabla 12 muestra la ubicación en coordenadas UTM, latitud y longitud.

Tabla N° 12. Ubicación geográfica

COORDENAS UTM		COORDENADAS GEOGRAFICAS		ALTI TUD (msnm)
Norte	Este	Latitud	Longitud	
9348755.12	661,881.33	5°53'23.61" S	79°32'15.73" W	1584

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)



Figura 35: Ubicación geográfica

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

### 5.1.3 Condición Climática y altitud de la zona

El distrito de Huarmaca y el Centro Poblado Limón de Porcuya tiene un clima variado está influido por la gradiente térmica que se da a las diferentes alturas, así tenemos un clima frío en las partes altas o jalcas, cuya temperatura oscila entre los 10 y 13 grados centígrados, templado en la zona intermedia o quechua, con una temperatura que oscila entre 15 y 20 grados centígrados; y cálida en las partes bajas o yungas, cuya temperatura oscila entre 20 y 28 grados centígrados. La estación lluviosa se presenta de enero a abril donde se observa espesa neblina que impide la visibilidad acompañada ocasionalmente de relámpagos y truenos y durante los meses de Julio y agosto hay presencia de vientos fuertes que pueden afectar los sembríos y viviendas.

### 5.1.4 Descripción del terreno en estudio

#### a) Topografía de la Zona

Del levantamiento topográfico realizado tenemos las siguientes consideraciones:

- El área de estudio se encuentra en una zona montañosa, con un desnivel importante en la parte posterior del predio.
- El área del predio es de 2,799.50 m<sup>2</sup> y un perímetro de 210.17 ml.
- El predio se encuentra en una terraza plana con un talud transversal de 20° descendente (Ver Figura 36)



Figura 36: Topografía del área de estudio

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

b) Estudio geotécnico de la zona

Se obtuvieron datos paramétricos del suelo proporcionados en el informe de mecánica de suelos en donde se realizó la exploración de campo mediante métodos directos tipo calicatas. La cantidad de calicatas se obtuvo según lo indicado en la Norma E.050, el cual ejecutaron 3 calicatas (C-1, C-2, C-3) a una profundidad de 3 metros para obtener una mejor distribución de los perfiles y debido a que existen desniveles en el área de estudio.



Figura 37: Ubicación satelital de las calicatas

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

Las características físicas obtenidas de los ensayos físicos de laboratorio de las 3 calicatas se indican en la Tabla N° 13.

Tabla N° 13. Cuadro de calicatas

N°	CALICATA	CONTENIDO HUMEDAD	% GRAVA	% ARENA	% FINOS	CLASIFICACION SUCS	CLASIFICACION ASSTHO	LIMITE LIQUIDO LL	LIMITE PLASTICO LP
1	C-1	19.6	0	12.19	87.81	CL	A-7-6 (20)	41.2	21
2	C-2	23.52	58.69	11.29	30.02	GC	A-2-6 (1)	38.2	20.2
4	C-3	28.5	50.48	5.54	43.98	GC	A-6 (4)	39.2	23.7

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

Según los resultados de la tabla N°13.

- Existe presencia de arcillas de media plasticidad clasificada según el método de SUCS como “CL”, según la calicata C-1.
- Se identifican rellenos conformados por gravas angulares con limos, arcillas y arenas, clasificados como GC, según calicata C-2.
- Se identifican rellenos conformados por gravas angulares y arcillas, clasificados como GC, según calicata C-3.

Del ensayo Triaxial tipo No consolidado – No Drenado, los resultados obtenidos se indican:

Tabla N° 14: Resumen de Resultados de Ensayos Triaxial

Tipo de suelo	Cohesión	Densidad seca máxima	Densidad seca mínima	Angulo de fricción (°)	Dilatancia	Módulo de elasticidad	Relación de poisson (v)
Arcilla de mediana plasticidad con presencia de limos	10Kpa	17 KN/m <sup>3</sup>	14.21 KN/m <sup>3</sup>	21°	0	7845 Kpa	0.3

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

Se tomó de la tabla N° 13 y 14 los parámetros del tipo de suelo C-1 por ser el más crítico para su posterior análisis en el refuerzo de suelo con geomallas.

## 5.2 Cálculo de la Capacidad portante y asentamientos sin refuerzo empleando el método numérico (FEM)

Se presentó el modelado numérico de 3 zapatas del centro de salud, sirviendo de ayuda el programa de elementos finitos Plaxis 2D, con el que se obtuvieron resultados casi parecidos a los calculados con los métodos numéricos.

### 5.2.1 Parámetros de los materiales

Del informe de estudio de mecánica de suelos se obtuvo los parámetros del suelo C-L por ser el más crítico, parámetros mostrados en la tabla N°14.

Se muestra en la tabla 15 las dimensiones y profundidad de cimentación de las 3 zapatas escogidas por ser la que reciben mayor carga.

Tabla N° 15. Dimensiones de las zapatas

Modelo de Zapata	Ancho de base (B)m	Largo (A)m	Espesor (a)m	Df (m)
Z1	11.7	3.5	0.5	2.8
Z2	3.5	3.5	0.5	1.5
Z3	5.85	3.5	0.5	1.5

Fuente: Informe de estudio de mecánica de suelos (2021)

Se obtuvo los parámetros del acero de las zapatas mostrado en la tabla 16, datos que requirió la herramienta “plate” que desempeña la función de acero de zapata en Plaxis 2D.

Tabla N° 16: Parámetros del acero de zapata

Acero de Zapata	Largo	Espesor (m)	Peso específico Un/m <sup>3</sup>	Módulo de Elasticidad Kipá
Z1	11.7	0.019	77.08	210000000
Z2	3.5	0.016	77.08	210000000
Z3	5.85	0.016	77.08	210000000

Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la tabla N° 16 se hallan los valores que solicita Plaxis 2D como el EA1, EI y W que fueron hallados con las ecuaciones 16,17 y 18.

La ecuación 17 muestra cómo se halla el valor EA1.

$$EA1 = \text{Espesor del acero} * \text{modulo de elasticidad} \dots \dots (16)$$

La ecuación 18 muestra cómo se halla el valor EI.

$$EI = \frac{\text{Modulo de elasticidad del acero}}{12} * \text{Espesor del acero}^3 \dots \dots (17)$$

La ecuación 14 muestra cómo se halla el valor w.

$$EI = \text{Peso especifico del acero} * \text{espesor del acero} \dots \dots (18)$$

De las ecuaciones 16,17 y 18 se obtuvo la tabla 17.

Tabla N°17. Valores de acero Plaxis 2D

Zapata	EA1 (KN/m)	EI (KN/m <sup>2</sup> /m)	W (KN/m/m)
Z1	4011000	121.94	1.47
Z2	3339000	70.34	1.23
Z3	3339000	70.34	1.23

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.2 Cargas transmitidas de la estructura

Según el metrado de cargas mostrado en el anexo se obtuvo la tabla 18 con valores de cargas transmitidas del peso de la edificación hacia las zapatas 1, 2 y 3.

Tabla N° 18. Cargas transmitidas

Zapata	q <sub>1</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	q <sub>2</sub> (kg/m <sup>2</sup> )	q <sub>3</sub> (k/Nm <sup>2</sup> )
Z1	6.30	0.63	61.74
Z2	6.51	0.65	63.87
Z3	8.01	0.80	78.55

Fuente: Elaboración propia

### 5.2.3 Modelamiento en Plaxis 2D

Se realizó el modelamiento para un lecho de suelo de 60m de ancho y 25 metros de altura como se muestra en la figura 38, donde en el centro del estrato se colocó la carga distribuida que trasmite la zapata a una profundidad de 2.8m según la tabla 15, luego se colocó la herramienta plate que funciona como el acero de zapata. Finalmente se añadieron los parámetros de estrado de suelo de la tabla 14, los valores del acero de la tabla 17 y las cargas transmitidas de la tabla 18.

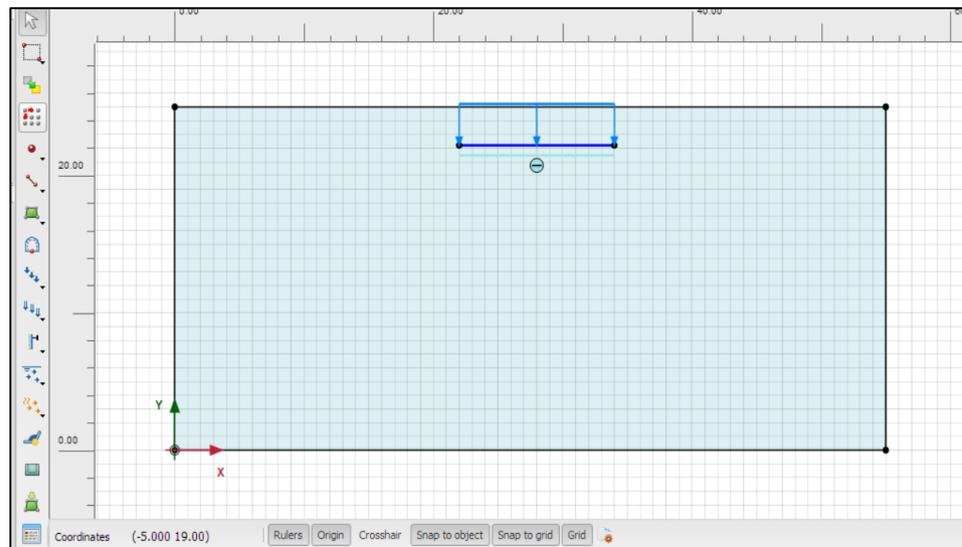


Figura 38: Modelado numerico de la zapata 3 sin refuerzo

Fuente: Elaboración propia

#### a) Asentamiento de la zapata

Terminado el modelado se corre el análisis del programa con diversas iteraciones donde se observó el asentamiento máximo inicial de la zapata 1 como se muestra en la figura 39.

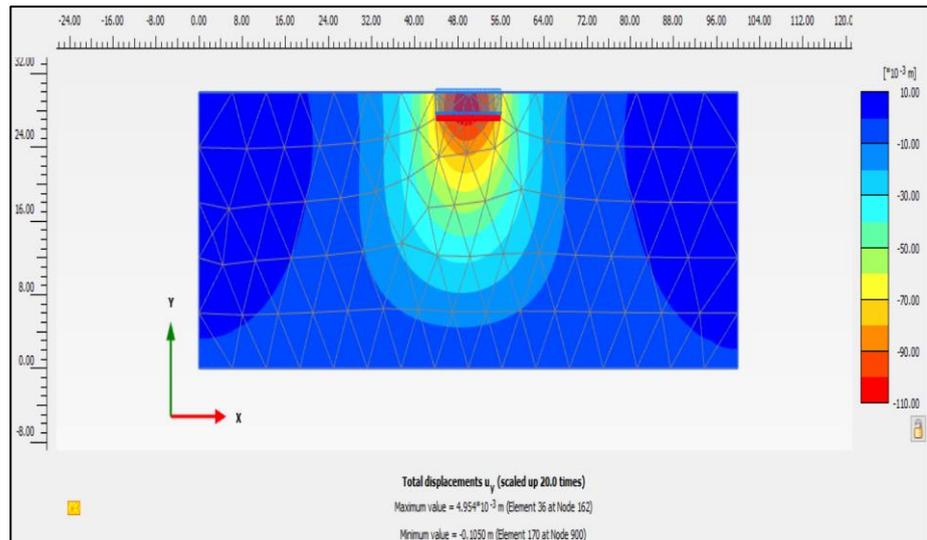


Figura 39: Asentamiento inicial de la zapata 3.

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se puede observar un asentamiento máximo de 10.50 cm en la zapata 1 sin ningún tipo de refuerzo.

b) Esfuerzos transmitidos

Otras de las gráficas mostradas luego del análisis del modelado en el Plaxis 2D es el bulbo de esfuerzos transmitidos debajo de la cimentación como se observa en la figura 40, donde se observa el esfuerzo máximo de 447.1 KNm<sup>2</sup>.

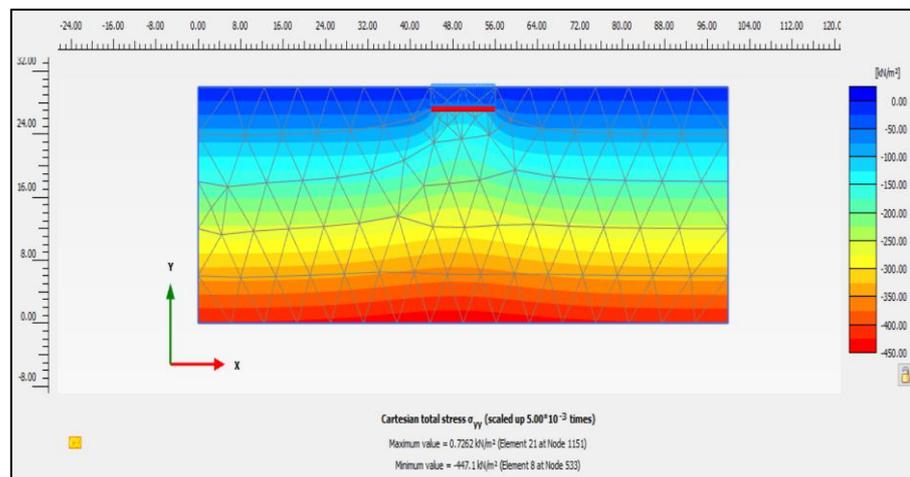


Figura 40: Esfuerzo máximo transmitido

Fuente: Elaboración propia

c) Calculo de la Capacidad admisible

Para el cálculo de la carga admisible mediante el programa Plaxis 2D se utilizó la ecuación 19.

$$Carga\ nueva = Carga\ anterior * Msf \dots \dots (19)$$

De la ecuación 19 la carga nueva vendría siendo la carga última que soporta el suelo. Se calculó esta carga mediante una serie de iteraciones con el Msf obtenida del factor de seguridad del Plaxis 2D con la finalidad de llegar a la unidad (1), la carga anterior vendría siendo la carga inicial que soporta la zapata, este procedimiento se muestra de mejor forma en la tabla 14.

La ecuación 20 muestra la carga admisible que soporta el suelo sobre un factor de seguridad de 3.

$$q_{adm} = \frac{q_{ult}}{FS} \dots \dots (20)$$

La obtención de la carga admisible se describe de mejor forma en la tabla N° 19.

Tabla N° 19. Capacidad admisible

Carga ultima $q_u$ (kPa)	Msf	Carga Nueva	F. S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
61.74	5.61	346.22	3	20.58	0.21
346.22	1.58	547.03	3	115.41	1.18
547.03	1.25	681.60	3	182.34	1.86
681.60	1.02	691.82	3	227.20	2.32
691.82	1.00	691.82	3	230.61	2.35

Fuente: Elaboración propia

La tabla 19 muestra la iteración de la carga última respecto al Msf para la obtención de la carga admisible de 2.35 kg/cm<sup>2</sup> sin refuerzo para la zapata 1.

Se realizó el mismo análisis del ítem 5.2 para las 3 zapatas distintas, mostrado de mejor forma en los anexos.

### 5.3 Diseño de refuerzo del suelo con geomallas empleando el método numérico (FEM)

Se presentó el modelado numérico del refuerzo con geomallas de 3 zapatas del centro de salud, sirviendo de ayuda el programa de elementos finitos Plaxis 2D. Este programa simula el modelo elastoplástico de Mohr - coulomb que genera aproximaciones muy cercanas de primer orden con referencia al comportamiento real

del suelo, empleando los mismos parámetros del suelo del proyecto nos arroja resultados muy aproximados a los obtenidos mediante métodos analíticos.

a) Diseño de la zapata reforzada con geomallas

Se seleccionó un tipo de geosintético con la propiedad de resistir la fuerza de tracción y tener la capacidad de confinar el suelo reduciendo sus deformaciones. Con el aumento significativo de su capacidad de soporte.

En la tabla 20 se muestra los parámetros y características mecánicas de la geomalla biaxial coextruida empleadas en el modelamiento de las zapatas.

Tabla N° 20: Parámetros de la geomalla

Modelo y material	ancho (m)	espesor(m)	área(m <sup>2</sup> )	módulo de elasticidad (KPa)	rigidez axial (kN/m)	máxima resistencia a la tracción (kN/m)	EA1 (kN/m)
Geomalla Biaxial Coextruida	4	0.004	0.016	460000	500	45	7,360.00

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó la metodología de cálculo de Gamal, Belal y Elsoud (2017). Modelo experimental matriz multilecho de suelo reforzado mostrado en la figura 25, Se diseñó la zapata reforzada para la profundidad de la primera capa de refuerzo (u), el espaciado entre capas de refuerzo (h) y la longitud total del refuerzo (L).

En la tabla 21 se observa factores necesarios para el diseño del refuerzo de la zapata 1 con geomallas.

Tabla N° 21: Diseño de refuerzo con geomalla

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
1	Z1	11.7	1.2		
2	Z1	11.7	1.2	3	30
3	Z1	11.7	1.2	3	30
4	Z1	11.7	1.2	3	30
5	Z1	11.7	1.2	3	30

Fuente: Elaboración propia

b) Modelamiento de la zapata con refuerzo

Se hizo el modelamiento de la zapata 1 reforzada con geomallas del mismo modo del ítem 5.2.1 al 5.2.3 adicionando el EA1 de la tabla 20 a las propiedades del material geogrid en Plaxis 2D. En la figura 41 se muestra el modelamiento de la zapata 1 reforzada con 3 capas de geomallas.

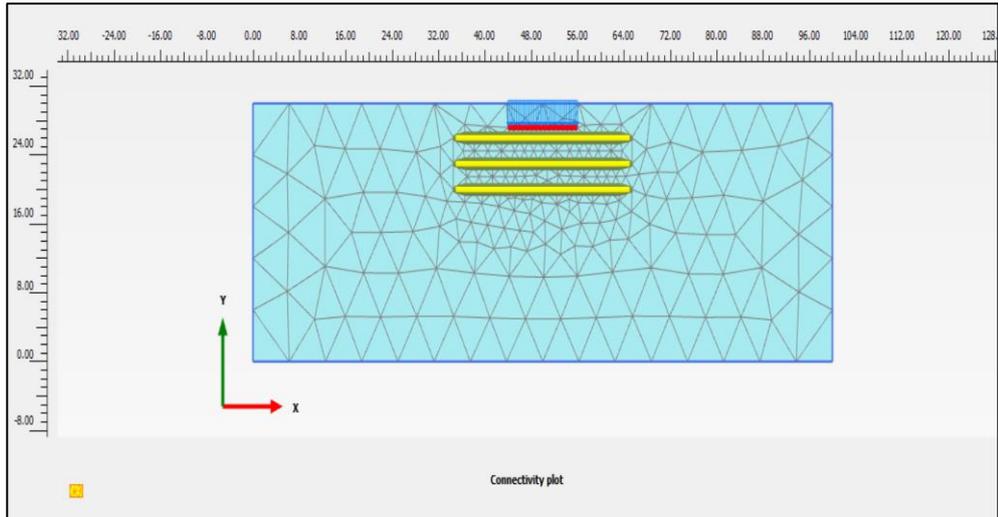


Figura 41: Modelamiento de la zapata reforzada 1

Fuente: Elaboración propia

c) Asentamiento de la zapata

Corrido el modelo de la figura 39 en Plaxis 2D nos arroja el total de asentamiento de la zapata 1 de 9.59 cm para un numero de refuerzo de 3 geomallas como se muestra en la figura 42.

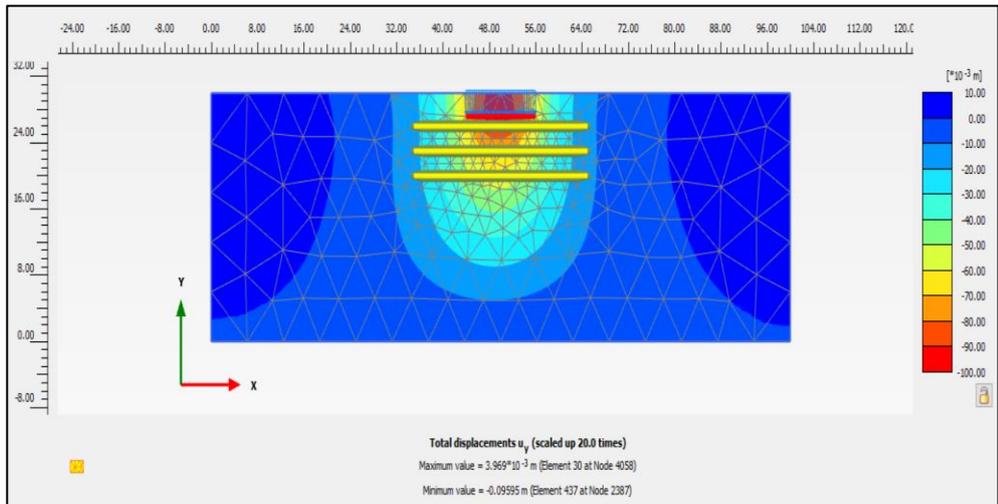


Figura 42: Máximo asentamiento del suelo de la zapata 1

Fuente: Elaboración propia

Se hace un análisis de la zapata 1 para 1, 2, 3,4 y 5 refuerzos de capas de geomallas con distintos de asentamientos para cada refuerzo, el cálculo se observa de mejor forma en los anexos.

d) Esfuerzo transmitido

En la figura 43 se observa el esfuerzo transmitido máximo de 444 KN/m<sup>2</sup> para la zapata reforzada con 3 capas de geomallas.

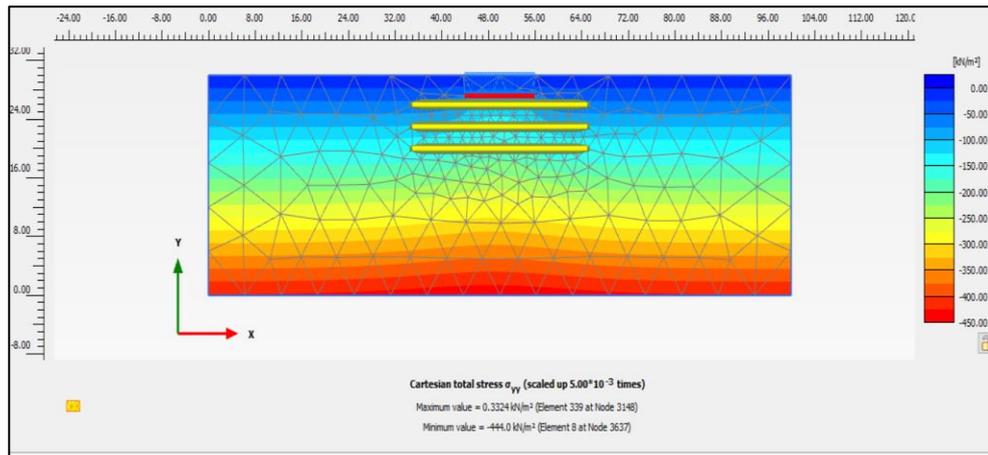


Figura 43: Esfuerzo transmitido para una zapata reforzada

Fuente: Elaboración propia

e) Cálculo de la Capacidad admisible

Se repite el procedimiento del ítem 5.2.3 para el cálculo de la capacidad admisible, procedimiento que ira iterando como lo mostrado en la tabla 22,13, 24 para 3 capas de refuerzo con geomallas.

Tabla N° 22: Calculo de  $q_{adm}$  para una capa de refuerzo

# de Refuerzo	Carga ultima $q_u$ (kPa)	Msf	Carga Nueva	F. S	$Q_{adm}$ (KPa)	$Q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	61.74	6.23	384.44	3	20.58	0.21
1	384.44	1.72	661.23	3	128.15	1.31
1	661.23	1.20	793.48	3	220.41	2.25
1	793.48	1.01	801.41	3	264.49	2.70
1	801.41	1.00	801.41	3	267.14	2.72

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 23: Calculo de  $q_{adm}$  para dos capas de refuerzo

# de Refuerzo	Carga ultima $q_u$ (kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	$Q_{adm}$ (KPa)	$Q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
2	61.74	7.01	432.78	3	20.58	0.21
2	432.78	1.61	696.77	3	144.26	1.47
2	696.77	1.32	919.74	3	232.26	2.37
2	919.74	1.04	956.53	3	306.58	3.13
2	956.53	1.00	956.53	3	318.84	3.25

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 24: Calculo de qadm para tres capas de refuerzo

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
3	61.74	7.54	465.50	3	20.58	0.21
3	465.50	1.46	679.63	3	155.17	1.58
3	679.63	1.35	914.10	3	226.54	2.31
3	914.10	1.07	978.08	3	304.70	3.11
3	978.08	1.00	978.08	3	326.03	3.32

Fuente: Elaboración propia

Se observa en las tablas 22,23 y 24 las cargas admisibles aumentan conforme aumente el número de capas de refuerzo.

El diseño de refuerzo con geomallas se realizó para la zapata 1,2 y3 son observados de mejor forma en la interpretación de resultados y en los anexos.

#### 5.4 Cálculo de la Capacidad portante y asentamientos sin refuerzo empleando los métodos analíticos.

Para un mejor contraste de las respuestas obtenidas mediante los métodos numéricos, se realizó cálculos analíticos con ayuda de ecuaciones como la carga ultima de Terzaghi.

##### 5.4.1 Cálculo de la capacidad de carga

Se aplica el método Terzaghi para las zapatas B x L a una profundidad de cimentación Df= 2.8m donde se utiliza la ecuación 4 y para la corrección al Angulo de fricción se utiliza la ecuación 21 planteada por Terzaghi considerando que existe una falla local por ser un suelo con presencia de arcillas de mediana plasticidad.

$$\phi' = \tan^{-1} * \left(\frac{2}{3} \tan\phi'\right) \dots \dots (21)$$

Dónde:

$\phi'$  = Angulo de fricción corregido

##### 5.4.2 Parámetros de calculo

En la tabla 25 se muestra parámetros del suelo obtenidas del informe geotécnico y las dimensiones de cada zapata, previo al cálculo de la carga última de Terzaghi se halló los factores de capacidad de carga Nq, Nc y N<sub>γ</sub> obtenidas de la tabla 1.

Tabla N° 25. Parámetros iniciales al cálculo

Zapata	Tipo de suelo	Tipo de falla	Df (m)	$\Phi$ (°)	$\phi'$ (°)	C (Kg/cm <sup>3</sup> )	$N_Q$	$N_C$	$N_\gamma$	$q$ (kg/cm <sup>2</sup> )
Z1	CL	Local	2.8	14.4	21°	0.1	3.59	10.4	2.29	0.93
Z2	CL	Local	1.5	14.4	21°	0.1	3.59	10.4	2.29	0.65
Z3	CL	Local	1.5	14.4	21°	0.1	3.59	10.4	2.29	0.8

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.3 Cálculo de carga admisible

Obtenido los datos de la tabla 25 se realizó el cálculo de la carga ultima ( $q_u$ ) empleando la ecuación 4 de carga ultima de Terzaghi, posterior se obtiene la carga admisible que es el cociente de dividir la carga ultima entre el factor de seguridad 3.

Tabla N° 26 Cálculo de carga admisible

Zapata	B (m)	B (m)	$\gamma$	$\frac{1.3c'}{N_c}$ (Kg/c m <sup>2</sup> )	$qN_q$ (Kg/c m <sup>2</sup> )	$\frac{0.4\gamma BN_\gamma}{10}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	FS	$Q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$Q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	$Q_{adm}$ (T/m <sup>2</sup> )
Z1	$\frac{11.7}{7}$	3.5	1.7	1.348	3.34	1.822	3	6.51	2.17	21.70
Z2	3.5	3.5	1.7	1.348	2.33	0.545	3	4.23	1.41	14.09
Z3	$\frac{5.8}{5}$	3.5	1.7	1.348	2.87	0.911	3	5.13	1.71	17.10

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 26 se observa la carga admisible para la zapata 1,2 y 3.

#### 5.4.4 Cálculo de asentamientos inmediatos

El asentamiento inmediato se calculó con la ecuación 7 para ello inicialmente se obtiene el módulo de elasticidad (E) y la relación de Poisson (u) de la tabla 3 y 4.

Se considera las siguientes cargas de servicio de la tabla 27 obtenidas del metrado de cargas de la edificación como se observa en los anexos.

Tabla N° 27. Cuadro de datos iniciales

Zapata	E(tn/m <sup>2</sup> )	u	q <sub>0</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )
Z1	800	0.3	6.30
Z2	800	0.3	6.51
Z3	800	0.3	8.01

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 28 se observa el cálculo de los asentamientos para las 3 zapatas de dimensiones (B x L) teniendo como consideración la ecuación 7.

Tabla N° 28. Asentamientos inmediatos

Zapata	q <sub>0</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	largo (m)	anchura (m)	Coficiente de fluencia I <sub>p</sub>	m = L/B	módulo de elasticidad E (T/m <sup>2</sup> )	módulo de Poisson u	asentamiento Se (m)	asentamiento Se (cm)
Z1	6.30	11.7	3.50	0.94	3.343	800	0.30	0.08	7.88
Z2	6.51	3.5	3.50	0.56	1.000	800	0.30	0.01	1.45
Z3	8.01	5.85	3.50	0.78	1.671	800	0.30	0.04	4.16

Fuente: Elaboración propia

Se observa en la tabla 28 que existe un mayor asentamiento de 7.88 cm en la zapata 1.

#### 5.5 Cálculo de la capacidad portante y asentamientos con geomallas empleando los métodos analíticos

Se calculó la carga admisible del terreno de fundación con geomallas empleando el método de Wayne, tomando como referencia su fórmula expresado en la ecuación 12.

##### 5.5.1 Parámetros de calculo

En la tabla 29 se observa los parámetros de cálculo para las zapatas 1,2 y 3 de a acuerdo a sus características de cimentación.

Tabla N° 29. Parámetros característicos de la cimentación

# de refuerzos	Zapata	C <sub>a</sub> (m)	d(m)	Df (m)	φ	Ks	T (Tn/m)
5	Z1	14	13.2	2.8	21	0.45	4
5	Z2	14	8.9	1.5	21	0.79	4
5	Z3	14	11	1.5	21	0.65	4

Fuente: Elaboración propia

### 5.5.2 Cálculo de capacidad de carga

Tomando en consideración la ecuación 12 de carga ultima de Wayne para una zapata de (B x L) se obtiene el cálculo de la carga última del suelo de fundación mostrado en la tabla 30.

Tabla N° 30. Parámetros característicos de la cimentación

Zapata	q <sub>b</sub> (T/m <sup>2</sup> )	B(m)	L(m)	γ	Q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	FS	Q <sub>adm</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	Q <sub>adm</sub> (T/m <sup>2</sup> )
Z1	0.63	11.7	3.5	1.7	11.19	3	3.73	37.30
Z2	0.65	3.5	3.5	1.7	8.50	3	2.83	28.32
Z3	0.80	5.85	3.5	1.7	8.43	3	2.81	28.11

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 30 se observa una carga ultima máxima de 11.19 Kg/cm<sup>2</sup> para la zapata 1, con un factor de seguridad de 3 se obtuvo una carga admisible de 3.73 Kg/cm<sup>2</sup>.

### 5.5.3 Cálculo de asentamientos diferenciales

Según la Norma EO50 de suelos y cimentaciones se calcula el asentamiento diferencial y la distorsión angular ( $\alpha$ ) con la ecuación 8 y 9. Donde se verifica con la tabla 5 los asentamientos tolerables.

En la tabla 31 se observa los cálculos de asentamientos diferenciales y distorsiones angulares utilizando las ecuaciones 8 y 9 para los puntos medios de las zapatas 1,2 y 3.

Tabla N° 31. Asentamientos diferenciales sin refuerzo

Asentamiento diferencial	Longitud (m)	Se <sub>i</sub>	Se <sub>r</sub>	δ (cm)	α
δ S <sub>1-2</sub>	9.46	7.88	1.45	6.43	0.68
δ S <sub>1-3</sub>	19	7.88	4.16	3.72	0.20
δ S <sub>3-2</sub>	18.96	4.16	1.45	2.71	0.14

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 32 se observa los cálculos de asentamientos diferenciales y distorsiones angulares para las zapatas reforzadas con geomallas utilizando las ecuaciones 8 y 9 para los puntos medios de las zapatas 1,2 y 3.

Tabla N° 32. Asentamientos diferenciales con refuerzo

Asentamiento diferencial	Longitud (m)	Se <sub>i</sub>	Se <sub>r</sub>	δ (cm)	α
δ S <sub>1-2</sub>	9.46	7.98	3.77	4.21	0.45
δ S <sub>1-3</sub>	19	7.98	6.73	1.25	0.07
δ S <sub>3-2</sub>	18.96	6.73	3.77	2.96	0.16

Fuente: Elaboración propia

## 5.6 Cálculo de la capacidad portante y asentamientos con columnas de gravas empleando los métodos analíticos

Se aplicó la técnica de columnas de gravas, el cual fue descrito en el capítulo II para determinar los asentamientos y capacidad portante del suelo en el caso de estudio.

### 5.6.1 Cálculo de asentamientos

Para el diseño de las columnas de gravas se utilizaron datos de los ensayos realizados en el campo el cual se muestran en el Estudio Mecánica de Suelos Centro de Salud Limón de Porcuya, Distrito de Huarmaca, Provincia Huancabamba, Región Piura.

Siendo la altura total del suelo arcilloso 5 m, se consideró columnas de gravas de 1.00 m de diámetro con 2.00 m de espaciamiento (entre ejes), con arreglo geométrico se consideró el uso de mallas triangulares equiláteras ya que proporciona mayor densidad de tratamiento. Siendo los datos iniciales para el diseño de columnas de grava según la tabla N° 33.

Tabla N° 33. Datos iniciales para el diseño de columnas de gravas

Descripción	Símbolo	Dimensión	
Altura de la Columna	Hc	5	m
Angulo de fricción - columna	$\Phi$	40	°
Diámetro de la columna	Dc	1.00	m
Área de columna	Ac	0.79	m <sup>2</sup>
Separación entre Columnas	s	2.00	m

Fuente: Elaboración propia

Se halló la razón de sustitución mediante el método Priebe (1995), donde el área de influencia de la celda unitaria según el uso de malla triangular expresa según la ecuación 25.

$$de = 1.05 s \dots \dots (24)$$

Luego se obtuvo la razón de sustitución según la ecuación 25:

$$a_r = \frac{A_c}{A} \dots \dots (25)$$

$$a_r = 0.227$$

Para hallar los parámetros del suelo mejorado se realizó el cálculo con la siguiente ecuación 26 del factor de mejora básico  $n_0$ .

$$n_0 = \frac{\text{asiento sin columnas}}{\text{asiento con columnas}} = 1 + a_r x \left( \frac{\frac{1}{2} + f(v_s, a_r)}{k_{ac} x f(v_s, a_r)} - 1 \right) \dots \dots (26)$$

Donde:

$v_s$  = coeficiente de Poisson del suelo

$a_r$  = razón de sustitución

$f(v_s, a_r)$  = función de influencia de la solución elástica de la cavidad cilíndrica, según la siguiente ecuación 27.

$$f(v_s, a_r) = \frac{(1-v_s)(1-a_r)}{1-2v_s+a_r} \dots \dots (27)$$

$k_{ac}$  = coeficiente de empuje activo de la columna, según la siguiente ecuación 28.

$$k_{ac} = \tan^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \dots \dots (28)$$

Se obtuvieron los siguientes resultados según Tabla 35.

Tabla N° 34. Resultados del método de Priebe

Descripción	Símbolo	Dimensión
Coeficiente de Poisson	$v_s$	0.33
Razón de sustitución	$a_r$	0.227
Índice de área	A/Ac	4.41
Angulo de fricción efectiva - columna	$\varphi$ 'c	40°
Función de influencia	$f(v_s, a_r)$	0.92 m

Coefficiente de empuje activo de la columna	$k_{ac}$	0.217
Factor de mejora del suelo (Priebe)	$n_0$	2.06
Factor de reducción de asentamientos ( $1/n_0$ )	$\beta$	0.42

Fuente: Elaboración propia

Se observó que con la aplicación de columnas de gravas con diámetro de 1.00 m, espaciamiento de 2 m, dando como resultado el factor de reducción de asentamiento 0.42.

Según los cálculos iniciales en el suelo sin mejora, se obtuvo un asentamiento máximo de 7.88 cm y considerando el factor de reducción de asentamiento se obtiene según la ecuación 29.

$$S_c = S \times \beta \dots \dots (29)$$

$$S_c = 3.31 \text{ cm}$$

El asentamiento en el suelo mejorado ha disminuido aproximadamente el 58% del valor del asentamiento en el suelo sin mejora.

#### 5.6.2 Cálculo de capacidad portante del suelo

Para hallar la carga portante del suelo primero se estimó la capacidad de carga última admitida ( $q_u$ ) el cual se tomó los factores de capacidad de carga  $N_\gamma$ ,  $N_q$  y  $N_c$  determinados en la tabla 26. Se estableció la ecuación 30 para determinar la capacidad de carga última de las columnas de gravas:

$$q_u = \gamma_{comp} B N_\gamma + q N_q + C_{comp} N \dots \dots (30)$$

$$Q_{adm} = q_u / FS \dots \dots (31)$$

Donde;

$\gamma_{comp}$  = peso unitario del suelo compuesto (columna de grava).

$\gamma$  = peso unitario del suelo arcilloso blando.

$C_{comp}$  = cohesión del suelo compuesto (columna de grava).

$C$  = cohesión del suelo arcilloso blando.

Donde los valores de  $C_{comp}$ ,  $\gamma_{comp}$  y  $\phi_{comp}$ , son la cohesión, peso unitario y ángulo de resistencia al corte equivalentes al sistema suelo columna (sistema compuesto), el valor del FS corresponde a un valor conservador de 3.

$$C_{comp} = A_s C_s + (1 - A_s) \dots \dots (32)$$

$$\gamma_{comp} = A_s \gamma_s + (1 - A_s) \gamma_c \dots \dots (33)$$

$$A_s = A_{col} / S^2 \dots \dots (34)$$

Donde;

$A_{co}$  = sección transversal de la columna y  $S$  es el espaciamiento entre columnas.

$C_s$  = cohesión del material de la columna de grava.

$C_c$  = cohesión del material arcilloso.

Tabla N° 35. Calculo de capacidad de carga máxima del suelo mejorado con columnas de grava.

Descripción	Dimensión	Unidad
Diámetro	1,000	m
Área	0,790	m <sup>2</sup>
$A_s$	0,196	m <sup>2</sup>
Separación	2,000	m
Angulo fricción	14.35	grados
$\gamma_s$	1.70	T/m <sup>3</sup>
$\gamma_c$	0.98	T/m <sup>3</sup>
$C_s$	0,000	T/m <sup>2</sup>
$C_c$	3.590	T/m <sup>2</sup>
$N_\gamma$	2.290	
$N_q$	3.590	
$N_c$	10.37	
Profundidad	5,000	m
$q$	1.91	T/m <sup>2</sup>
$B$	2.50	m
$C_{comp}$	0.788	T/m <sup>3</sup>
$\gamma_{comp}$	1.566	T/m <sup>3</sup>
$qu =$	21.302	T/m <sup>2</sup>
$Q_{adm}$	7.101	T/m <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

### 5.7 Método de cálculo numérico con el empleo de columnas de gravas en Plaxis 2D

Para modelar en el Plaxis 2D se simulo los parámetros y propiedades de un suelo reforzado con columnas de gravas mediante un modelo de celda unidad donde se observó la influencia sobre el suelo arcilloso de mediana plasticidad.

Se modeló considerando las propiedades iniciales, asimismo los estratos como la arcilla se consideró como un material con comportamiento Mohr-Coulomb ya que el comportamiento es no drenado; y en cuanto a la grava se consideró un comportamiento elástico-lineal. Para el diseño se adoptan valores que se muestran en tabla 36.

Tabla N° 36: Valores para el diseño de columnas de gravas en Plaxis 2D

Material	Modelo	D(m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	E(KN/m <sup>2</sup> )	$\nu$	c(kPa)	$\phi$ (°)
Arcilla	Morh-coulomb	N/A	0	3000	0.33	0	21
Columna de grava	Elástico-lineal	1	0	15000	0.33	1	40

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se observa el modelamiento considerando solo un estrato y las columnas de gravas con espesores equivalentes a su geometría.

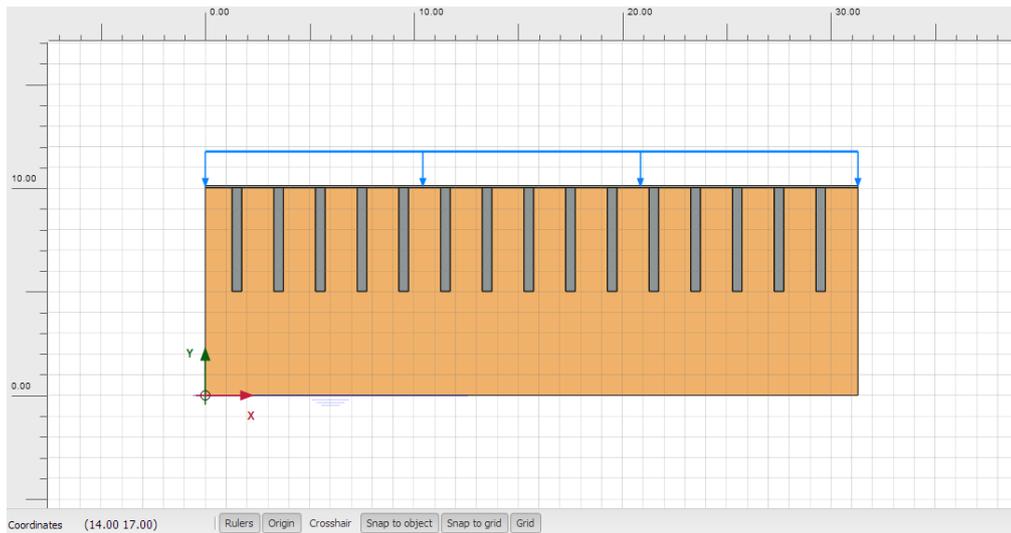


Figura 44: Vista seccional del modelo matemático representativo en dirección transversal

Fuente: Elaboración propia en el programa Plaxis 2D v20.

a) Cálculo del asentamiento con columnas de gravas

Corrido el modelo de la figura 45 en Plaxis 2D nos arroja el total de asentamiento de 4.99 cm como se muestra en la figura 43.

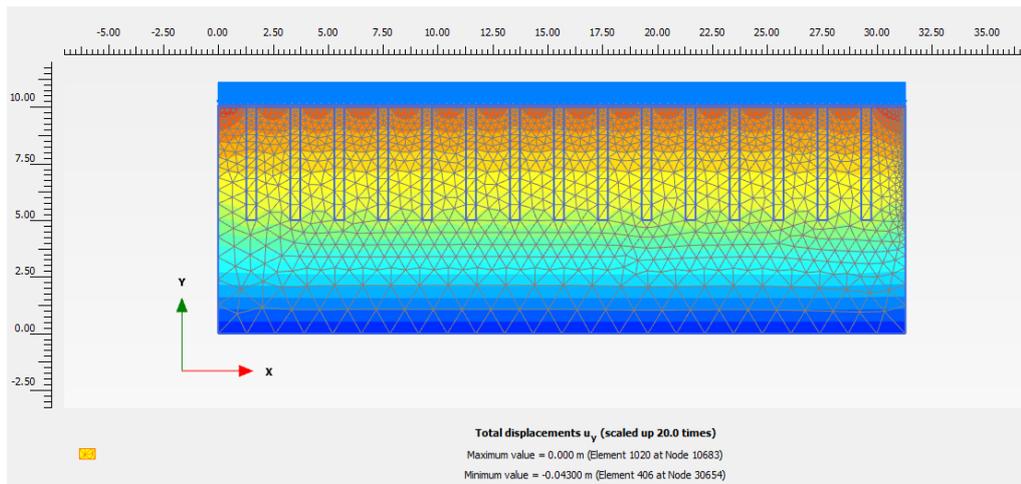


Figura 45: Deformaciones verticales de la cimentación con columnas de gravas.

Fuente: Elaboración propia en el programa Plaxis 2D v20.

b) Cálculo de la capacidad de carga del suelo con columnas de gravas

Corrido el modelo de la figura 46 en Plaxis 2D nos arroja el total de la capacidad de carga  $1,73 \text{ KN/cm}^2$  cm como se muestra en la figura 44.

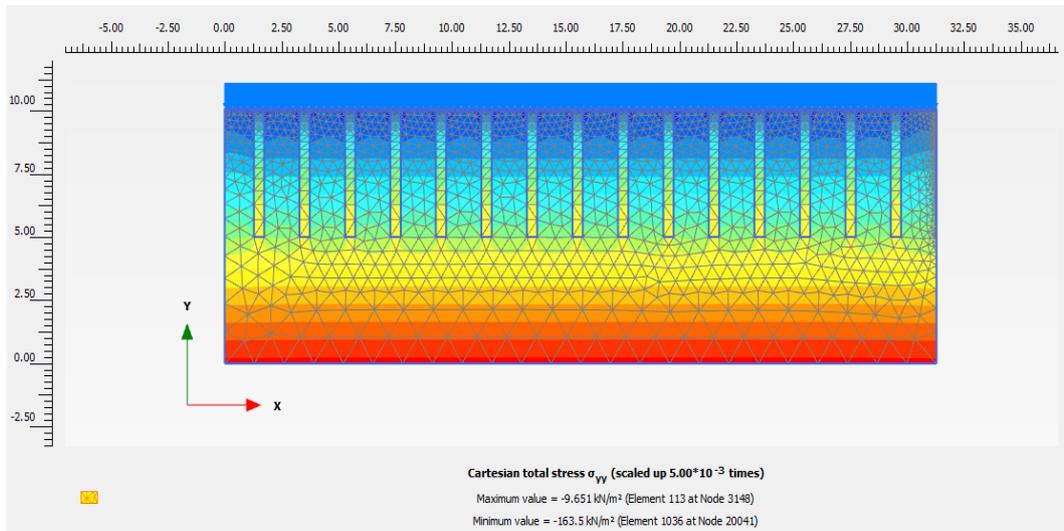


Figura 46: Capacidad de carga del suelo con columnas de gravas

Fuente: Elaboración propia en el programa Plaxis 2D v20.

## 5.8 Presentación de resultados

### 5.8.1 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos de las zapatas sin refuerzo

Se muestra los resultados de la capacidad de carga admisible y asentamientos de las zapatas 1, 2 y 3 empleando métodos numéricos y analíticos.

En la tabla 37 se observa la carga admisible y los asentamientos sin refuerzo empleando el método numérico FEM y los métodos analíticos.

Tabla N° 37: Cargas admisibles y asentamientos sin refuerzo

Zapata	Método numérico FEM Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Método analítico Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Método numérico FEM u (cm)	Método analítico u (cm)
Z1	2.35	2.17	10.5	7.88
Z2	1.65	1.41	5.09	1.45
Z3	1.83	1.71	8.83	4.16

Fuente: Elaboración propia.

### 5.8.2 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos de las zapatas con refuerzo

Se observa los resultados de la capacidad de carga admisible y asentamientos de las zapatas 1, 2 y 3 empleando la técnica de refuerzo del refuerzo del suelo con geomallas, para cinco capas de refuerzo en cada zapata.

En la tabla 38 se observa la carga admisible y los asentamientos con refuerzo del suelo de cimentación empleando el método numérico FEM y los métodos analíticos.

Tabla N° 38. Cargas admisibles y asentamientos con refuerzo de geomallas

Zapata	Método numérico FEM	Método analítico	Método numérico FEM
	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	u (cm)
Z1	3.49	3.73	7.98
Z2	2.60	2.83	3.77
Z3	2.54	2.81	6.73

Fuente: Elaboración propia.

- 5.8.3 Resultados de la capacidad de carga y asentamientos con columnas de grava  
 Se muestra los resultados de la capacidad de carga admisible y asentamientos con columnas de grava empleando métodos numéricos y analíticos. En la tabla 39 se observa la carga admisible y el asentamiento para el método numérico y los métodos analíticos.

Tabla N° 39. Cargas admisibles y asentamientos con refuerzo de columnas de grava

	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Asentamiento u (cm)
Método analítico	0.71	3.31
Método numérico Plaxis 2D	1.67	4.30

Fuente: Elaboración propia

## 5.9 Análisis de resultados

- 5.9.1 Comparación del método numérico FEM y los métodos analíticos sin refuerzo  
 Se realizó la siguiente grafica en la figura 47 que tiene como punto de partida la tabla 37 donde se observó los datos de la carga admisible y asentamiento del terreno de fundación sin refuerzo, comparando el método analítico y numérico.

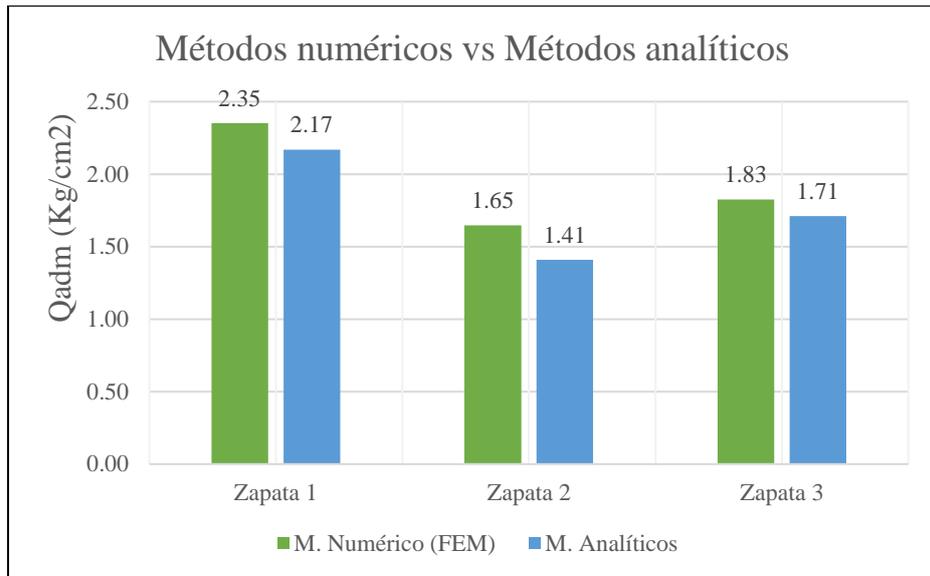


Figura 47: Comparación de métodos numéricos y analíticos (Qadm)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se observa las cargas admisibles para ambos métodos, se toma de referencia la zapata 3 la diferencia de carga admisible entre ambos métodos es de 0.12 (kg/cm<sup>2</sup>) en otras palabras con un porcentaje de error del 12 %.

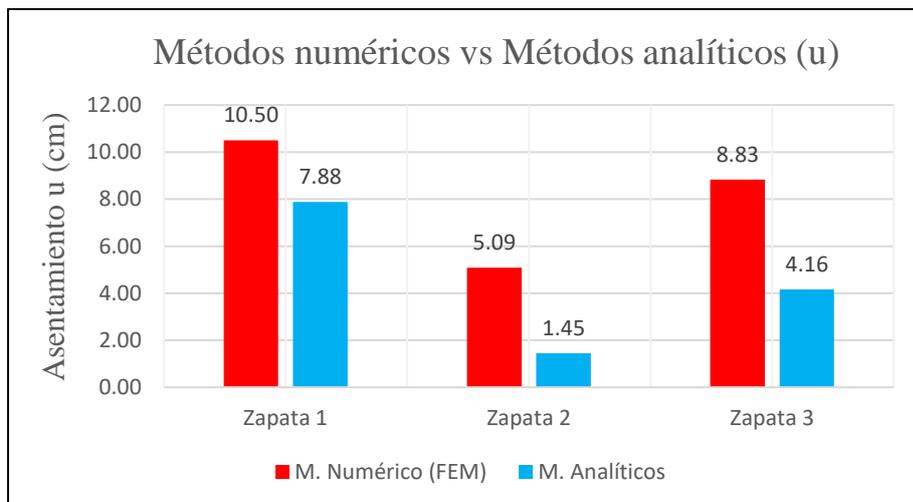


Figura 48: Comparación de métodos numéricos y analíticos (u)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 se observa una diferencia notoria en la comparación de asentamientos para ambos métodos sin refuerzo de cada zapata.

### 5.9.2 Comparación del método numérico FEM y los métodos analíticos con refuerzo de geomallas

Se realizó la siguiente grafica en la figura 49 en referencia a la tabla 38 donde se observó los datos de la carga admisible del terreno de fundación empleando

la técnica del refuerzo del suelo con geomallas, comparando el método analítico y numérico.

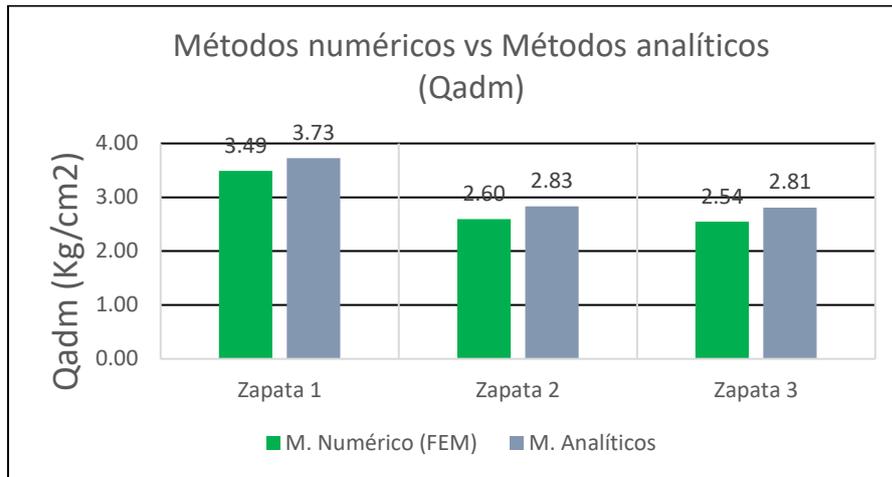


Figura 49: Comparación de métodos numéricos y analíticos (Qadm)

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se observa valores muy cercanos de Qadm entre ambos métodos como en la zapata 1 con una diferencia de 0.23 kg/cm<sup>2</sup> es decir con un margen de error del 23%. Comparando la figura 47 de Qadm reforzadas con geomallas con la figura 45 sin refuerzo se observa un aumento carga admisible considerable, se explica de mejor forma en los siguientes ítems.

### 5.9.3 Comparación del método numérico y el método analítico con refuerzo de columnas de gravas.

Se realizó la siguiente grafica en la figura 50 en referencia a la tabla 39 donde se observó los datos de la carga admisible del terreno de fundación empleando la técnica del refuerzo del suelo de columnas de grava, comparando el método analítico y numérico.

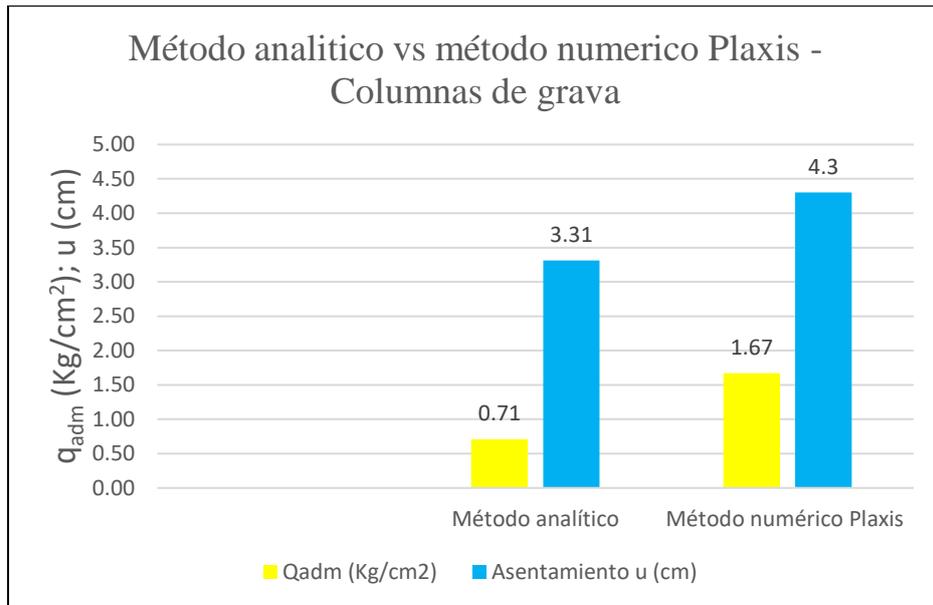


Figura 50: M. analítico vs M. numérico Plaxis para columnas de grava

Fuente: Elaboración propia

De la figura 50 el asentamiento utilizando el método analítico es 3.31 y el método numérico 4.30 cm hallado en Plaxis 2D, por lo que se utilizará los valores promedios de la carga admisible del suelo y asentamiento de los métodos empleados.

#### 5.9.4 Interpretación de resultados

##### a) Interpretación de resultados de la carga admisible

Según el diseño establecido para el cálculo del refuerzo con geomallas empleando el método numérico FEM, de cada zapata se obtuvo diversos resultados de carga admisibles y asentamientos en función del número de refuerzos de capas de geomallas.

En la figura 51, 52 y 53 se observa el aumento de la carga admisible de la zapata 1, 2 y 3 según se adicione el número de capas de refuerzo de geomallas. De igual forma se observa la línea constante de carga admisible sin refuerzo.

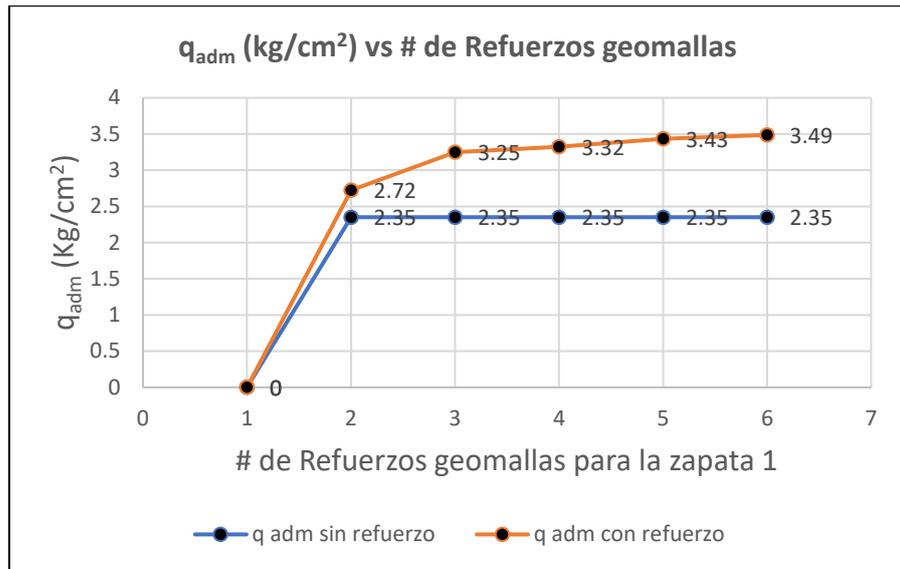


Figura 51: Gráfica de capacidad portante vs. el número de refuerzos para la zapata 1  
Fuente: Elaboración propia

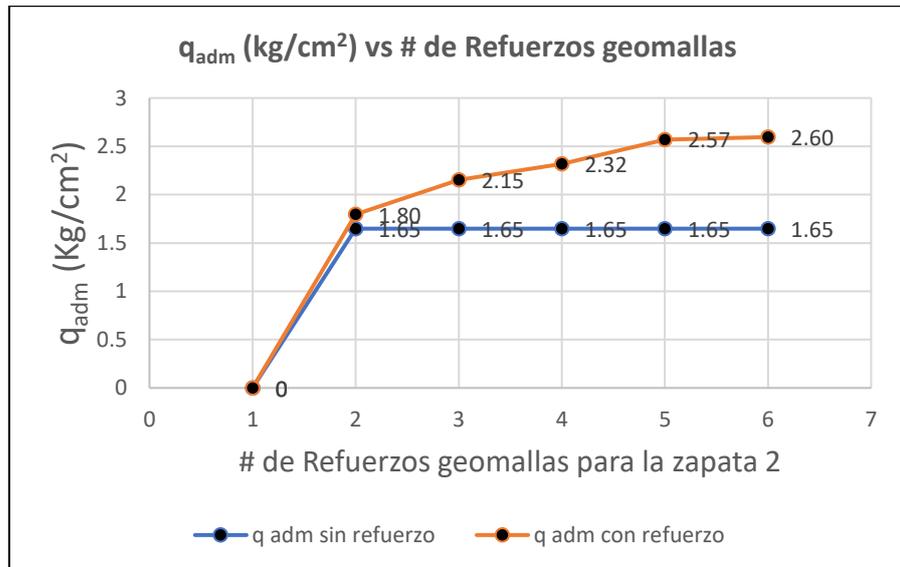


Figura 52: Gráfica de capacidad portante vs. el número de refuerzos para la zapata 2  
Fuente: Elaboración propia

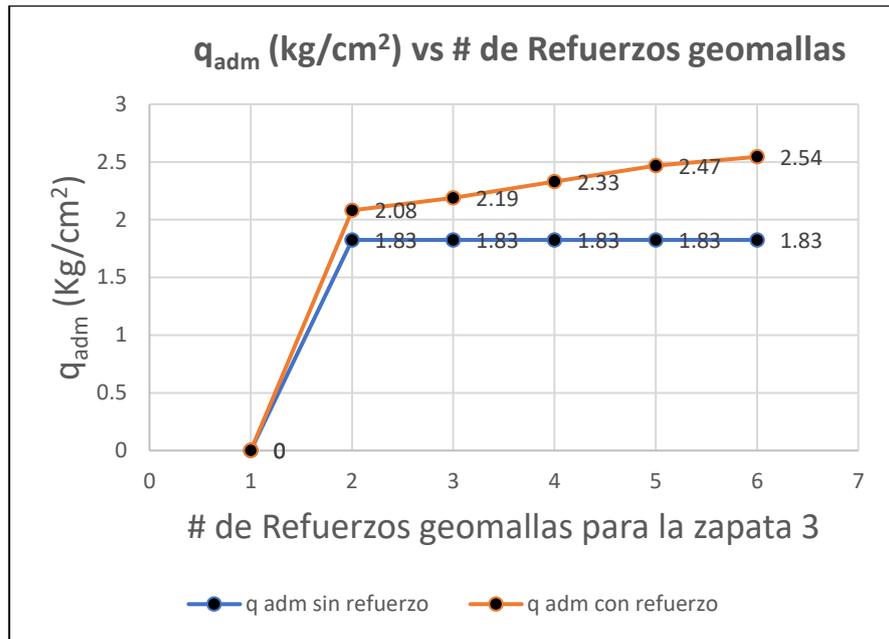


Figura 53: Gráfica de capacidad portante vs. el número de refuerzos para la zapata 1  
Fuente: Elaboración propia

Teniendo como observación la figura 51, 52 y 53 se observa que existe un aumento en la capacidad admisible del suelo empleando la técnica de refuerzo del suelo con geomallas.

Se agrupó todos los resultados de carga admisible para la zapata 1,2 y 3 para cinco capas de refuerzo con geomallas como se observa en la figura 54.

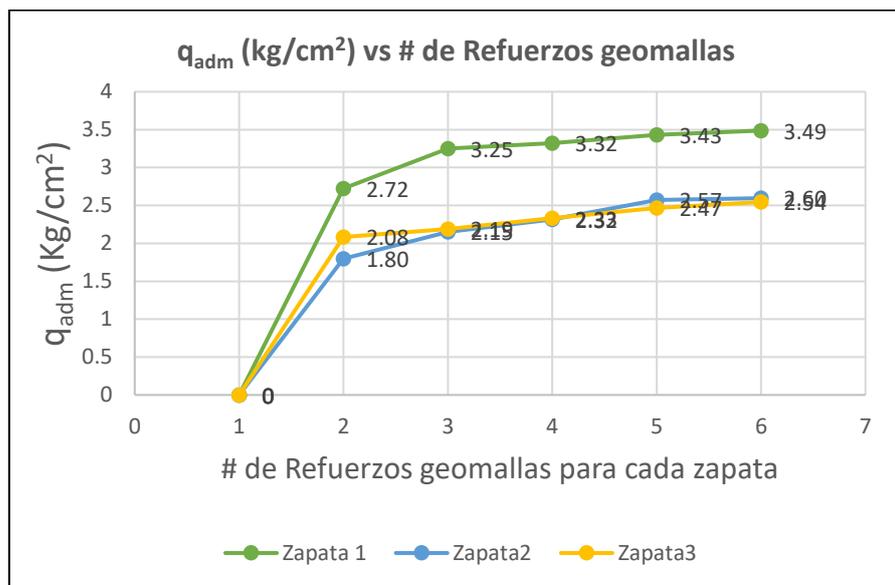


Figura 54: Carga admisible con refuerzo de las zapatas 1,2 y 3  
Fuente: Elaboración propia

De la figura 54 se deduce que la capacidad admisible va de aumento conforme aumenta el número de capas de refuerzo de geomallas, pero el aumento ya no es significativo en la cuarta y quinta capa de refuerzo. Siendo la zapata 1 quien posee la mayor carga admisible de  $3.49 \text{ kg/cm}^2$  para cinco capas de refuerzo.

b) Interpretación de resultados de asentamientos.

De igual manera se grafica los asentamientos que ocurren en las zapatas 1,2 y 3 en función del número de refuerzos de geomallas como se observa en la figura 55, 56 y 57. También se grafica la línea de asentamiento inicial de la zapata sin refuerzo como una guía comparativa.

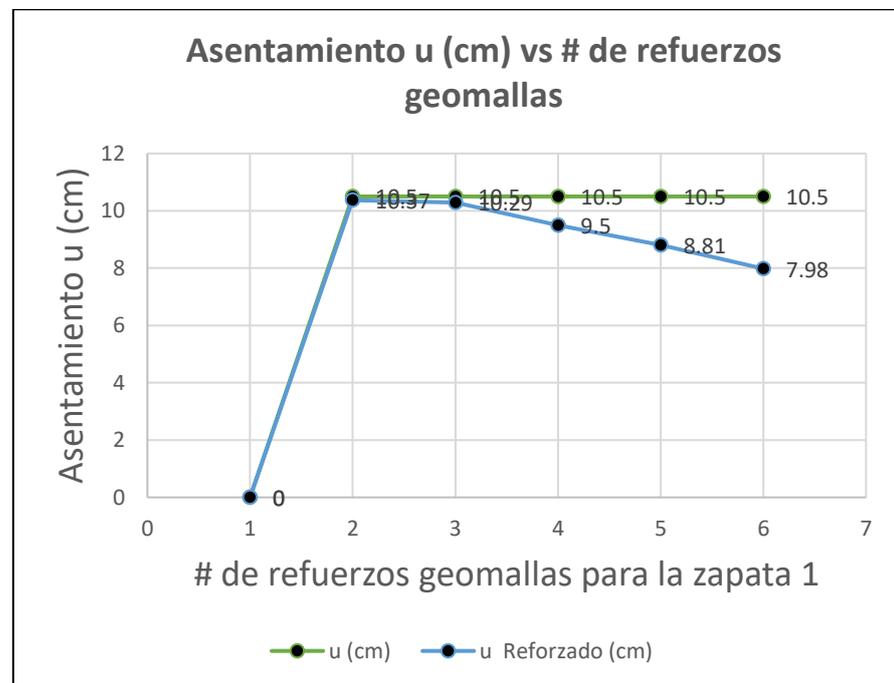


Figura 55: Gráfica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 1

Fuente: Elaboración propia

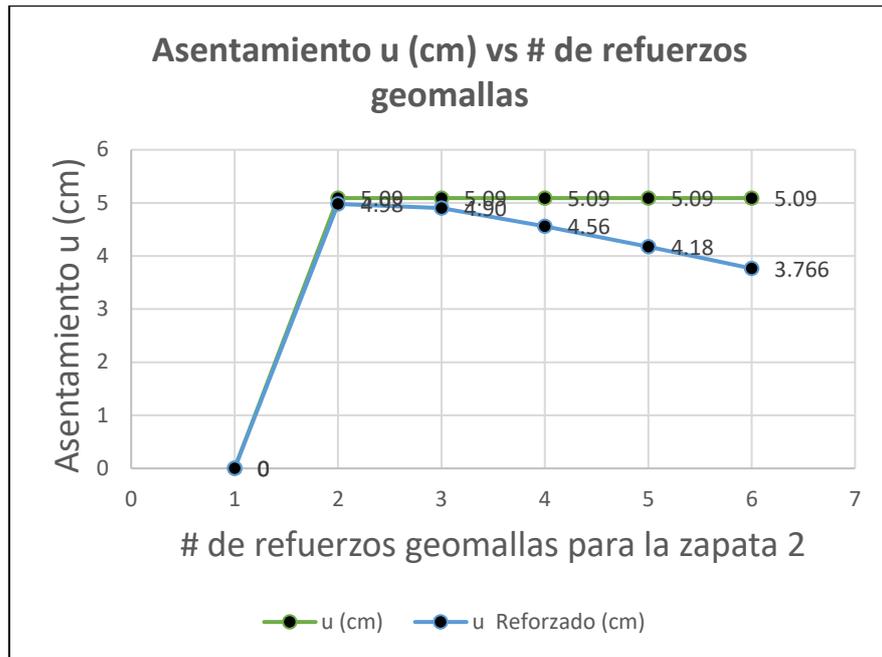


Figura 56: Gráfica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 2  
Fuente: Elaboración propia

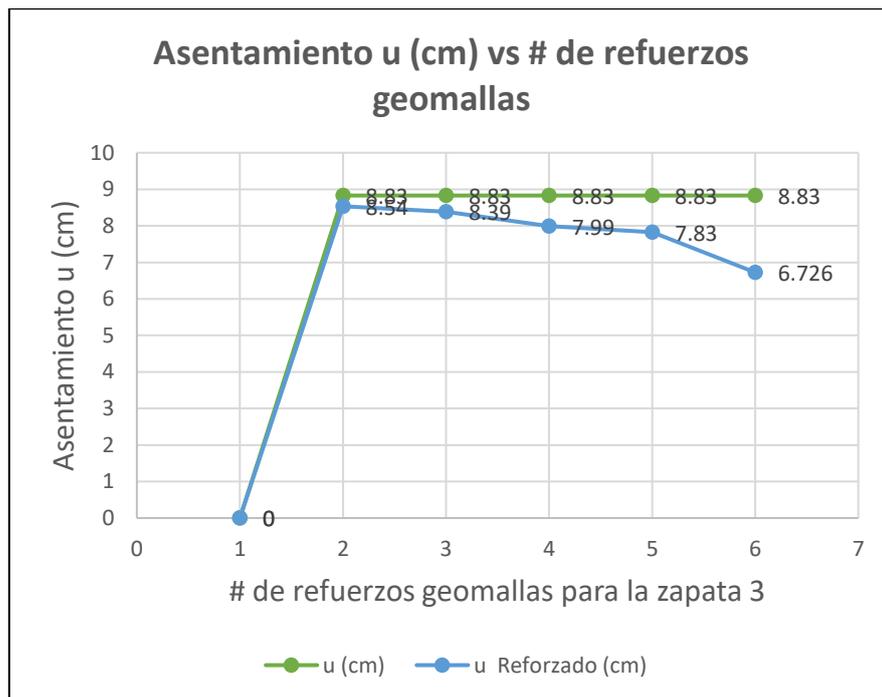


Figura 57: Gráfica de asentamientos versus el número de refuerzos para la zapata 3  
Fuente: Elaboración propia

Con lo observado en la figura 53, 54 y 55 se deduce que existe una reducción en los asentamientos inmediatos en las zapatas 1,2 y 3 en función del número de capas de refuerzo de las geomallas.

De igual manera se agruparon todos los resultados de asentamientos de las zapatas 1,2 y 3 mostrados en la figura 58, para 5 capas de refuerzo de geomallas.

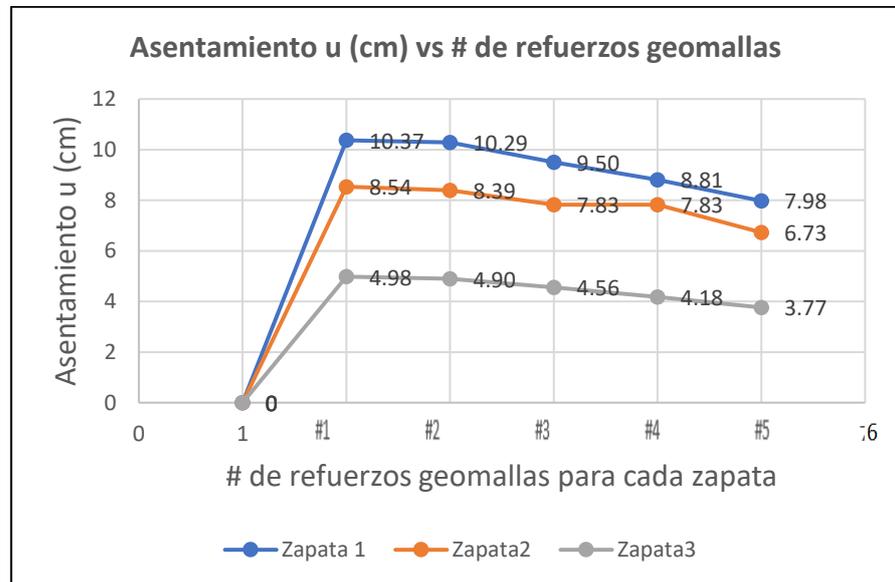


Figura 58: Asentamientos de las zapatas reforzadas 1,2 y 3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 58 se observa la reducción del asentamiento de las zapatas conforme aumenta las capas de refuerzo con geomallas, siendo la zapata 1 la que posee mayor deformación 7.98 cm y la zapata 3 la de menor deformación 3.77 cm.

Finalmente, para observar la mejora de la capacidad de carga del suelo debido al refuerzo con geomallas se usa el termino Bearing Capacity Ratio (BCR) donde se observa el aumento de la capacidad de carga como lo mostrado en la figura 59, empleando la ecuación 35 para designar el coeficiente de aumento de la capacidad de carga del suelo reforzado, cuando comparado al suelo no reforzado.

$$CBR = \frac{q_r}{q} \dots \dots 35$$

Dónde:

$q_r$  = Capacidad de carga suelo reforzado

$q$  = Capacidad de carga de suelo no reforzado

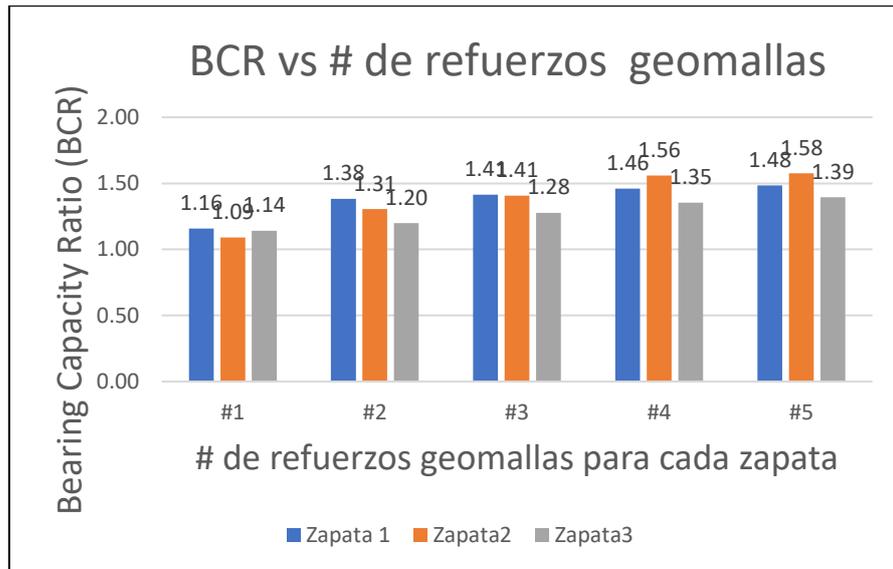


Figura 59: BCR de la zapata 1,2 y3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 59 se verifica que existe un aumento del CBR conforme aumenta el número de capas de refuerzo con geomallas.

En la figura 60 se muestra los esfuerzos transmitidos por las zapatas 1,2 y 3 hacia el suelo en función del número de capas de refuerzo con geomallas.

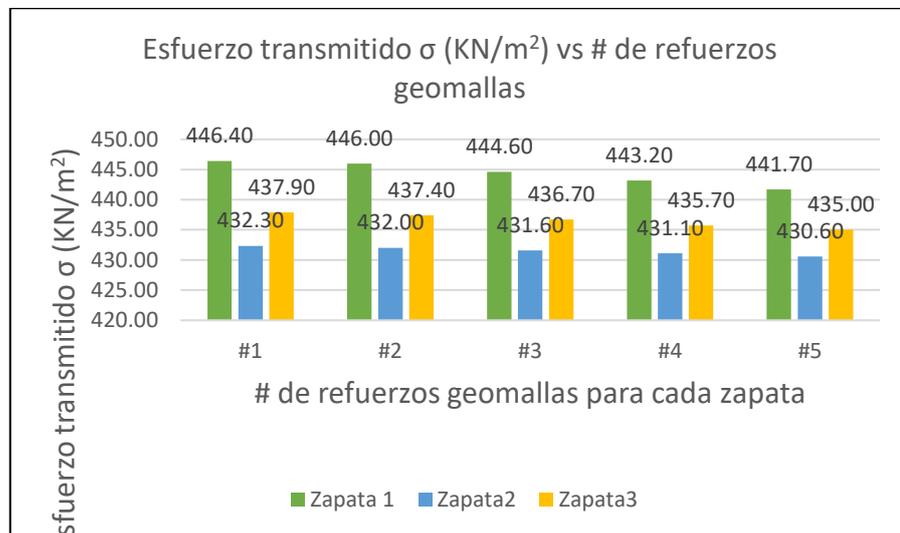


Figura 60: Esfuerzos transmitidos al suelo

Fuente: Elaboración propia

De la gráfica de la figura 60 se observa que la zapata 1 transmite mayor esfuerzo al suelo por ser de mayor dimensión, además los esfuerzos transmitidos disminuyen conforme aumente el número de capas de refuerzo con geomallas.

5.9.5 Comparación de las técnicas de refuerzo con geomallas y columnas de grava  
 Considerando los análisis de resultados mostrados se hace la comparación entre ambas técnicas de refuerzo, en el caso de geomallas se toma como referencia los cálculos de carga admisible  $Q_{adm}$  y asentamiento más crítico que vendría siendo la zapata 2.

En la tabla 40 se muestra las cargas admisibles y asentamientos para ambas técnicas empleando los métodos numéricos FEM.

Tabla N° 40. Cargas admisibles y asentamientos para geomallas y columnas de grava

Técnica	$Q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Asentamiento u (cm)
Geomallas	2.60	3.77
Columnas de grava	1.19	3.81

Fuente: Elaboración propia

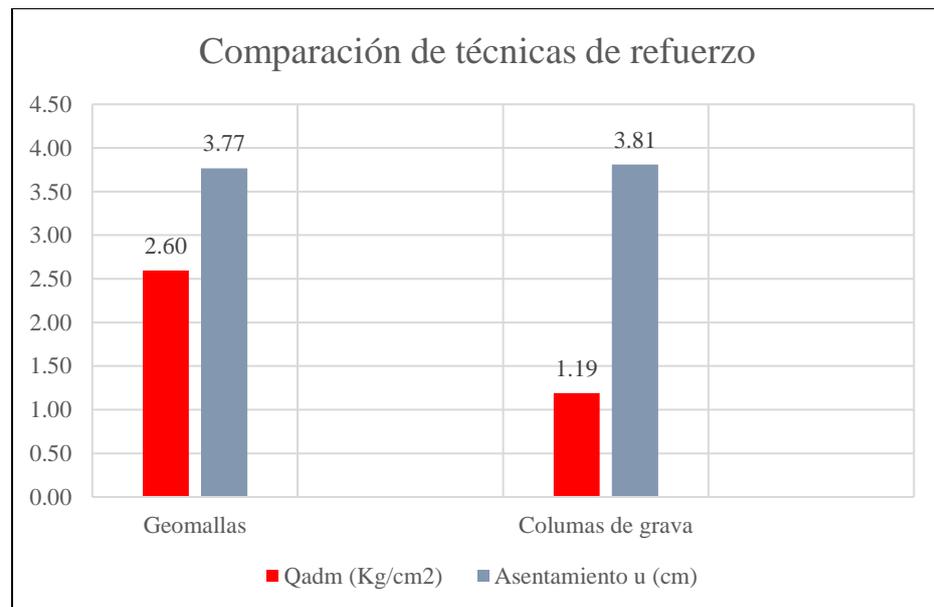


Figura 61: Técnicas de refuerzo del suelo de fundación

Fuente: Elaboración propia

Se verifica en la figura 61 que ambas técnicas refuerzan el suelo de fundación, aumentando la capacidad de carga y reduciendo los asentamientos conforme a los análisis mostrados anteriormente. En lo que respecta a la carga admisible las geomallas ofrecen un mejor aumento de capacidad de carga, de igual

forma el asentamiento vendría a ser mucho menor con respecto a los asentamientos con columnas de grava.

#### 5.10 Contrastación de hipótesis

El trabajo expuesto contiene una hipótesis general y tres secundarias, estas hipótesis son respondidas de acuerdo al desarrollado en la investigación.

##### a) Hipótesis general

El diseño de geomallas y columnas de grava mejora la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura.

Teniendo como consideración el cálculo de las técnicas de refuerzo del suelo de geomallas y columnas de grava desarrolladas del ítem 5.2 al 5.7, se concluye que el diseño de geomallas y columnas de grava mejora el suelo aumentando su capacidad portante, bajo los análisis de métodos de cálculo numéricos (FEM) y analíticos donde se obtuvieron datos de capacidad portante elevados en comparación con los datos de capacidad portante sin técnicas de refuerzo del suelo. En resumen, el diseño de geomallas y columnas de grava mejora el suelo aumentando su capacidad portante bajo la cimentación superficial de la edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura.

##### b) Hipótesis específicas

El refuerzo del suelo con geomallas incrementa la baja capacidad portante y reduce los asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

En función a los cálculos observados en el análisis de resultados específicamente en las figuras 54, 59 y 58 para las zapatas 1,2 y3 analizadas, existe un aumento en la capacidad portante, CBR y una reducción de asentamientos conforme aumenta el número de capas de refuerzo de la geomalla, De igual forma estos datos se obtuvieron empleando métodos de cálculo numérico FEM y analíticos. En conclusión, el refuerzo del suelo con geomallas mejora la baja capacidad portante y reduce los asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

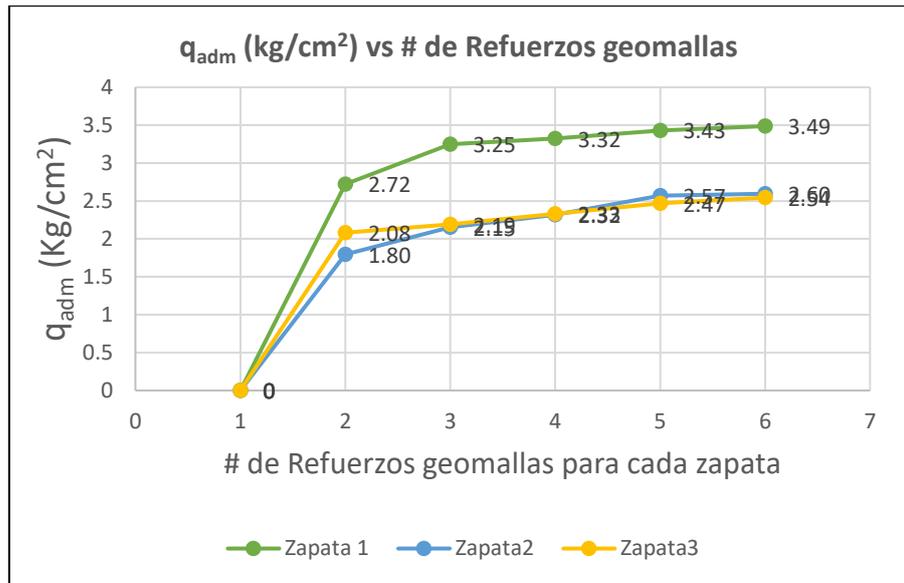


Figura 54: Carga admisible con refuerzo de las zapatas 1,2 y 3

Fuente: Elaboración propia

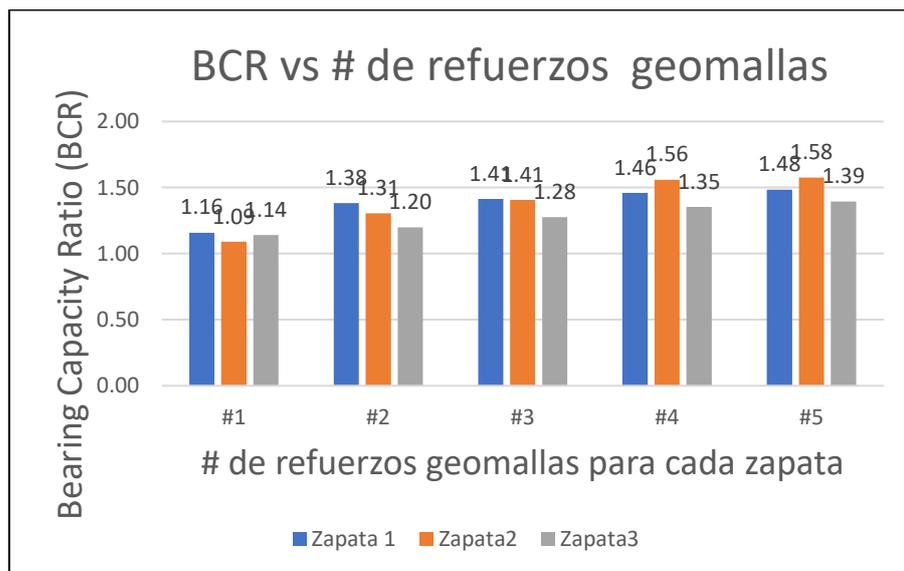


Figura 59: BCR de la zapata 1,2 y3

Fuente: Elaboración propia

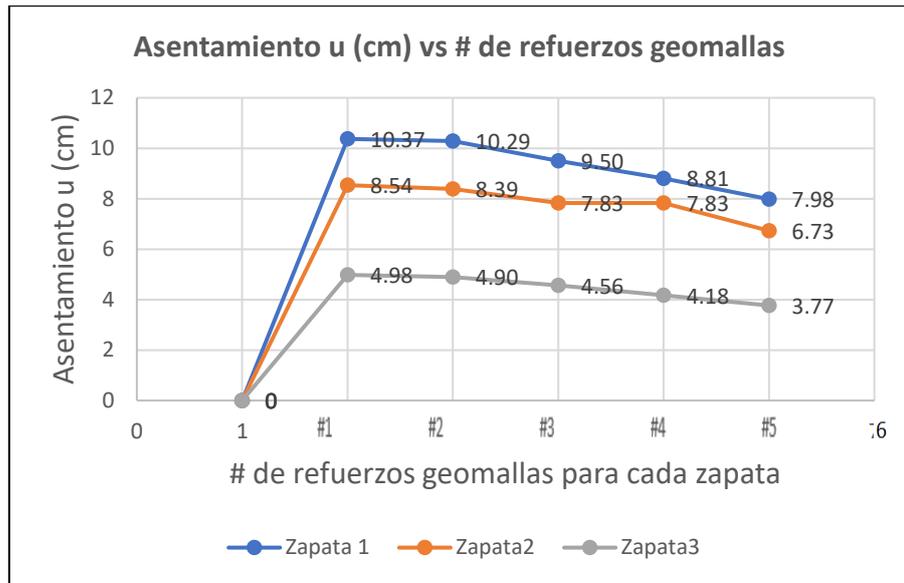


Figura 58: Asentamientos de las zapatas reforzadas 1,2 y 3

Fuente: Elaboración propia

El refuerzo del suelo con columnas de grava reduce los asentamientos y aumenta la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.

En función a los cálculos observados en el análisis de resultados específicamente en las figuras 61, existe el aumento en la capacidad portante y una reducción de asentamiento del centro de salud. De igual forma estos datos se obtuvieron empleando métodos de cálculo numérico y analíticos. En conclusión, el refuerzo del suelo con columnas de gravas mejora la baja capacidad portante y reduce los asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

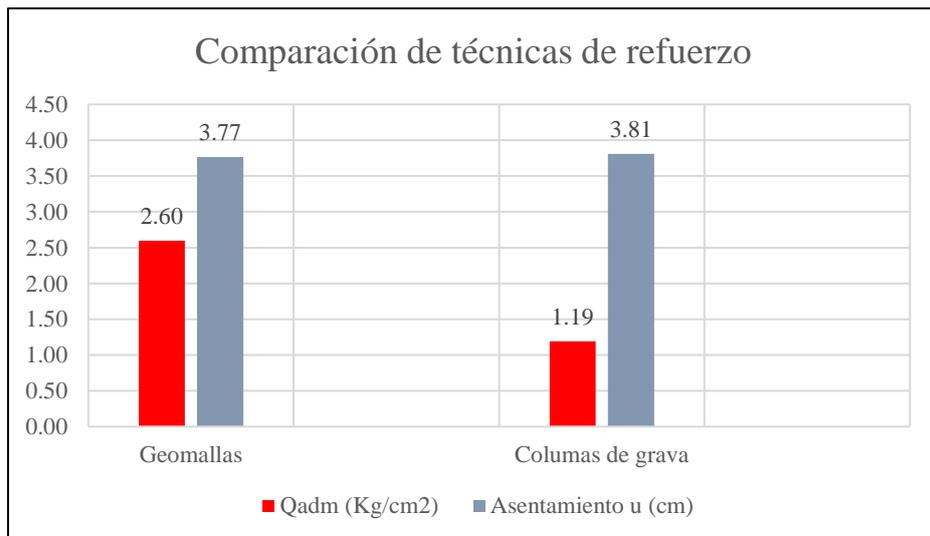


Figura 59: Técnicas de refuerzo del suelo de fundación

Fuente: Elaboración propia

La geomalla es la técnica que mejor aumenta la baja capacidad portante y reduce asentamientos bajo cimentaciones superficiales.

De acuerdo a lo observado en la figura 61 se comprobó que ambas técnicas mejoran el refuerzo del suelo, esto se verifico mediante la comparación de ambas técnicas de refuerzo en función de la carga admisible y el asentamiento, pero cabe precisar que las geomallas mejoran en 1.41 kg/cm<sup>2</sup> más la carga admisible y reducen 0.04 cm más los asentamientos en comparación a la técnica de columnas de grava. En definitiva, la geomalla es la técnica más adecuada para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.

## DISCUSIÓN

Según la investigación de Gamal, Belal y Elsoud (2016) demuestran una relación directamente proporcional entre el número de capas de refuerzo y la relación de la capacidad portante CBR, esto se ajusta a lo demostrado en la presente investigación donde la capacidad de carga de suelo reforzado sobre el suelo no reforzado CBR aumenta significativamente mientras exista un aumento en las capas de refuerzo con geomallas, como lo demuestra la figura 57.

Según Aquisé y Torres (2015), en su investigación se muestran los resultados de tres métodos analíticos y uno numérico. Como por ejemplo el método de Sharma y Wayne se aproximan a los resultados obtenidos en el Plaxis 2D, esta conclusión se puede comparar con la presente investigación como lo mostrado en la figura 46 y 47 donde arrojan resultados similares obtenidos con métodos analíticos de Terzaghy y Wayne comparados con el método numérico FEM, teniendo como recomendación verificar estos resultados con ensayos de laboratorio para la obtención de resultados más confiables.

Según Mendoza y Paitan (2020), en su trabajo de investigación demuestran que el uso de columnas de gravas como inclusiones de mejoras de suelos blandos de tipo arcilloso mejora su capacidad portante del suelo y asentamientos lo cual se comprobó a través de un análisis analítico y numérico.

## CONCLUSIONES

1. De acuerdo al diseño realizado del refuerzo del suelo de fundación se demostró que existe el mejoramiento del suelo con un aumento promedio de  $0.93 \text{ kg/cm}^2$  de la capacidad portante empleando la técnica de geomallas y un  $0.68 \text{ kg/cm}^2$  de capacidad portante promedio con la técnica de columnas de grava, utilizando como metodología de cálculo los métodos numéricos FEM y analíticos los resultados de estos métodos tienen una 75 % de similitud.
2. Realizado el cálculo del refuerzo del suelo con geomallas se verifico un aumento significativo en la capacidad portante de  $3.49 \text{ kg/cm}^2$ ,  $2.6 \text{ kg/cm}^2$  y  $2.54 \text{ kg/cm}^2$  para las zapatas 1,2 y3 respectivamente y una reducción de los asentamientos de 7.88 cm, 1.45cm y 4.16 cm para las zapatas 1,2 y 3 respectivamente para un diseño de 5 capas de refuerzo siendo verificados con los métodos analíticos y numéricos. (figura 52, 56 y 57).
3. Se realizó el cálculo de asentamientos del suelo con columnas de gravas mediante el método Priebe, considerando 1.00 m de diámetro de columna de grava, 2.00 m de espaciamiento (entre ejes), con malla triangular y altura de 5.00 m. Siendo el valor de ángulo de rozamiento de gravas  $40^\circ$ . Se obtuvo un valor de mejora del suelo de 0.42, lo cual representa un 58% de reducción del asentamiento del suelo. (Tabla N° 34)
4. Se demuestra un aumento de carga admisible mayor de  $1.41 \text{ kg/cm}^2$  y una reducción de asentamientos más considerable de 0.04 cm con la técnica de refuerzo de geomallas, siendo así la geomalla la técnica más adecuada para el mejoramiento del suelo de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales. (figura 59).

## RECOMENDACIONES

1. Si bien los métodos numéricos FEM en Plaxis 2D dan aproximaciones muy exactas a los resultados no está demás hacer ensayos en laboratorio de CBR y Proctor modificado para obtener datos experimentales de capacidad resistente, pesos específicos y humedad del suelo reforzado con geomallas para una mejor verificación y contrastación de resultados con los métodos numéricos.
2. Se sugiere en el diseño de refuerzo con geomallas colocar entre 4 y 6 capas de refuerzo como máximo en cada zapata debido a que el aumento de la capacidad de carga ya no es muy considerable con las últimas capas de refuerzo, siendo una pérdida de material y tiempo colocar mayor número de refuerzos.
3. Considerar un diseño del refuerzo del suelo en el que se presente un nivel freático elevado, ya que en la tesis realizada se hizo un diseño sin la intervención del nivel freático, con el fin de que se pueda observar como la carga admisible y asentamientos se vean influenciados por la presencia de agua. Además de incentivar a la innovación de la tecnología en geosintéticos en el aspecto de que puedan tener una mejor capacidad de confinamiento y resistencia a la tracción bajo situaciones de suelo saturado.
4. Los métodos empleados como el método de Priebe nos proporciona resultados cercanos a la realidad sin embargo no se considera el cambio de volumen de la columna de grava por lo que se sugiere optar por otros métodos tales como inclusiones rígidas y sustitución dinámica que son empleado de acuerdo al suelo de tipo arcilloso. También se recomienda determinar el aspecto técnico- económico sobre uso de los métodos para encontrar la solución más adecuada para este tipo de suelos.
5. Se sugiere analizar más de un modelo numéricos en el Plaxis 2D, en la tesis expuesta solo se analizó el comportamiento no lineal del suelo de modelo constitutivo de Mohr Coulomb donde se consideró al suelo un material plástico – elástico. A fin de que se pueda investigar mucho más fondo los modelos números y que este sirva de ayuda para dar resultados mucho más confiables a los diversos diseños geotécnicos de proyectos de ingeniería.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdolhosseinzadeh, A., Samui, P., Samaei, M. & Garousi, A. (2022). *Análisis numérico de la capacidad portante de zapatas circulares reforzadas con capas de geomalla*. Revista Árabe de Geociencias, 15(8). <https://doi.org/10.1007/s12517-022-10030-8>
- Ahmad Safuan, A. R., Aliff, R.B., & Khairun Nissa, M. S. (2017). *El método de mezcla profunda: Estudios de capacidad portante*. Ingeniería Geotécnica y Geológica, 35(4), 1271-1298. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0196-x>
- Aquise, V. y Cesar, T. (2015). *Modelado numérico de suelo reforzado con geomalla sobre cimientos poco profundos de baja capacidad portante para edificios*. <https://ebooks.iospress.nl/doi/10.3233/978-1-61499-603-3-1941>
- Arjomand, M., Abedi, M., Gharib, M., Damghani, M. (2019). *An Experimental Study on Geogrid with Geotextile Effects Aimed to Improve Clayey Soil*. International Journal of Engineering, 32(5), 685-692. [https://www.ije.ir/article\\_88203.html](https://www.ije.ir/article_88203.html)
- Asentamientos en suelos. (2022). *Ingeniería de caminos. Block de ingeniería civil, arquitectura y construcción*. Recuperado de <https://ingeniero-de-caminos.com/asentamientos-en-suelos/>
- Avesani Neto, J., Bueno, B. & Futai, M. (2013). *Un método de cálculo de la capacidad portante para suelos reforzados con una geocelda*. Geosynthetics International, 20(3), 129-142. <https://doi.org/10.1680/gein.13.00007>
- Balaam, N.P. y Booker, J.R. (1981). *Analysis of rigid rafts supported by granular piles*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 5: 379–403. <https://doi.org/10.1002/nag.1610050405>
- Bautista Prada, D. A., & Mayorga Murillo, E. D. (2018). *Análisis del mejoramiento de suelos empleando el método de columnas de grava*. Recuperado de <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/5190>
- Berlanga Arana, M. J. (2019). *Análisis Comparativo de Cimentaciones Superficiales y Uso de Geo-Sintéticos en Suelos de Baja Capacidad Portante*. Recuperado de <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/8487>

- Braja M, Das (2015). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. Santa fe, México: Cengage Learning Editores, S.A. Recuperado de <http://latinoamerica.cengage.com>
- Cal y agregados (2020). *Técnicas de mejoramiento de suelos*. Mora Rolando. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/342135174\\_Tecnicas\\_de\\_mejoramiento\\_de\\_suelos](https://www.researchgate.net/publication/342135174_Tecnicas_de_mejoramiento_de_suelos)
- Castro, J. y Sagasetta, C. (2009). *Consolidation around stone columns. Influence of column deformation*. International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics, 33 (7): 851-877. <https://doi.org/10.1002/nag.745>
- Chávez, D., & Ruíz, F. (2019). *Evaluación Técnico Económica Utilizando Geomallas y Afirmando en Cimentaciones Superficiales*, Caso: Lote 37 De La Urb. Brisas De Oquendo – Callao. (Tesis pregrado). Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/3084>
- Cóndor Andrade, L. J., & Oñate Barreno, K. M. (2019). *Influencia de la disposición de Geomallas en la resistencia del suelo granular sujeto a la aplicación de una carga axial (Bachelor's thesis, PUCE-Quito)*. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/17669>
- Cruz, L. (s. f.). *Manual Geosintéticos (Maccaferri)*. Recuperado 8 de octubre de 2022, de <https://es.scribd.com/document/117434739/Manual-Geosinteticos-Maccaferri>
- Egoavil, H. (2012). *Refuerzo de cimentaciones superficiales con geosintéticos*. Centro de estudios de experimentación de obras públicas, España. Recuperado de <https://geoapuntes.wordpress.com/2012/10/14/refuerzo-de-cimentaciones-superficiales-con-geosinteticos/>
- Fernández, J. (2018) *Columnas de grava en suelos potencialmente licuables. Sociedad chilena de geotecnia*. Recuperado de [https://www.academia.edu/43534405/Columnas\\_de\\_grava\\_en\\_suelos\\_potencialmente\\_licuables](https://www.academia.edu/43534405/Columnas_de_grava_en_suelos_potencialmente_licuables)
- Geosynthetics, A. (s. f.-a). *¿Cómo se construye "Estructura de Suelo Reforzado con Acabado de Hormigón Prefabricado?"* Recuperado 9 de octubre de 2022, de <https://www.geoace.com/es/products/Geomallas/ACEGrid%C2%AE-GG->

- Gamal, Ahmed & Belal, Adel & El-Soud, Sameh. (2016). *Numerical Modeling of Geogrid Reinforced*
- Hasan, N. I., Mohd Taib, A., Muhammad, N. S., Mat Yazid, M. R., Mutalib, A. A. & Abang Hasbollah, D. Z. (2020). *Efectividad de la base de strip con refuerzo de geomalla para diferentes tipos de suelos en Mosul, Irak*. PLOS ONE, 15(12), e0243293. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243293>
- Hurtado, J. E. A. (2007). *Libro de suelos y cimentaciones* <http://www.jorgealvahurtado.com/files/DisenoCimentacionesAlva.pdf>
- Kumar, M. A., Kulanthaivel, P., Selvapraveen, S., Vinodhkumar, S., & Naveenraj, V. (2020). *Comportamiento de resistencia del suelo arcilloso estabilizado con cal*. Serie de conferencias IOP. Ciencia e ingeniería de materiales, 961(1) doi: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/961/1/012003>
- Mendoza Acosta, D. F., & Paitan Perez, A. S. *Columnas de grava para reducir los asentamientos de una estructura hospitalaria cimentada sobre arcilla de alta plasticidad en San Ignacio, Cajamarca*. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10757/654636>
- Ministerio de vivienda. *E.050 Suelos y Cimentaciones 2018.pdf*. (S. f.). Recuperado 8 de octubre de 2022, de <https://es.slideshare.net/olmedo6/e050-suelos-y-cimentaciones-2018pdf>
- Mohammed F., Sinan A. and Mudhafar H. (2020). *Load carrying capacity of rectangular foundation on geogrid reinforced sloped sandy soil*. IOP Conf. Ser.: Mater. Sci Eng. 737 012094. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/737/1/012094/meta>
- Monsalve Vargas, I. S. (2018). *Evaluación técnica-económica de fundación mediante columnas de grava, puente bypass Lumaco, IX Región (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello)*. Recuperado de <http://repositorio.unab.cl/xmlui/handle/ria/7069>
- Orozco Cerón, J. C., & Ramírez Silva, M. A. (2020). *Apuntes de clase enfocados a la ingeniería de cimentaciones. Bogotá, Colombia: Universidad de la Salle*. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_civil/558](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_civil/558)

- Ortiz Zúñiga, N. E., & Quintero Pérez, E. J. (2020). *Uso de geosintéticos para el mejoramiento de la capacidad portante de suelos bajo cimentaciones superficiales*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11227/13514>
- Pal, Suravi & Deb, Kousik. (2019). *Effect of clogging of stone column on drainage capacity during soil liquefaction*. *Soils and Foundations*. 59. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2018.10.005>
- Palmeira, E. M., Araújo, G. L. S., & Santos, E. C. G. (2021). *Sustainable Solutions with Geosynthetics and Alternative Construction Materials—A Review*. *Sustainability* 2021, 13, 12756. <https://doi.org/10.3390/su132212756>
- Pinzón Bossio, E. F., & Villafañe Barraza, J. D. (2020). *Análisis de factores influyentes en el refuerzo de suelo cohesivo drenado usando geosintéticos, aplicado a cimentaciones superficiales, a través del método de elementos finitos (Bachelor's thesis, Corporación Universidad de la Costa)*. Recuperado de <https://hdl.handle.net/11323/8480>
- Priebe, H.J. (1976). *Abschätzung des Setzungsverhaltens eines durch Stopverdichtung Verbesserten Baugrundes*. *Die Bautechnik* 53(5), 160-162. Traducido al castellano como “Estimación de los asentos de un terreno consolidado con columnas de grava”, Boletín de información del Laboratorio de Transporte y Mecánica del Suelo n° 116.
- Priebe, H.J. (1995). *The design of vibro replacement*. *Ground Engineering*, 28(10): 31-37.
- Ramjiram, T. S., Naveen, B. P. y Tegar, J. P. (2021). *Mejora del valor CBR de suelos reforzados con láminas geotextiles no tejidas*. *Revista Internacional de Geingeniería*, 12(1) doi: <https://doi.org/10.1186/s40703-020-00138-9>
- Robert M. Koerner. *Diseñando con Geosintéticos - 6ta Edición Vol. 1*. [en línea] Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=qZtSAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs\\_ge\\_summary\\_r&cad=0#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?id=qZtSAAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false)

- Sagaseta, C. (2006). *Avances en el diseño de las técnicas de mejora del terreno*. Jornadas Técnicas SEMSIG-AETESS 6° Sesión: Técnicas de Mejora del Terreno, Madrid: AETESS. pp. 13-26.
- Sedano Jara, D. M., & Sedano Jara, J. F. (2019). *Propuesta técnica–económica para el diseño de la cimentación en el lote O10 del Condominio Playa Azul distrito De Cerro Azul*. Recuperado de <http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2722>
- Stacho, J., Sulovska, M., Slavik, I. *Determining the Shear Strength Properties of a Soil-geogrid Interface Using a Large-scale Direct Shear Test Apparatus*, Periodica Polytechnica Civil Engineering, 64(4), pp. 989–998, 2020. <https://doi.org/10.3311/PPci.15766>
- Técnicas de mejoramiento de suelo (2018). *Recomendaciones técnicas mejoramiento de suelos*. Soletanche Bachy. Recuperado de <https://extension.cchc.cl/datafiles/40954-2.pdf>
- Tejada Gomez, C. (05 de ABRIL de 2017). *Informe Geotécnico Puente Sánchez Cerro PK 3+239 (TYPESA)*.
- Valdiviezo Sandoval, K. J. (2019). *Uso de columnas de grava compactada para aumentar la capacidad portante del suelo en la avenida Sanchez Cerro entre la avenida Chulucanas y avenida Mártires de Uchuraccay, ubicada en el distrito de Piura–provincia de Piura–departamento de Piura*. Recuperado de <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/UNP/1939>
- Van Impe, E.F., De Beer, E (1983). *Improvement of settlement behaviour of soft layers by means of Stone columns. 8th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Helsinki, 309-312*.
- Wahyuni, D., Ratna, D., & Saloma, S. (2021). *Reinforcement of Soft Soil Using Soil Column Method (Soft Soil + CCR + RHA)*. Sriwijaya Journal of Environment, 5(3), 172-177. Retrieved from <http://www.ojs.pps.unsri.ac.id/index.php/ppsunisri/article/view/253>

## ANEXOS

Anexo 1: Matriz de Consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLE DEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	METODOLOGIA	
¿Cómo es el diseño de geomallas y columnas de grava para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura?	Determinar el diseño de geomallas y columnas de grava para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura mediante cálculos analíticos en hojas de cálculo, y numéricos con el programa Plaxis 2D.	El diseño de geomallas y columnas de grava mejora la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de salud Limón de Porcuya distrito Huarmaca, provincia Huancabamba Región Piura	Capacidad portante	Refuerzo del suelo  Asentamientos	Geología local  Propiedades  Influencia externos  Exposición	Tipo de investigación: Descriptivo, Explicativo y Correlacional Diseño de Investigación: La investigación es experimental, longitudinal y prospectivo Nivel de Investigación: Es de tipo descriptivo	
PROBLEMA ESPECIFICO	OBEJTIVO ESPECIFICO	HIPOTESIS ESPECIFICO	VARIABLE INDEPENDIENTE	DIMENSIÓN	INDICADOR	Población y muestra:	
a. ¿Cómo es el cálculo del refuerzo del suelo con geomallas para el mejoramiento de la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales?	a. Calcular el refuerzo del suelo con geomallas para aumentar la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales.	a. El refuerzo del suelo con geomallas incrementa la baja capacidad portante y reduce los asentamientos bajo cimentaciones superficiales.	Mejoramiento de suelos	Geomalla	Estructura	Población: Centro Poblado de Limón de Porcuya (lote Salud), corresponde a una zona rural del distrito de Huarmaca, provincia de Huancabamba y Región de Piura	
b. ¿Cómo es el cálculo del refuerzo del suelo con columnas de grava para el mejoramiento de la baja capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales?	b. Calcular el refuerzo del suelo con columnas de grava para la reducción de asentamientos y mejora de la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.	b. El refuerzo del suelo con columnas de grava reduce los asentamientos y aumenta la capacidad portante bajo cimentaciones superficiales.			Empleo	Vibradores	Muestra: las zonas de impacto que afectarían al lote ubicado en la calle Daniel Alcides Carrión del Centro Poblado de Limón de Porcuya
c. ¿Cuál es la técnica más adecuada para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales?	c. Determinar la técnica más adecuada con respecto al aumento de la capacidad portante y la reducción de asentamientos bajo cimentaciones superficiales	c. La geomalla es la técnica más que mejor aumenta la baja capacidad portante y reduce asentamientos bajo cimentaciones superficiales.			Empleo	Columna de Grava	

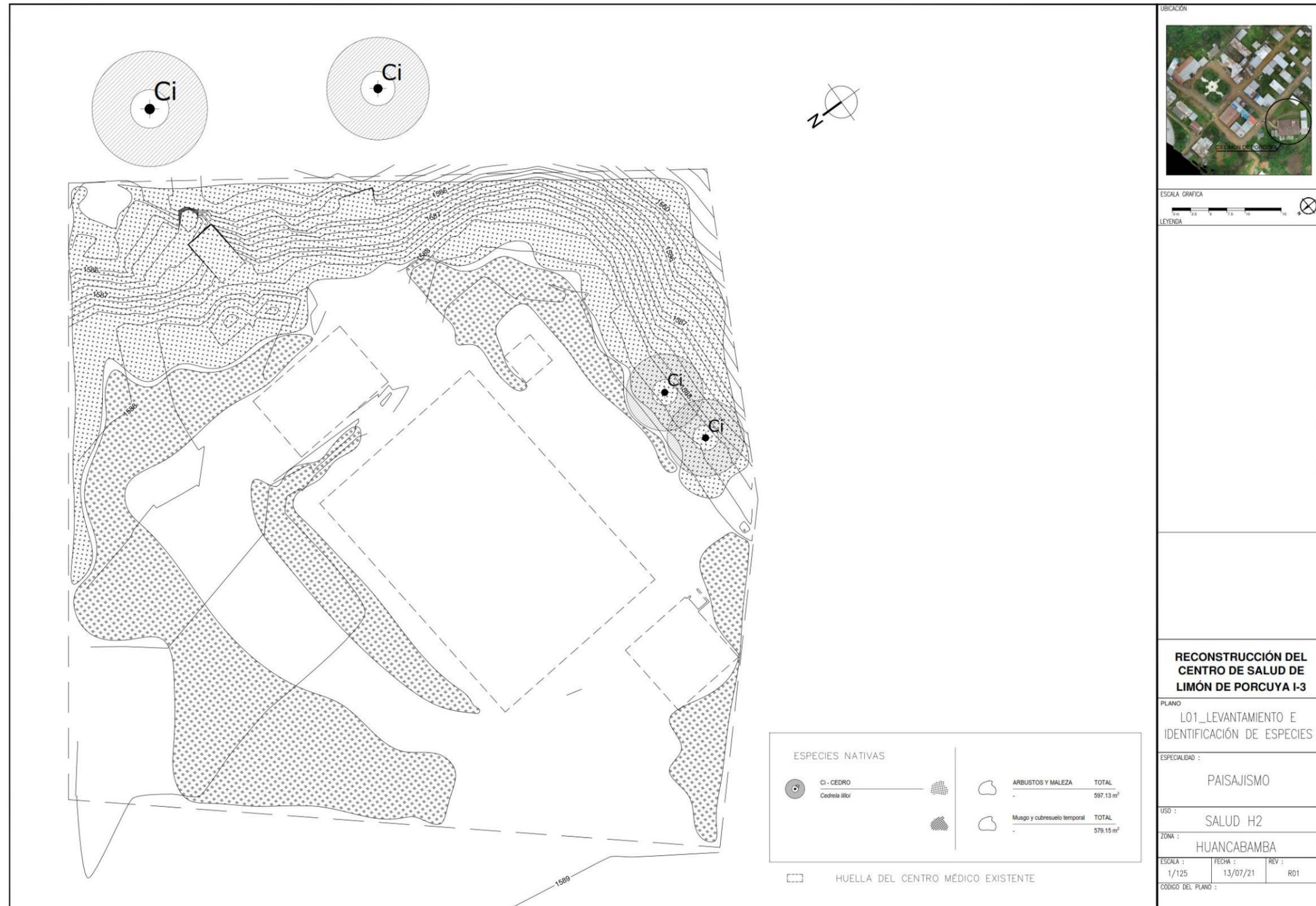
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2: Operacionalización de las variables

Variable	Dimensión	Indicadores	Índice	Und. De medida	Escala	Instrumento	Herramienta	
Capacidad Portante	Refuerzo del suelo	Geología local	Tipo de suelo	KN/Cm <sup>2</sup>	Cuantitativa continua	Proceso y Análisis Jerárquico de la mejora de las propiedades mecánicas del suelo		
			Capacidad portante de suelos					
		Propiedades	Cohesión	KPa	Cuantitativa continua			
	Peso específico		KN/m <sup>3</sup>	Cuantitativa continua				
	Influencia externa	Exposición	Sobrecarga	Kpa	Cuantitativa continua			
			Presión intersticial	KN/m <sup>2</sup>	Cuantitativa continua			
Asentamiento	Evaluación de problemas	Localización de vivienda de acuerdo a su topografía y tipo de edificación		Grados				
		Consolidación	m	Cuantitativa continua				
		Asentamiento diferencial	m	Cuantitativa continua				
Mejoramiento de suelos	Geomalla	Estructura	Poliéster y Polietileno	Adimensional		manuales de geosintéticos estudio de mecánica de suelos, Fichas técnicas y Recopilaciones bibliográficas	Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Normas técnicas E.030 Sismorresistente, E.050 Suelos y Cimentaciones y E.060 Concreto Armado. Norma American Society for Testing and Materials – ASTM. Expediente técnico	
			Uniaxial	Adimensional				
			Biaxial	Adimensional				
	Empleo	Vibradores	Cuadro de datos técnicos		Adimensional			
			Top fedd o vía Húmeda	Adimensional				
	Columna de grava	Empleo	Bottom fedd o vía seca		Adimensional			
Estimación de costos			soles					

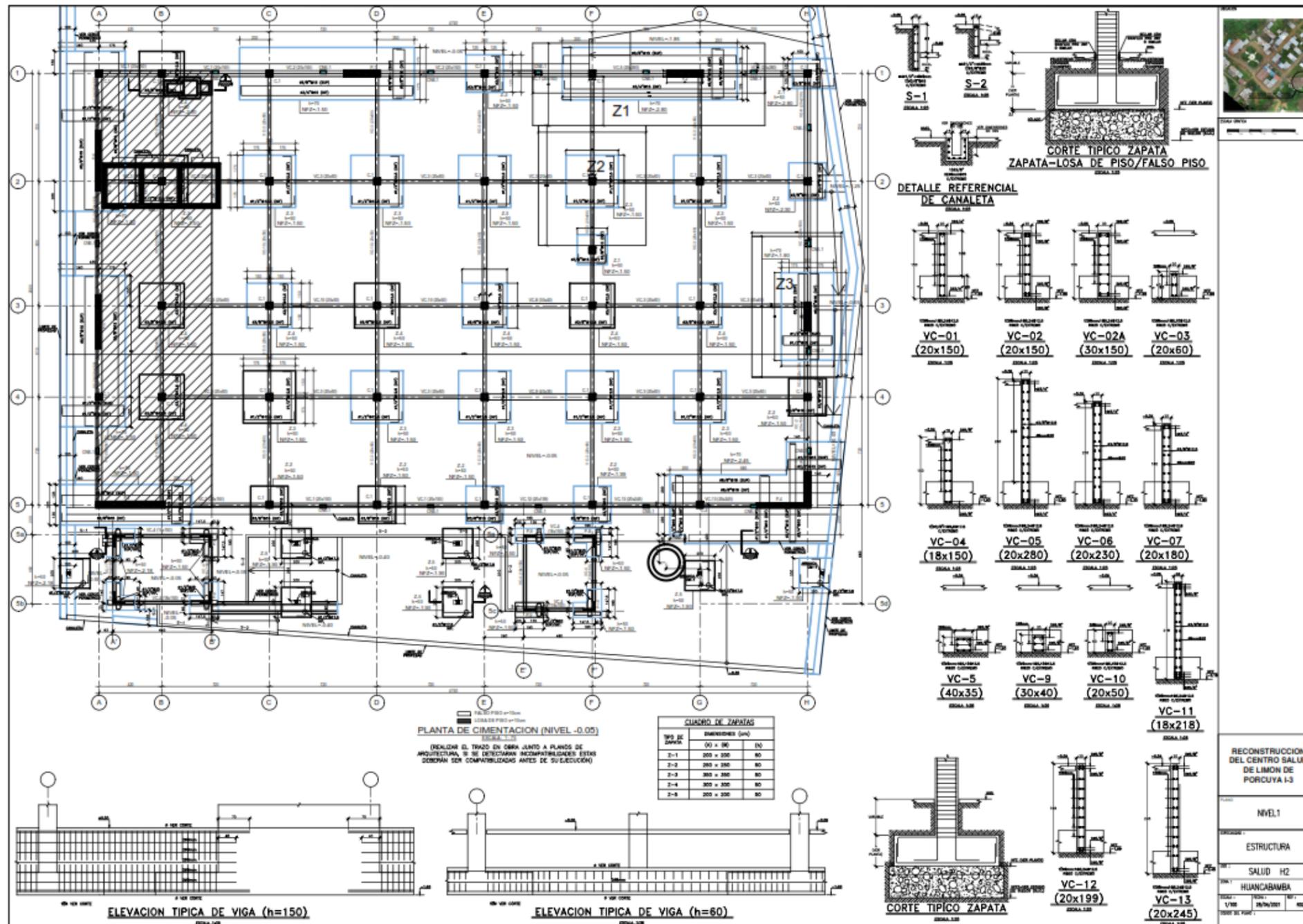
Fuente: Elaboración propia.

Anexo 3: Plano de topografía del Centro de Salud de Limón de Porcuya



Fuente: Seace 3.0 (2021)

Anexo 4: Plano de cimentación del Centro de Salud de Limón de Porcuya



Fuente: Seace 3.0 (2021)

## Anexo 5: Metrado de cargas para la zapata 1

METRADO DE CARGAS PARA LA ZAPATA 1	
Proyecto	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud.
Descripción	Metrado de cargas
Fecha	22/09/2022

CARGAS MUERTAS			
1. PESO PROPIO DE LA COLUMNA		2. PESO PROPIO DE CNE	
Dimensiones	Columna	unidad	
b	0.4	m	
t	0.40	m	
h	6.20	m	
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Total	2380.80	kg	
Fórmula: $b * t * h * p.e$			
3. PESO PROPIO DE LA PLACA		4. PESO PROPIO DE LAS VIGAS	
Dimensiones	Columna	unidad	
b	0.4	m	
t	2.80	m	
h	6.75	m	
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Total	54432.00	kg	
Fórmula: $b * t * h * p.e$			
Dimensiones	Viga	unidad	
b	0.45	m	
h o peralte	1.50	m	
L	15.53	m	
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	
Total	25158.60	kg	
Fórmula: $b * h * L * p.e$			
5. PESO PROPIO DE LA LOSA MACIZA		6. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA	
Dimensiones	Área de losa	unidad	
a	84.95	m	
L	1.00	m	
p.e	250	kg/m <sup>2</sup>	
Total	21237.50	kg	
Fórmula: Área de losa * p.e			
Dimensiones	AT	unidad	
a	5.5	m	
L	15.53	m	
p.e	150	kg/m <sup>2</sup>	
Total	12812.25	kg	
7. PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA METALICA		7. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA	
Dimensiones	area de cubierta	unidad	
a	508	m <sup>2</sup>	
e	0.03	m	
p.e	7860	kg/m <sup>3</sup>	
Total	99822.00	kg	
Fórmula: $a * e * p.e$			
TOTAL		CARGA VIVA	
CARGA MUERTA (CM)	Total (kg)	Total (tn)	Nº de Pisos
	232,164.11	232.16	1
CARGA VIVA (CV)	25,624.50	25.6245	1
		<b>P=</b>	<b>258 tn</b>
AREA DE ZAPATA	40.95	m <sup>2</sup> ESFUERZO TRANSMITIDO A LA	6.30 Tn/m <sup>2</sup>
ZAPATA			<b>61.73 KN/m<sup>2</sup></b>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 6: Metrado de cargas para la zapata 2

METRADO DE CARGAS PARA LA ZAPATA 2					
Proyecto	Geomallas y columnas de gravas para suetos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud.				
Descripción	Metrado de cargas				
Fecha	22/09/2022				
<b>CARGAS MUERTAS</b>					
1. PESO PROPIO DE LA COLUMNA			2. PESO PROPIO DE CNE		
Dimensiones	Columna	unidad	Dimensiones	Columna	unidad
b	0.4	m	b	0	m
t	0.40	m	t	0.00	m
h	6.20	m	h	0.00	m
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>
Total	2380.80	kg	Total	0.00	kg
Fórmula: $b * t * h * p.e$			Fórmula: $b * t * h * p.e$		
3. PESO PROPIO DE LA PLACA			4. PESO PROPIO DE LAS VIGAS		
Dimensiones	Columna	unidad	Dimensiones	Viga	unidad
b	0	m	b	0.2	m
t	0.00	m	h o peralte	0.60	m
h	0.00	m	L	6.80	m
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>
Total	0.00	kg	Total	1958.40	kg
Fórmula: $b * t * h * p.e$			Fórmula: $b * h * L * p.e$		
5. PESO PROPIO DE LA LOSA MACIZA			7. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA		
Dimensiones	Área de losa	unidad	Dimensiones	Viga	unidad
a	57.6	m	b	0.2	m
L	1.00	m	h o peralte	0.60	m
p.e	250	kg/m <sup>2</sup>	L	7.60	m
Total	14400.00	kg	p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>
Fórmula: $\text{Área de losa} * p.e$			Total	2188.80	kg
6. PESO PROPIO DE LOS ACABADOS			7. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA		
Dimensiones	AT	unidad	Dimensiones	AT Muro	unidad
a	8	m	h	3	m
L	7.20	m	L	43.50	m
p.e	150	kg/m <sup>2</sup>	p.e	150	kg/m <sup>2</sup>
Total	8640.00	kg	Total	19575.00	kg
7. PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA METALICA			<b>CARGA VIVA</b>		
Dimensiones	area de Cubierta	unidad	Dimensiones	AT	unidad
a	68	m <sup>2</sup>	a	8	m
e	0.03	m	L	7.20	m
p.e	7860	kg/m <sup>3</sup>	p.e	300	kg/m <sup>2</sup>
Total	13362.00	kg	Total	17280.00	kg
Fórmula: $a * e * p.e$					
<b>TOTAL</b>					
CARGA MUERTA (CM)	Total (kg)	Total (tn)	Nº de Pisos	Total (tn)	
	62,505.00	62.51	1	63	
CARGA VIVA (CV)	17,280.00	17.28	1	17	
				<b>P= 80 tn</b>	
AREA DE ZAPATA	12.25	m <sup>2</sup> ESFUERZO TRANSMITIDO A LA ZAPATA			
				6.51 Tn/m <sup>2</sup>	
				<b>63.87 KN/m<sup>2</sup></b>	

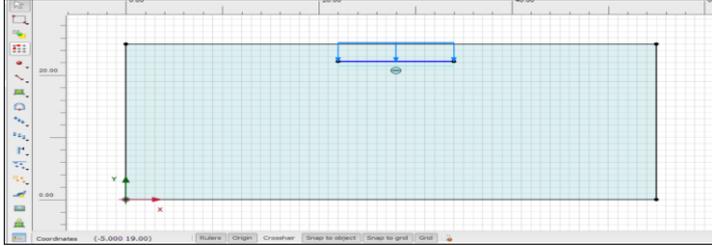
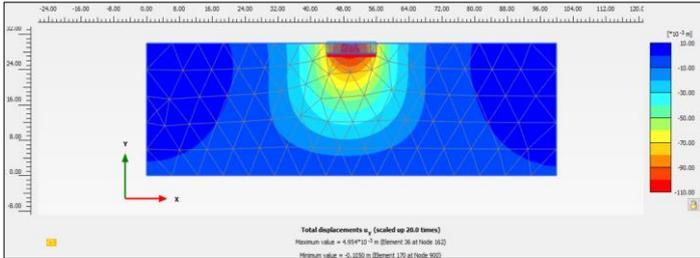
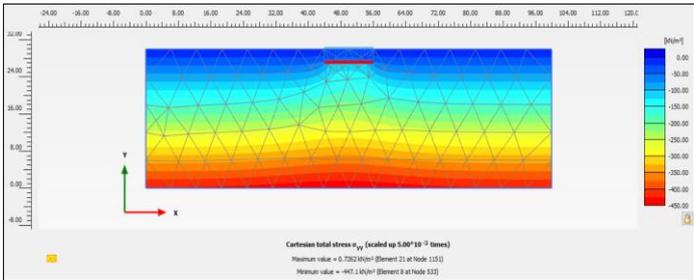
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 7: Metrado de cargas para la zapata 3

METRADO DE CARGAS PARA LA ZAPATA 3					
Proyecto	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud.				
Descripción	Metrado de cargas				
Fecha	22/09/2022				
<b>CARGAS MUERTAS</b>					
1. PESO PROPIO DE LA COLUMNA			2. PESO PROPIO DE CNE		
Dimensiones	Columna	unidad	Dimensiones	Columna	unidad
b	0	m	b	0.2	m
t	0.00	m	t	6.75	m
h	0.00	m	h	6.20	m
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>
Total	0.00	kg	Total	60264.00	kg
Fórmula:	$b * t * h * p.e$		Fórmula:	$b * t * h * p.e$	
3. PESO PROPIO DE LA PLACA			4. PESO PROPIO DE LAS VIGAS		
Dimensiones	Columna	unidad	Dimensiones	Viga	unidad
b	0.4	m	b	0.2	m
t	1.85	m	h o peralte	0.60	m
h	6.40	m	L	11.07	m
p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>	p.e	2400	kg/m <sup>3</sup>
Total	34099.20	kg	Total	3188.16	kg
Fórmula:	$b * t * h * p.e$		Fórmula:	$b * h * L * p.e$	
5. PESO PROPIO DE LA LOSA MACIZA			7. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA		
Dimensiones	Área de losa	unidad	Dimensiones	Viga	unidad
a	56.4	m	b	0	m
L	1.00	m	h o peralte	0.00	m
p.e	250	kg/m <sup>2</sup>	L	0.00	m
Total	14100.00	kg	p.e	0	kg/m <sup>3</sup>
Fórmula:	Área de losa * p.e		Total	0.00	kg
6. PESO PROPIO DE LOS ACABADOS			7. PESO PROPIO DE LA ESTRUCTURA METALICA		
Dimensiones	AT	unidad	Dimensiones	á r e a de Cubierta	unidad
a	6	m	a	57.2	m <sup>2</sup>
L	6.40	m	e	0.03	m
p.e	100	kg/m <sup>2</sup>	p.e	7860	kg/m <sup>3</sup>
Total	3840.00	kg	Total	11239.80	kg
Fórmula: $a * e * p.e$			7. PESO PROPIO DE LA TABIQUERÍA		
			Dimensiones	AT Muro	unidad
			h	3	m
			L	45.20	m
			p.e	150	kg/m <sup>2</sup>
			Total	20340.00	kg
			<b>CARGA VIVA</b>		
			Dimensiones	AT	unidad
			a	9.4	m
			L	6.00	m
			p.e	300	kg/m <sup>2</sup>
			Total	16920.00	kg
			Fórmula: $a * e * p.e$		
<b>TOTAL</b>					
CARGA MUERTA (CM)	Total (kg)	Total (tn)	N° de Pisos	Total (tn)	
	147,071.16	147.07	1	147	
CARGA VIVA (CV)	16,920.00	16.92	1	17	
			P=	<b>164 tn</b>	
AREA DE ZAPATA	20.475	m <sup>2</sup> ESFUERZO TRANSMITIDO A			
LA ZAPATA		8.01 Tn/m <sup>2</sup>			
		<b>78.54 KN/m<sup>2</sup></b>			

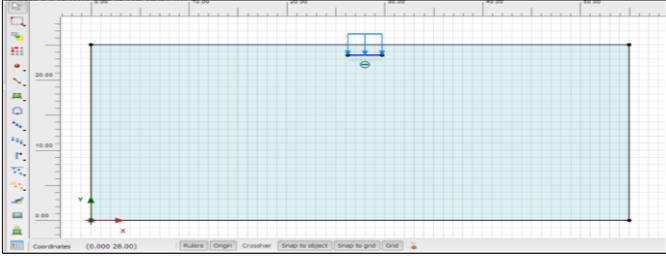
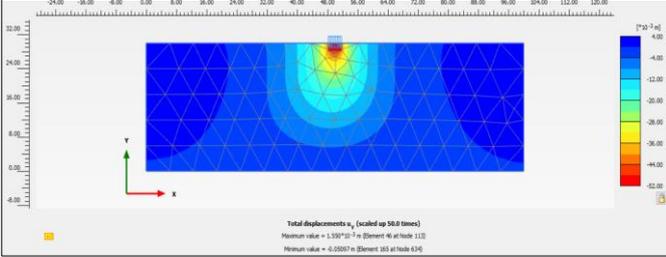
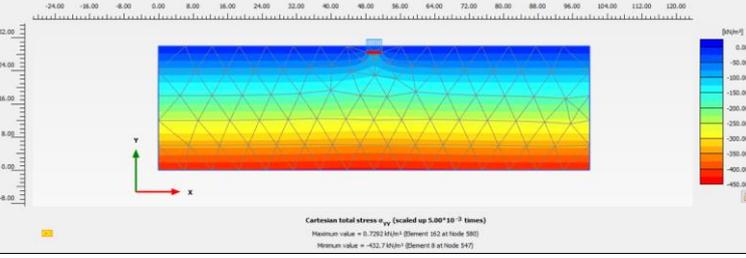
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 8: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 1

<b>CÁLCULO NUMÉRICO SIN REFUERZO - ZAPATA 1</b>																																													
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud																																												
<b>Descripción</b>	Análisis numérico sin refuerzo																																												
<b>Fecha</b>	27/09/2022																																												
<p><b>1.Cargas que soporta las zapatas</b>                      Datos obtenidos mediante el metrodo de cargas de la edificación de salud.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zapata</th> <th><math>q_1</math> (Tn/m<sup>2</sup>)</th> <th><math>q_2</math> (kg/m<sup>2</sup>)</th> <th><math>q_3</math>(k/Nm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z1</td> <td>6.30</td> <td>0.63</td> <td>61.74</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>2.Zapata 1 enterrada</b>                      2.1 Modelamiento en el Plaxis 2D</p>  <p>2.2 Asentamientos de la zapata</p>  <p>El asentamiento maximo de la zapata 1 es 10.5 cm</p> <p>2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos</p>  <p>El maximo esfuerzo transmitido es de 465.8 KN/m<sup>2</sup></p> <p>2.5 Capacidad admisible</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga última qu(kPa)</th> <th>Msf</th> <th>Carga Nueva</th> <th>F.S</th> <th>Qadm (KPa)</th> <th>Qadm (Kg/cm2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>61.74</td> <td>5.61</td> <td>346.22</td> <td>3.00</td> <td>20.58</td> <td>0.21</td> </tr> <tr> <td>346.22</td> <td>1.58</td> <td>547.03</td> <td>3.00</td> <td>115.41</td> <td>1.18</td> </tr> <tr> <td>547.03</td> <td>1.25</td> <td>681.60</td> <td>3.00</td> <td>182.34</td> <td>1.86</td> </tr> <tr> <td>681.60</td> <td>1.02</td> <td>691.82</td> <td>3.00</td> <td>227.20</td> <td>2.32</td> </tr> <tr> <td>691.82</td> <td>1.00</td> <td>691.82</td> <td>3.00</td> <td>230.61</td> <td><b>2.35</b></td> </tr> </tbody> </table> <p>La carga admisible ultima vendria siendo 2.35 kg/cm<sup>2</sup></p>		Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )	Z1	6.30	0.63	61.74	Carga última qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)	61.74	5.61	346.22	3.00	20.58	0.21	346.22	1.58	547.03	3.00	115.41	1.18	547.03	1.25	681.60	3.00	182.34	1.86	681.60	1.02	691.82	3.00	227.20	2.32	691.82	1.00	691.82	3.00	230.61	<b>2.35</b>
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )																																										
Z1	6.30	0.63	61.74																																										
Carga última qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)																																								
61.74	5.61	346.22	3.00	20.58	0.21																																								
346.22	1.58	547.03	3.00	115.41	1.18																																								
547.03	1.25	681.60	3.00	182.34	1.86																																								
681.60	1.02	691.82	3.00	227.20	2.32																																								
691.82	1.00	691.82	3.00	230.61	<b>2.35</b>																																								

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 9: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 2

<b>CÁLCULO NUMÉRICO SIN REFUERZO - ZAPATA 2</b>																																																															
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud																																																														
<b>Descripción</b>	Análisis numérico sin refuerzo																																																														
<b>Fecha</b>	27/09/2022																																																														
<p><b>1.Cargas que soporta las zapatas</b>                      Datos obtenidos mediante el metro de cargas de la edificación de salud.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zapata</th> <th><math>q_1</math> (Tn/m<sup>2</sup>)</th> <th><math>q_2</math> (kg/m<sup>2</sup>)</th> <th><math>q_3</math>(k/Nm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z2</td> <td>6,51</td> <td>0,65</td> <td>63,87</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>2.Zapata 2 enterrada</b>  <b>2.1 Modelamiento en el Plaxis 2D</b></p>  <p><b>2.2 Asentamientos de la zapata</b></p>  <p>El asentamiento maximo de la zapata 1 es 5.09 cm</p> <p><b>2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos</b></p>  <p>El maximo esfuerzo transmitido es de 432.7 KN/m<sup>2</sup></p> <p><b>2.5 Capacidad admisible</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Carga ultima qu(kPa)</th> <th>Msf</th> <th>Carga Nueva</th> <th>F.S</th> <th>Qadm (KPa)</th> <th>Qadm (Kg/cm2)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>63.87</td> <td>4.09</td> <td>261.43</td> <td>3.00</td> <td>21.29</td> <td>0.22</td> </tr> <tr> <td>261.43</td> <td>1.36</td> <td>355.55</td> <td>3.00</td> <td>87.14</td> <td>0.89</td> </tr> <tr> <td>355.55</td> <td>1.14</td> <td>405.33</td> <td>3.00</td> <td>118.52</td> <td>1.21</td> </tr> <tr> <td>405.33</td> <td>1.09</td> <td>441.81</td> <td>3.00</td> <td>135.11</td> <td>1.38</td> </tr> <tr> <td>441.81</td> <td>1.05</td> <td>464.34</td> <td>3.00</td> <td>147.27</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>464.34</td> <td>1.03</td> <td>476.41</td> <td>3.00</td> <td>154.78</td> <td>1.58</td> </tr> <tr> <td>476.41</td> <td>1.02</td> <td>484.99</td> <td>3.00</td> <td>158.80</td> <td>1.62</td> </tr> <tr> <td>484.99</td> <td>1.00</td> <td>484.99</td> <td>3.00</td> <td>161.66</td> <td>1.65</td> </tr> </tbody> </table> <p>La carga admisible ultima vendria siendo 1.65 kg/cm<sup>2</sup></p>		Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )	Z2	6,51	0,65	63,87	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)	63.87	4.09	261.43	3.00	21.29	0.22	261.43	1.36	355.55	3.00	87.14	0.89	355.55	1.14	405.33	3.00	118.52	1.21	405.33	1.09	441.81	3.00	135.11	1.38	441.81	1.05	464.34	3.00	147.27	1.50	464.34	1.03	476.41	3.00	154.78	1.58	476.41	1.02	484.99	3.00	158.80	1.62	484.99	1.00	484.99	3.00	161.66	1.65
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )																																																												
Z2	6,51	0,65	63,87																																																												
Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)																																																										
63.87	4.09	261.43	3.00	21.29	0.22																																																										
261.43	1.36	355.55	3.00	87.14	0.89																																																										
355.55	1.14	405.33	3.00	118.52	1.21																																																										
405.33	1.09	441.81	3.00	135.11	1.38																																																										
441.81	1.05	464.34	3.00	147.27	1.50																																																										
464.34	1.03	476.41	3.00	154.78	1.58																																																										
476.41	1.02	484.99	3.00	158.80	1.62																																																										
484.99	1.00	484.99	3.00	161.66	1.65																																																										

Fuente: Elaboración propia.

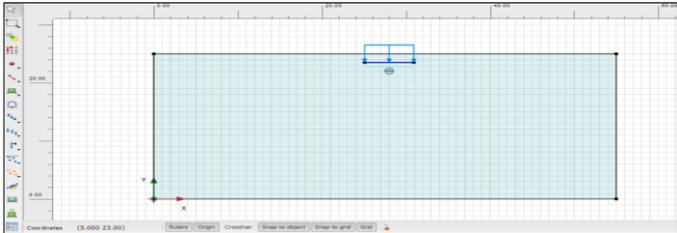
## Anexo 10: Calculo numérico sin refuerzo-Zapata 3

<b>CÁLCULO NUMÉRICO SIN REFUERZO - ZAPATA 3</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico sin refuerzo
<b>Fecha</b>	27/09/2022

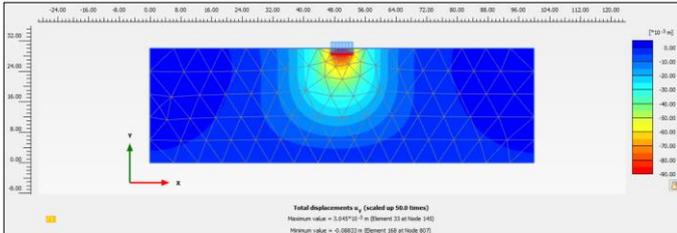
**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrodo de cargas de la edificación de salud.

Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z3	8.01	0.80	78.55

**2. Zapata 3 enterrada**  
**2.1 Modelamiento en el Plaxis 2D**

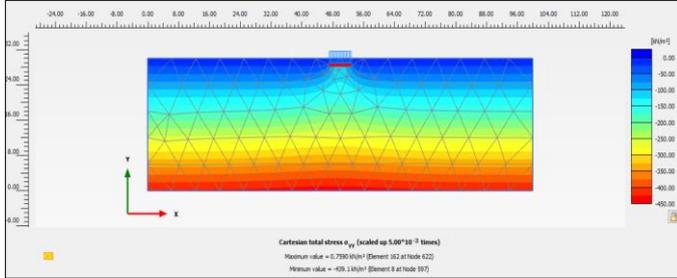


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento maximo de la zapata 3 es 8.83 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El maximo esfuerzo transmitido es de 439.1 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
78.55	3.38	265.41	3.00	26.18	0.27
265.41	1.34	355.65	3.00	88.47	0.90
355.65	1.26	448.12	3.00	118.55	1.21
448.12	1.10	494.73	3.00	149.37	1.52
494.73	1.08	531.83	3.00	164.91	1.68
531.83	1.01	537.15	3.00	177.28	1.81
537.15	1.00	537.15	3.00	179.05	1.83

La carga admisible ultima vendria siendo 1.83 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 11: Cálculo analítico sin refuerzo de la zapata 1, 2 y 3

<b>CÁLCULO ANALÍTICO SIN REFUERZO</b>										
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Sahel									
<b>Descripción</b>	Análisis numérico sin refuerzo									
<b>Fecha</b>	22/09/2022									
<b>1. Cálculo de capacidad de carga</b>										
<b>1.1. Analisis</b>										
Se aplica el metodo terzaghi para las zapatas B x B a una profundidad de cimentación Df= 1.5m donde se utiliza la siguiente formula y corrección al angulo de fricción planteada por terzaghi considerando que existe una falla local por ser un suelo con presencia de arcillas de mediana plasticidad .										
<b>2. Parametros geotecnicos</b>										
<b>Zapata</b>	<b>Tipo de suelo</b>	<b>Tipo de falla</b>	<b>Df (m)</b>	<b>φ(°)</b>	<b>φ' (°)</b>	<b>C (Kg/c m3)</b>	<b>N<sub>q</sub></b>	<b>N<sub>c</sub></b>	<b>N<sub>y</sub></b>	<b>q (kg/cm2)</b>
Z1	CL	Local	2.8	14.35	21°	0.1	3.59	10.37	2.29	0.93
Z2	CL	Local	1.5	14.35	21°	0.1	3.59	10.37	2.29	0.65
Z3	CL	Local	1.5	14.35	21°	0.1	3.59	10.37	2.29	0.8
Carga ultima cimentación cuadrada $q_u = c'N_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN\gamma' \dots (3)$										
Corrección al angulo de fricción $\phi' = \tan^{-1} * \left(\frac{2}{3}\tan\phi\right)$										
Capacidad admisible del terreno $q_{perm} = \frac{q_u}{FS}$										
<b>2. Cálculo de carga admisible</b>										
<b>Zapata</b>	<b>B(m)</b>	<b>B(m)</b>	<b>γ'</b>	<b>1.3c' N<sub>c</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>qN<sub>q</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>0.4γBN<sub>y</sub>/10 (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>FS</b>	<b>Q<sub>u</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>adm</sub> (Kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>adm</sub> (T/m<sup>2</sup>)</b>
Z1	11.7	3.5	1.7	1.348	3.34	1.822	3	6.51	2.17	<b>21.70</b>
Z2	3.5	3.5	1.7	1.348	2.33	0.545	3	4.23	1.41	<b>14.09</b>
Z3	5.85	3.5	1.7	1.348	2.87	0.911	3	5.13	1.71	<b>17.10</b>
<b>3. Cálculo de asentamientos inmediatos</b>										
<b>Datos iniciales</b>										
<b>Zapata</b>	<b>E(tn/m<sup>2</sup>)</b>	<b>u</b>	<b>q<sub>0</sub> (Tn/m<sup>2</sup>)</b>							
Z1	800	0.3	6.30							
Z2	800	0.3	6.51							
Z3	800	0.3	8.01							
El asentamiento inmediato se calcula con la siguiente expresión $S_e = \frac{q_0 B (1 - \mu^2) I_p}{E}$										
<b>Asentamiento iniciales</b>										
<b>Zapata</b>	<b>q<sub>0</sub> (Tn/m<sup>2</sup>)</b>	<b>largo (m)</b>	<b>ancho (m)</b>	<b>Coefficiente de fluencia I<sub>p</sub></b>	<b>m = L/B</b>	<b>módulo de elasticidad E</b>	<b>módulo de poisson u</b>	<b>asentamiento S<sub>e</sub> (m)</b>	<b>asentamiento S<sub>e</sub> (cm)</b>	
Z1	6.30	11.7	3.50	0.94	3.343	800	0.30	0.08	<b>7.88</b>	
Z2	6.51	3.5	3.50	0.56	1.000	800	0.30	0.01	<b>1.45</b>	
Z3	8.01	5.85	3.50	0.78	1.671	800	0.30	0.04	<b>4.16</b>	
Se observa los asentamientos iniciales de cada zapata.										

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 12: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla -Zapata 1

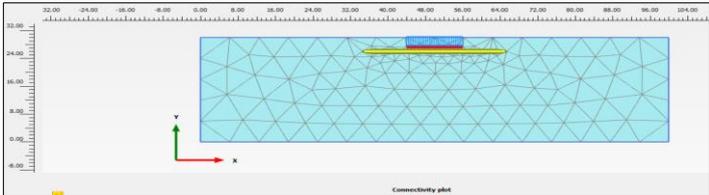
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 1</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 1 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrodo de cargas de la edificación de salud.

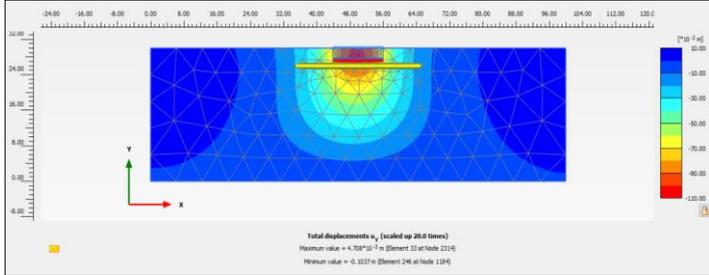
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z1	6.30	0.63	61.74

**2. Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzo	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
1	Z1	11.7	1.2		30

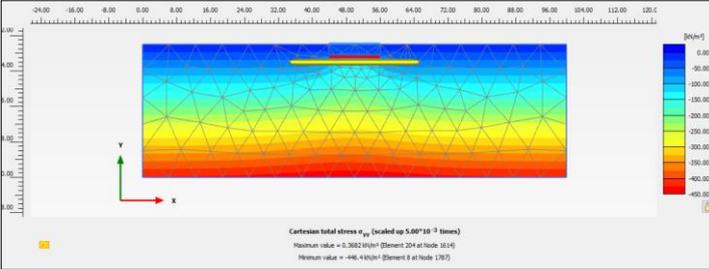


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 1 es 10.37 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 446.4 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	61.74	6.23	384.44	3	20.58	0.21
1	384.44	1.72	661.23	3	128.15	1.31
1	661.23	1.20	793.48	3	220.41	2.25
1	793.48	1.01	801.41	3	264.49	2.70
1	801.41	1.00	801.41	3	267.14	2.72

La carga admisible ultima vendria siendo 2.72 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 13: Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1

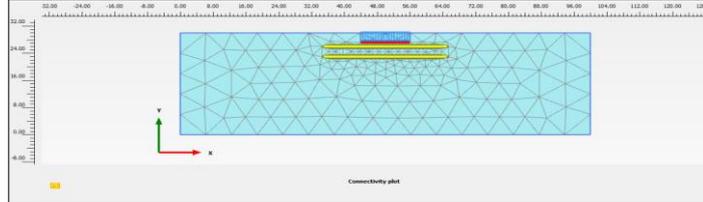
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 1</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 2 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

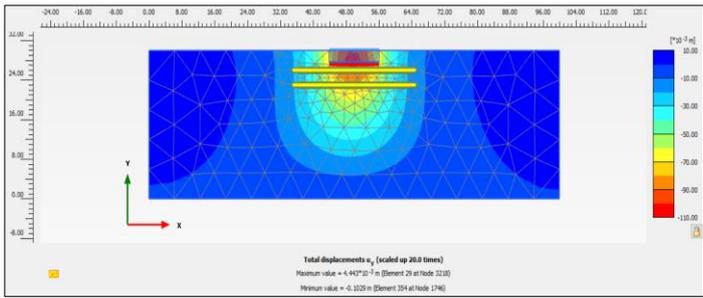
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m2)	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z1	6.30	0.63	61.74

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
2	Z1	11.7	1.2	3	30

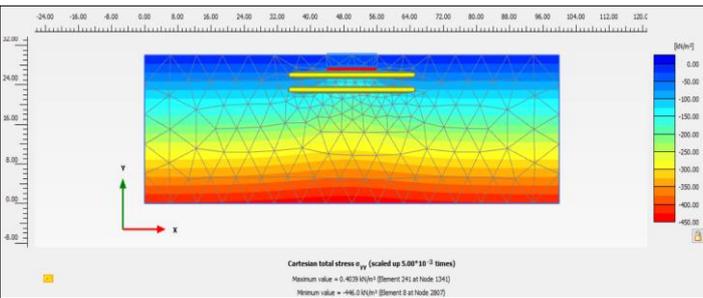


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento maximo de la zapata 1 es 10.29 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El maximo esfuerzo transmitido es de 446 KN/m<sup>2</sup>

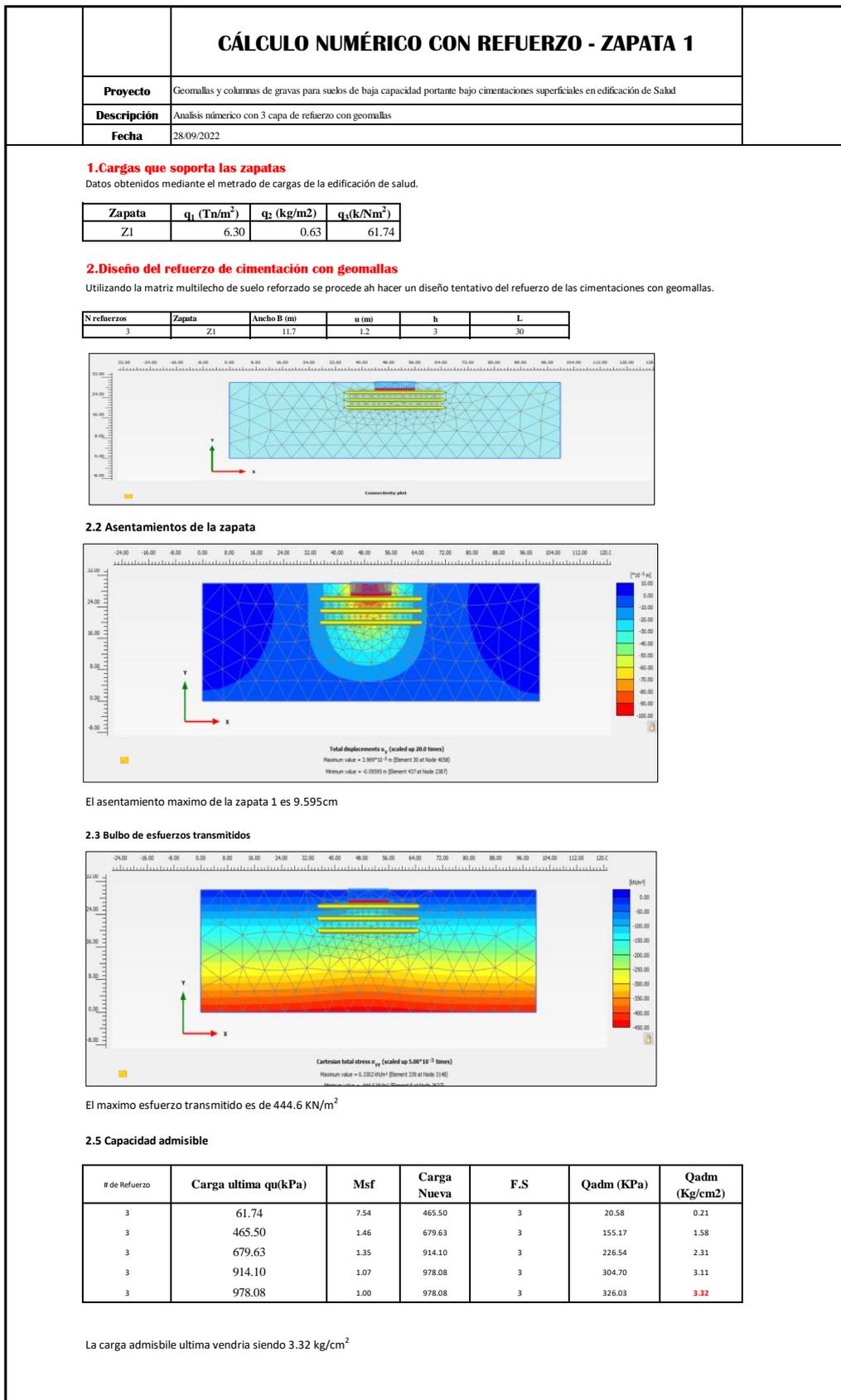
**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
2	61.74	7.01	432.78	3	20.58	0.21
2	432.78	1.61	696.77	3	144.26	1.47
2	696.77	1.32	919.74	3	232.26	2.37
2	919.74	1.04	956.53	3	306.58	3.13
2	956.53	1.00	956.53	3	318.84	3.25

La carga admisible ultima vendria siendo 3.25 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 14: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 15: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1

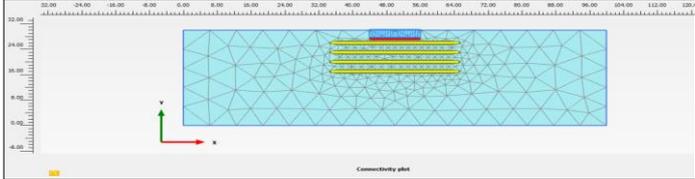
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 1</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 4 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

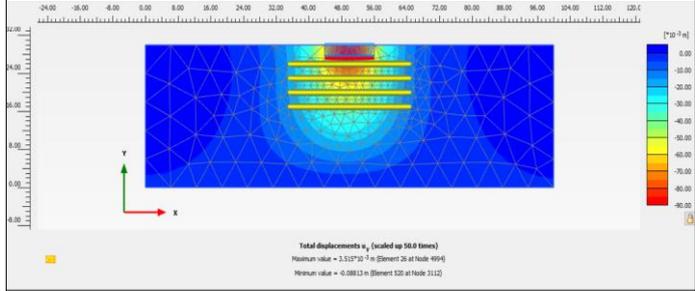
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z1	6.30	0.63	61.74

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multitecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzo	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
4	Z1	11.7	1.2	3	30

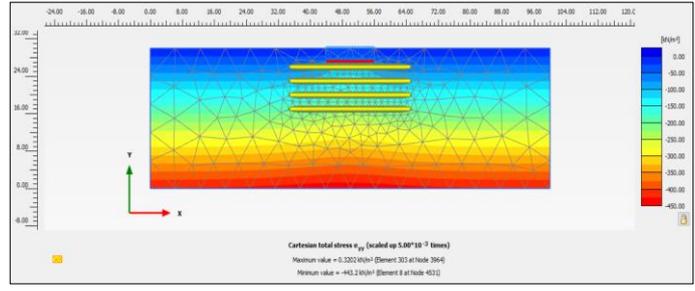


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento maximo de la zapata 1 es 8.813cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El maximo esfuerzo transmitido es de 443.2 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
4	61.74	8.12	501.30	3	20.58	0.21
4	501.30	1.64	822.14	3	167.10	1.70
4	822.14	1.17	961.90	3	274.05	2.79
4	961.90	1.05	1010.00	3	320.63	3.27
4	1010.00	1.00	1010.00	3	336.67	3.43

La carga admisible ultima vendria siendo 3.43kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 16: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomalla-Zapata 1

<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 1</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 5 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m2)	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z1	6.30	0.63	61.74

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multitecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

Nrefuerzo	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
5	Z1	11.7	1.2	3	30

**2.2 Asentamientos de la zapata**

El asentamiento maximo de la zapata 1 es 7.98 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**

El maximo esfuerzo transmitido es de 442.7 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
5	61.74	9.03	557.18	3	20.58	0.21
5	557.18	1.60	891.48	3	185.73	1.89
5	891.48	1.14	1016.29	3	297.16	3.03
5	1016.29	1.01	1026.45	3	338.76	3.45
5	1026.45	1.00	1026.45	3	342.15	<b>3.49</b>

La carga admisible ultima vendria siendo 3.49kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 17: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla -Zapata 2

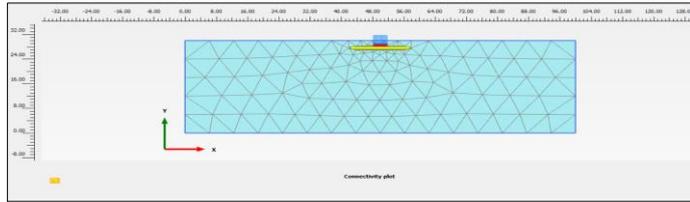
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 2</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 1 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

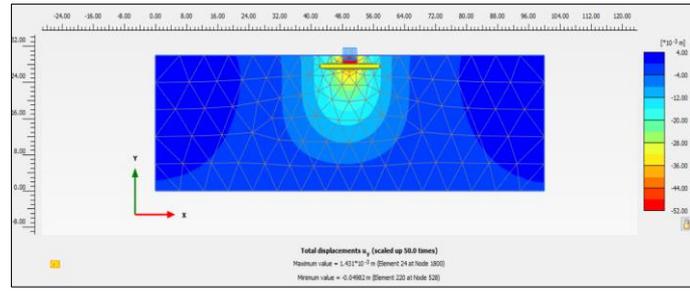
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z2	6.51	63.87	0.65

**2. Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede a hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
1	Z2	3.5	0.875		15

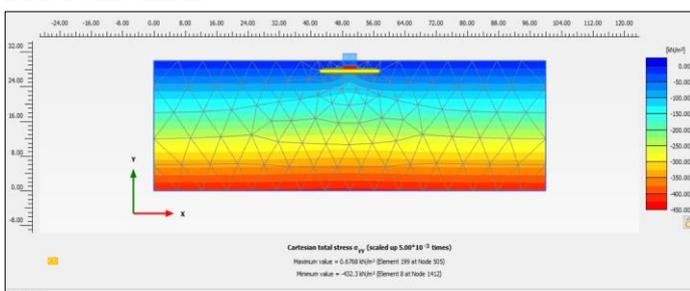


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 2 es 4.96 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 432.3 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
1	63.87	4.56	291.14	3	21.29	0.22
1	291.14	1.46	425.06	3	97.05	0.99
1	425.06	1.15	486.69	3	141.69	1.44
1	486.69	1.09	528.55	3	162.23	1.65
1	528.55	1.00	528.55	3	176.18	1.80

La carga admisible ultima vendria siendo 1.8kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 18 Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomalla -Zapata 2

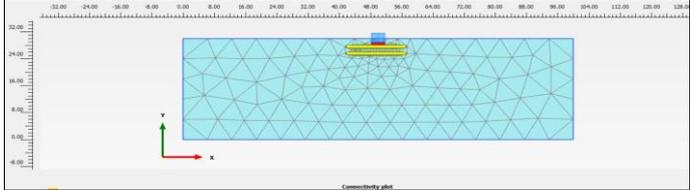
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 2</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 2 capa de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

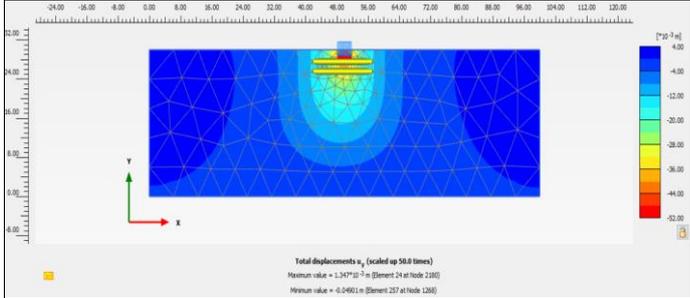
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m2)	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z2	6.51	63.87	0.65

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N.refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
2	Z2	3.5	0.875	2	15



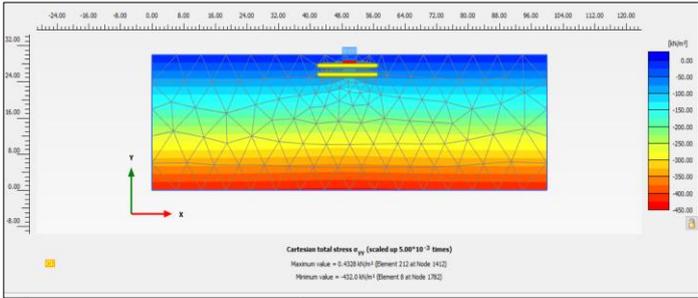
**2.2 Asentamientos de la zapata**



Total displacements  $u_x$  (scaled up 50.0 times)  
 Maximum value =  $1.347 \times 10^{-2}$  m (Element 24 at Node 2180)  
 Minimum value =  $-0.0400$  m (Element 257 at Node 126)

El asentamiento maximo de la zapata 2 es 4.901 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



Cartesian total stress  $\sigma_{xx}$  (scaled up  $5.00 \times 10^{-3}$  times)  
 Maximum value =  $0.420$  kN/m<sup>2</sup> (Element 212 at Node 1912)  
 Minimum value =  $-452.0$  kN/m<sup>2</sup> (Element 8 at Node 1762)

El maximo esfuerzo transmitido es de 432 kN/m<sup>2</sup>

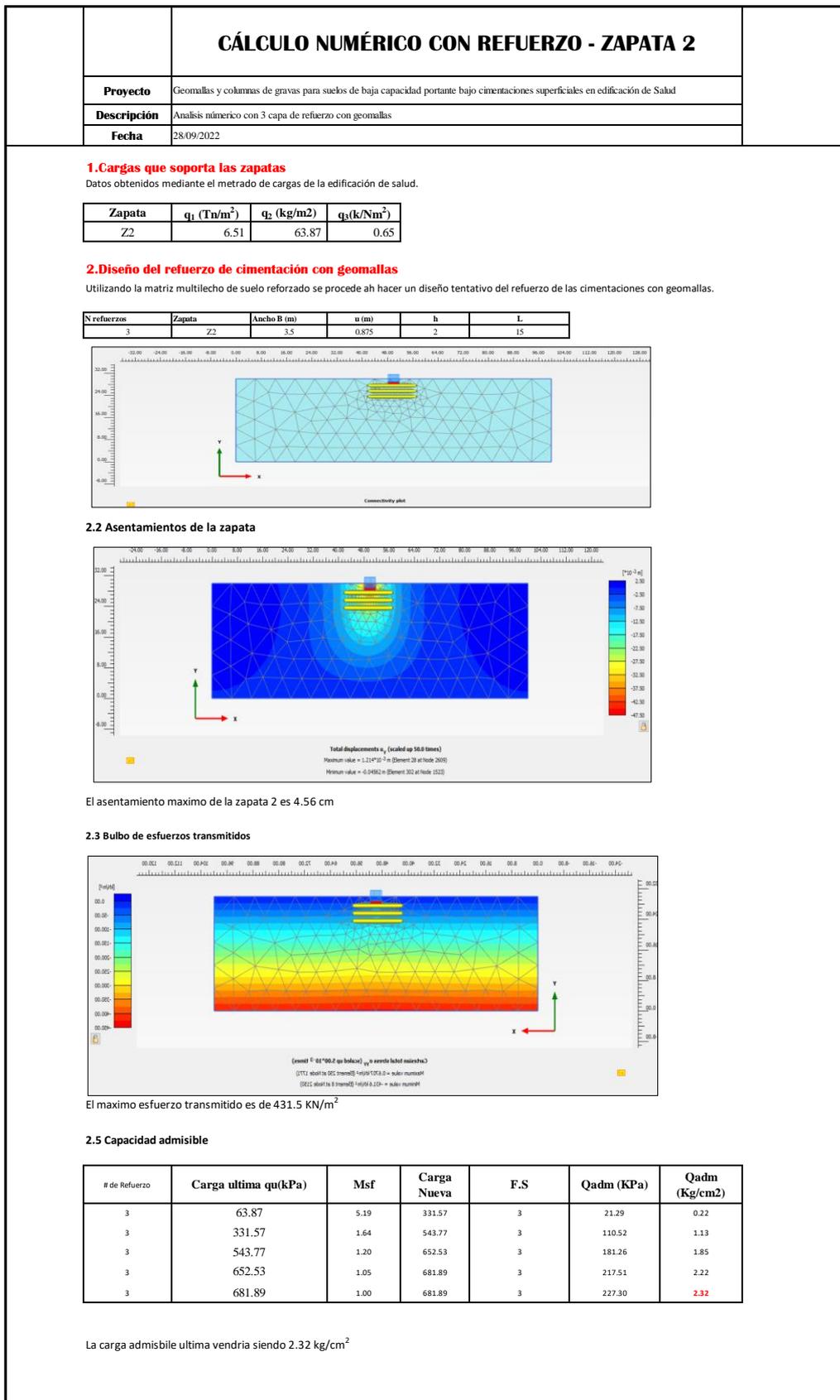
**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima $q_u$ (kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
2	63.87	4.75	303.14	3	21.29	0.22
2	303.14	1.42	430.46	3	101.05	1.03
2	430.46	1.34	576.82	3	143.49	1.46
2	576.82	1.10	633.35	3	192.27	1.96
2	633.35	1.00	633.35	3	211.12	<b>2.15</b>

La carga admisible ultima vendria siendo 2.15 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 19: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomalla-Zapata 2



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 20: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomallas-Zapata 2

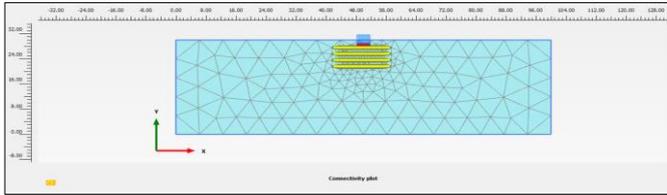
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 2</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 4 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrodo de cargas de la edificación de salud.

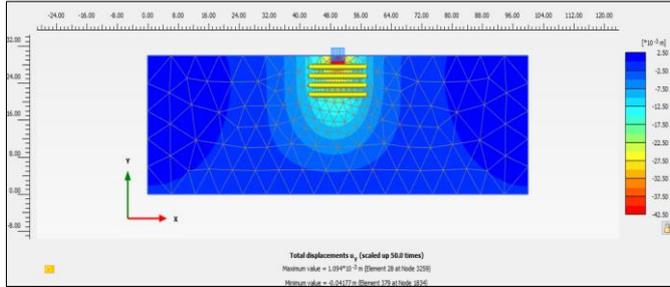
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z2	6.51	63.87	0.65

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
4	Z2	3.5	0.875	2	15

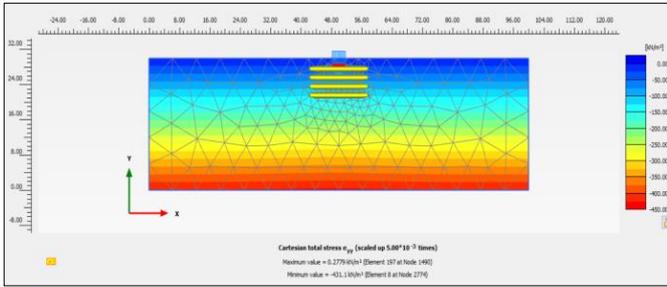


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 2 es 4.177 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 431.1 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
4	63.87	5.53	353.22	3	21.29	0.22
4	353.22	1.48	522.77	3	117.74	1.20
4	522.77	1.34	700.51	3	174.26	1.78
4	700.51	1.08	756.55	3	233.50	2.38
4	756.55	1.00	756.55	3	252.18	<b>2.57</b>

La carga admisible ultima vendria siendo 2.57 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 21: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomallas-Zapata 2

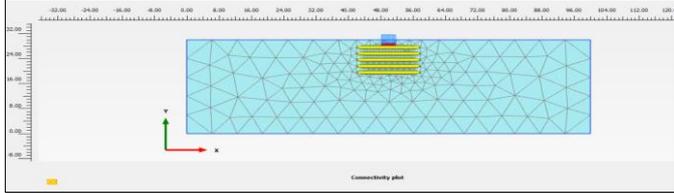
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 2</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 5 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

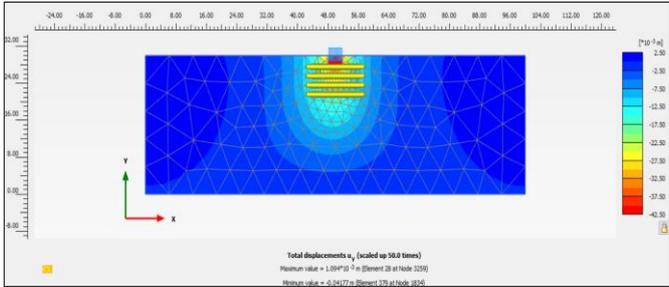
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z2	6.51	63.87	0.65

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multitecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
5	Z2	3.5	0.875	2	15

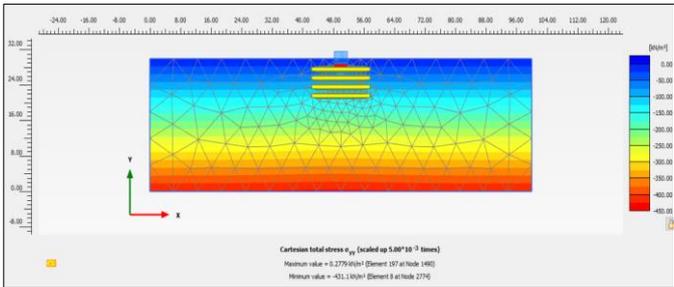


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 2 es 4.177 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 431.1 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga última qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
5	63.87	6.09	388.80	3	21.29	0.22
5	388.80	1.61	625.97	3	129.60	1.32
5	625.97	1.13	707.34	3	208.66	2.13
5	707.34	1.08	763.93	3	235.78	2.40
5	763.93	1.00	763.93	3	254.64	<b>2.60</b>

La carga admisible última vendría siendo 2.60 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 22: Calculo numérico con una capa de refuerzo de geomalla-Zapata 3

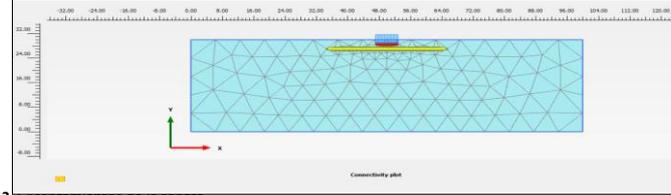
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 3</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 1 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1.Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrodo de cargas de la edificación de salud.

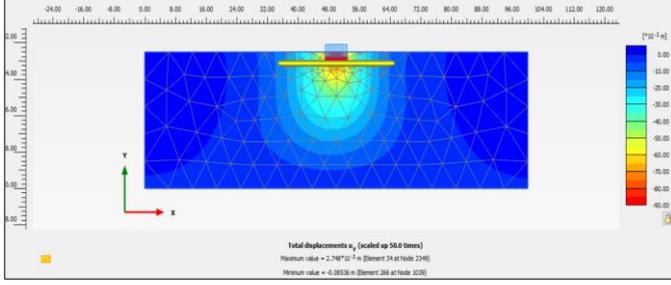
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z3	8.01	78.55	0.80

**2.Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede ah hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
1	Z3	5.85	1		30

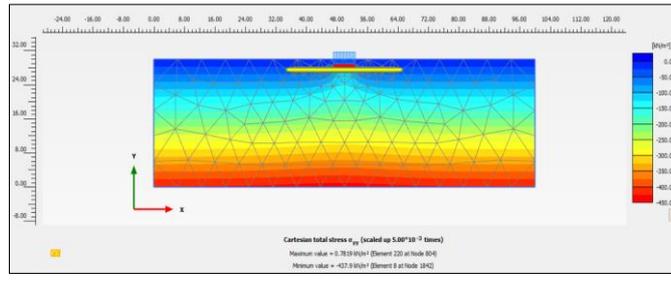


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento maximo de la zapata 3 es 8.536 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El maximo esfuerzo transmitido es de 437.9 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
1	78.55	78.55	315.29	3	26.18	0.27
1	315.29	315.29	454.02	3	105.10	1.07
1	454.02	454.02	567.52	3	151.34	1.54
1	567.52	567.52	612.92	3	189.17	1.93
1	612.92	612.92	612.92	3	204.31	<b>2.08</b>

La carga admisible ultima vendria siendo 2.08 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 23: Calculo numérico con dos capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3

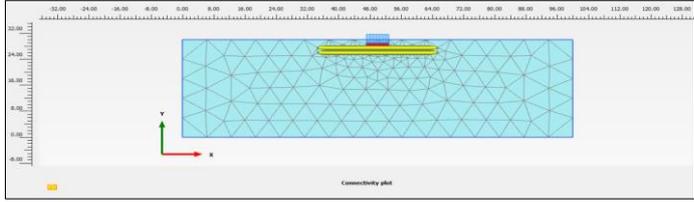
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 3</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 2 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

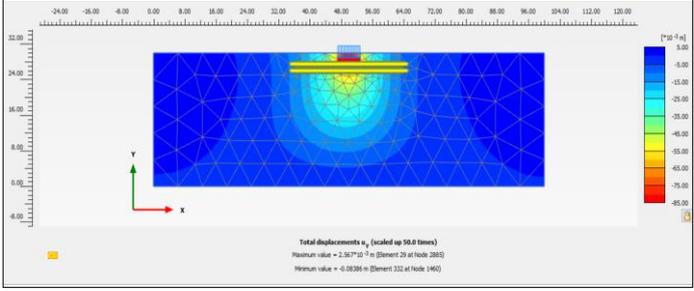
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z3	8.01	78.55	0.80

**2. Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multitecho de suelo reforzado se procede a hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

Nrefuerzos	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
2	Z3	5.85	1.4625	2.5	30



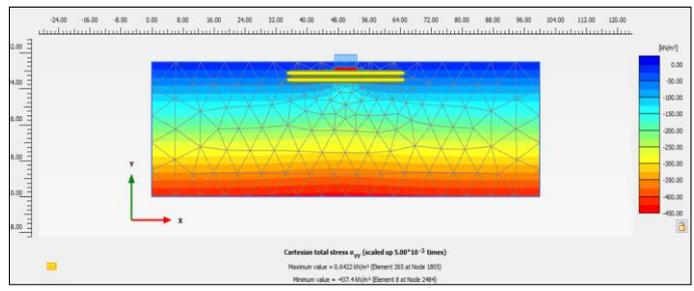
**2.2 Asentamientos de la zapata**



Total displacements  $u_x$  (scaled up 10.0 times)  
 Maximum value = 2.557\*10<sup>-2</sup> m (Element 29 at Node 2885)  
 Minimum value = -0.00386 m (Element 332 at Node 1960)

El asentamiento máximo de la zapata 3 es 8.536 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



Cartesian total stress  $\sigma_{xx}$  (scaled up 5.00\*10<sup>-2</sup> times)  
 Maximum value = 0.0432 kN/m<sup>2</sup> (Element 265 at Node 1805)  
 Minimum value = -0.74 kN/m<sup>2</sup> (Element 8 at Node 2466)

El máximo esfuerzo transmitido es de 437.9 KN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima $q_u$ (kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )
2	78.55	4.73	371.14	3	26.18	0.27
2	371.14	1.38	512.17	3	123.71	1.26
2	512.17	1.21	619.72	3	170.72	1.74
2	619.72	1.04	644.51	3	206.57	2.11
2	644.51	1.00	644.51	3	214.84	2.19

La carga admisible última vendría siendo 2.19 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 24: Calculo numérico con tres capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3

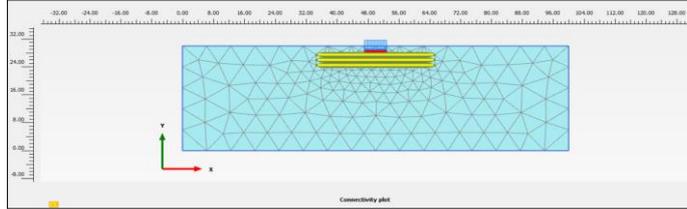
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 3</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 3 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

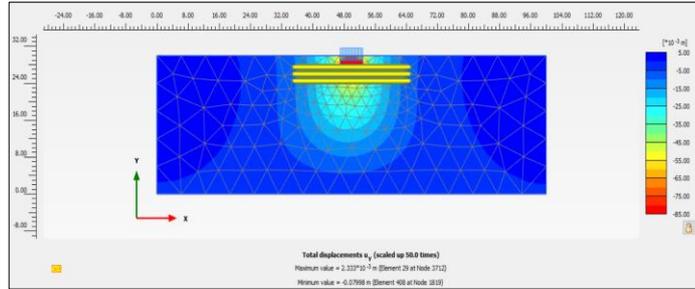
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z3	8.01	78.55	0.80

**2. Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede a hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzo	Zapata	Ancho B (m)	u (m)	h	L
3	Z3	5.85	1.4625	2.5	30

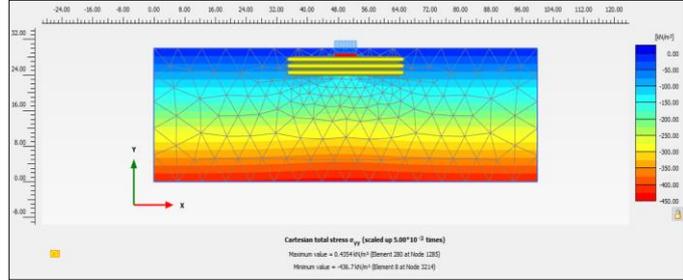


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 3 es 7.998 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 436.7 kN/m<sup>2</sup>

**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga ultima qu(kPa)	Msf	Carga Nueva	F.S	Qadm (KPa)	Qadm (Kg/cm2)
3	78.55	4.97	390.30	3	26.18	0.27
3	390.30	1.51	589.36	3	130.10	1.33
3	589.36	1.13	665.97	3	196.45	2.00
3	665.97	1.03	685.95	3	221.99	2.26
3	685.95	1.00	685.95	3	228.65	2.33

La carga admisible ultima vendria siendo 2.33 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 25: Calculo numérico con cuatro capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3

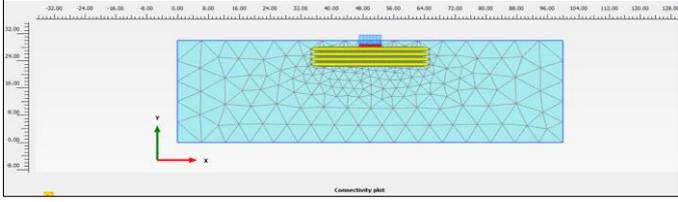
<b>CÁLCULO NUMÉRICO CON REFUERZO - ZAPATA 3</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud
<b>Descripción</b>	Análisis numérico con 4 capas de refuerzo con geomallas
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**1. Cargas que soporta las zapatas**  
 Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.

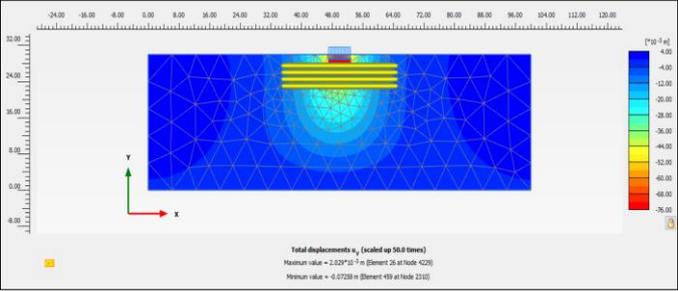
Zapata	$q_1$ (Tn/m <sup>2</sup> )	$q_2$ (kg/m <sup>2</sup> )	$q_3$ (k/Nm <sup>2</sup> )
Z3	8.01	78.55	0.80

**2. Diseño del refuerzo de cimentación con geomallas**  
 Utilizando la matriz multilecho de suelo reforzado se procede a hacer un diseño tentativo del refuerzo de las cimentaciones con geomallas.

N refuerzos	Zapata	Ancho B (m)	n (m)	h	L
4	Z3	5.85	1.4625	2.5	30

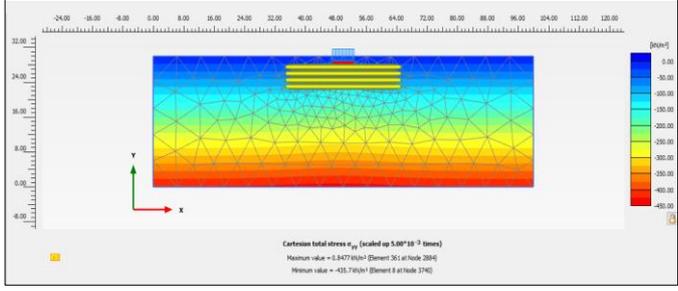


**2.2 Asentamientos de la zapata**



El asentamiento máximo de la zapata 3 es 7.258 cm

**2.3 Bulbo de esfuerzos transmitidos**



El máximo esfuerzo transmitido es de 435.7 KN/m<sup>2</sup>

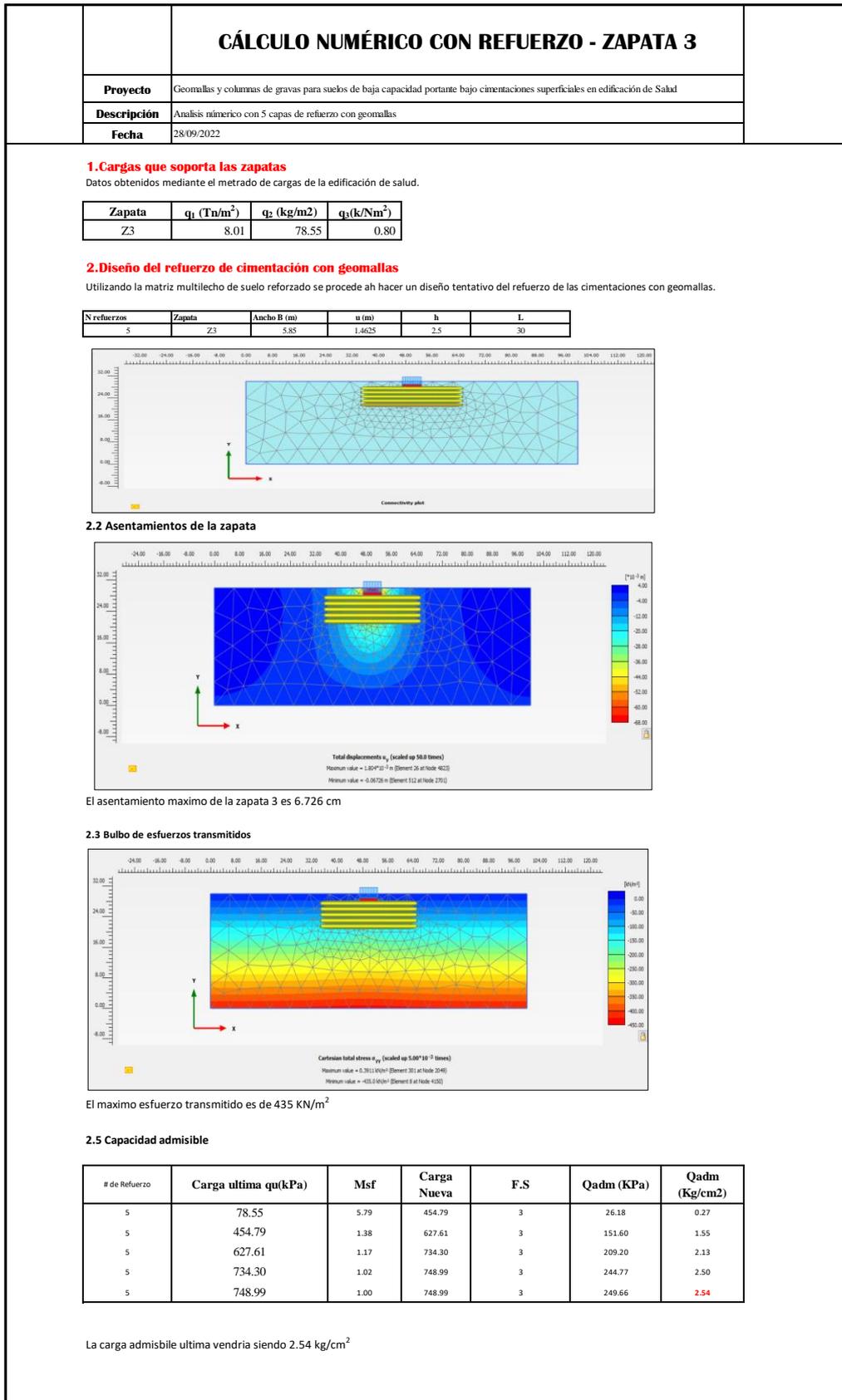
**2.5 Capacidad admisible**

# de Refuerzo	Carga última $q_u$ (kPa)	$M_{sf}$	Carga Nueva	F.S	$Q_{adm}$ (KPa)	$Q_{adm}$ (Kg/cm <sup>2</sup> )
4	78.55	5.50	431.93	3	26.18	0.27
4	431.93	1.46	630.62	3	143.98	1.47
4	630.62	1.11	699.99	3	210.21	2.14
4	699.99	1.04	726.59	3	233.33	2.38
4	726.59	1.00	726.59	3	242.20	2.47

La carga admisible última vendría siendo 2.47 kg/cm<sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 26: Calculo numérico con cinco capas de refuerzo de geomallas-Zapata 3



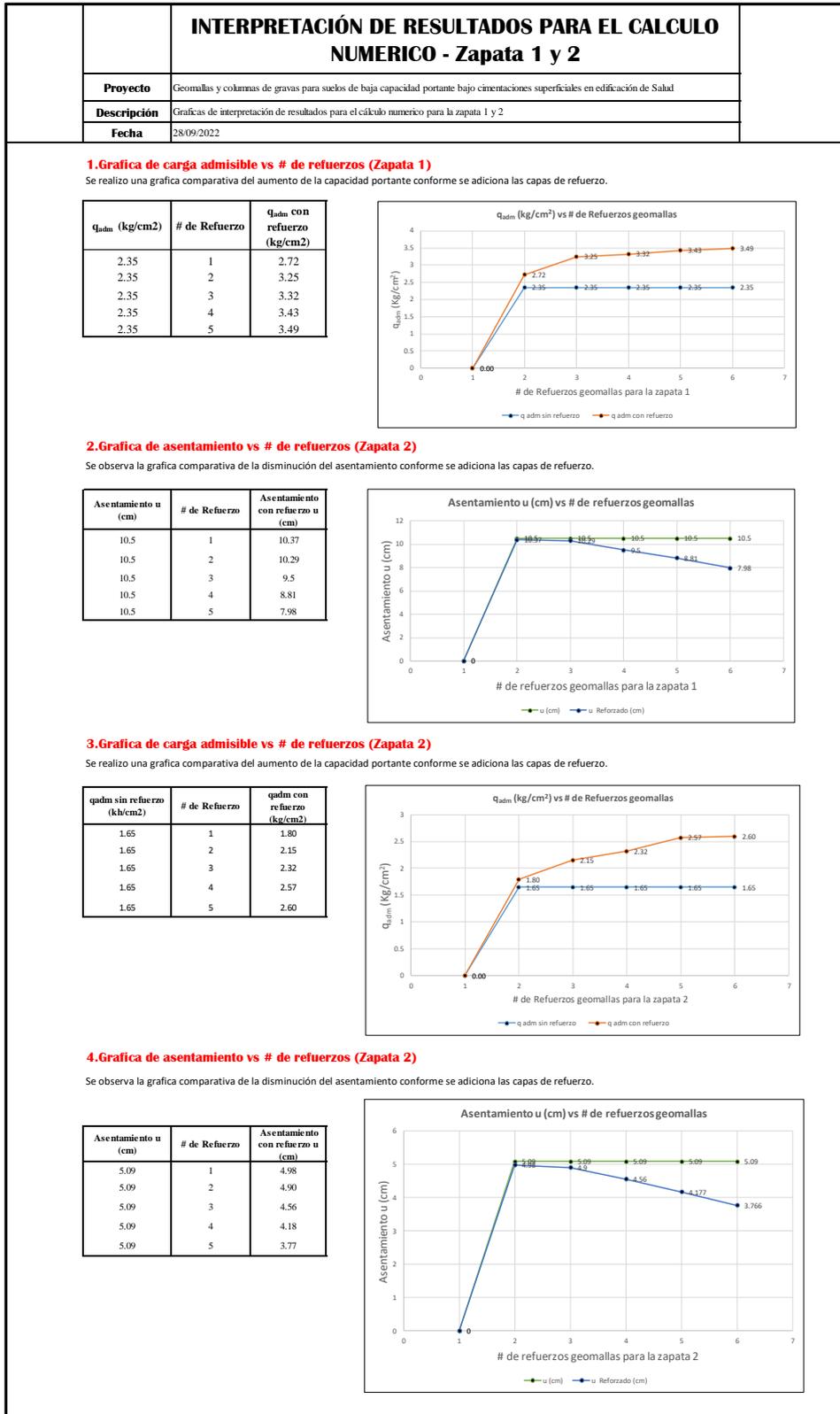
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 27: Calculo analítico con refuerzo de geomallas

<b>CÁLCULO ANALITICO CON REFUERZO</b>																																																																																					
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud																																																																																				
<b>Descripción</b>	Cálculo analítico con refuerzo para las 3 zapatas																																																																																				
<b>Fecha</b>	28/09/2022																																																																																				
<p><b>1.Cargas que soporta las zapatas</b></p> <p>Datos obtenidos mediante el metrado de cargas de la edificación de salud.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zapata</th> <th>q<sub>1</sub> (Tn/m<sup>2</sup>)</th> <th>q<sub>2</sub> (kg/m2)</th> <th>q<sub>3</sub>(k/Nm<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z3</td> <td>8.01</td> <td>78.55</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>Z2</td> <td>6.51</td> <td>63.87</td> <td>0.65</td> </tr> <tr> <td>Z3</td> <td>8.01</td> <td>78.55</td> <td>0.80</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>2.Calculo de la capacidad de carga</b></p> <p>Utilizando la metodología de carga ultima de un suelo reforzadode de Wayne, se obtiene parametros iniciales de calculo.</p> $q_{ult} = qb + 2Ca_c(B + L) \frac{d}{B * L} + \gamma d^2 \left( 1 + 2 \frac{D_f}{d} \right) K_s (B + L) \frac{\tan \phi}{B * L} + 2(B + L) * \frac{T}{B * L} - \gamma d$ <p>Donde:</p> <p>q<sub>b</sub> = capacidad de carga última del suelo de fundación abajo de la zona reforzada;  B = ancho de la fundación directa;  L = largo de la fundación directa;  d = profundidad total del refuerzo;  D<sub>f</sub> = profundidad de engaste de la fundación directa;  K<sub>s</sub> = coeficiente de empuje de la camada de suelo reforzada;  T = resistencia a tracción del geosintético.</p> <p><b>2.1 Parametros iniciales de cálculo</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th># de refuerzos</th> <th>Zapata</th> <th>C<sub>a</sub>(m)</th> <th>d(m)</th> <th>Df (m)</th> <th>φ</th> <th>Ks</th> <th>T (Tn/m)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>5</td> <td>Z1</td> <td>14</td> <td>13.2</td> <td>2.8</td> <td>21</td> <td>0.45</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Z2</td> <td>14</td> <td>8.9</td> <td>1.5</td> <td>21</td> <td>0.79</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Z3</td> <td>14</td> <td>11</td> <td>1.5</td> <td>21</td> <td>0.65</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table> <p><b>2.2 Cálculo de capacidad de carga</b></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zapata</th> <th>q<sub>b</sub> (T/m<sup>2</sup>)</th> <th>B(m)</th> <th>L(m)</th> <th>γ</th> <th>Qu (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>FS</th> <th>Qadm (Kg/cm<sup>2</sup>)</th> <th>Qadm (T/m<sup>2</sup>)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Z1</td> <td>0.63</td> <td>11.7</td> <td>3.5</td> <td>1.7</td> <td>11.19</td> <td>3</td> <td>3.73</td> <td>37.30</td> </tr> <tr> <td>Z2</td> <td>0.65</td> <td>3.5</td> <td>3.5</td> <td>1.7</td> <td>8.50</td> <td>3</td> <td>2.83</td> <td>28.32</td> </tr> <tr> <td>Z3</td> <td>0.80</td> <td>5.85</td> <td>3.5</td> <td>1.7</td> <td>8.43</td> <td>3</td> <td>2.81</td> <td>28.11</td> </tr> </tbody> </table> <p>Se observa la carga admisible para las zapatas empleando la metodología de Wayne.</p>		Zapata	q <sub>1</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	q <sub>2</sub> (kg/m2)	q <sub>3</sub> (k/Nm <sup>2</sup> )	Z3	8.01	78.55	0.80	Z2	6.51	63.87	0.65	Z3	8.01	78.55	0.80	# de refuerzos	Zapata	C <sub>a</sub> (m)	d(m)	Df (m)	φ	Ks	T (Tn/m)	5	Z1	14	13.2	2.8	21	0.45	4	5	Z2	14	8.9	1.5	21	0.79	4	5	Z3	14	11	1.5	21	0.65	4	Zapata	q <sub>b</sub> (T/m <sup>2</sup> )	B(m)	L(m)	γ	Qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	FS	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (T/m <sup>2</sup> )	Z1	0.63	11.7	3.5	1.7	11.19	3	3.73	37.30	Z2	0.65	3.5	3.5	1.7	8.50	3	2.83	28.32	Z3	0.80	5.85	3.5	1.7	8.43	3	2.81	28.11
Zapata	q <sub>1</sub> (Tn/m <sup>2</sup> )	q <sub>2</sub> (kg/m2)	q <sub>3</sub> (k/Nm <sup>2</sup> )																																																																																		
Z3	8.01	78.55	0.80																																																																																		
Z2	6.51	63.87	0.65																																																																																		
Z3	8.01	78.55	0.80																																																																																		
# de refuerzos	Zapata	C <sub>a</sub> (m)	d(m)	Df (m)	φ	Ks	T (Tn/m)																																																																														
5	Z1	14	13.2	2.8	21	0.45	4																																																																														
5	Z2	14	8.9	1.5	21	0.79	4																																																																														
5	Z3	14	11	1.5	21	0.65	4																																																																														
Zapata	q <sub>b</sub> (T/m <sup>2</sup> )	B(m)	L(m)	γ	Qu (Kg/cm <sup>2</sup> )	FS	Qadm (Kg/cm <sup>2</sup> )	Qadm (T/m <sup>2</sup> )																																																																													
Z1	0.63	11.7	3.5	1.7	11.19	3	3.73	37.30																																																																													
Z2	0.65	3.5	3.5	1.7	8.50	3	2.83	28.32																																																																													
Z3	0.80	5.85	3.5	1.7	8.43	3	2.81	28.11																																																																													

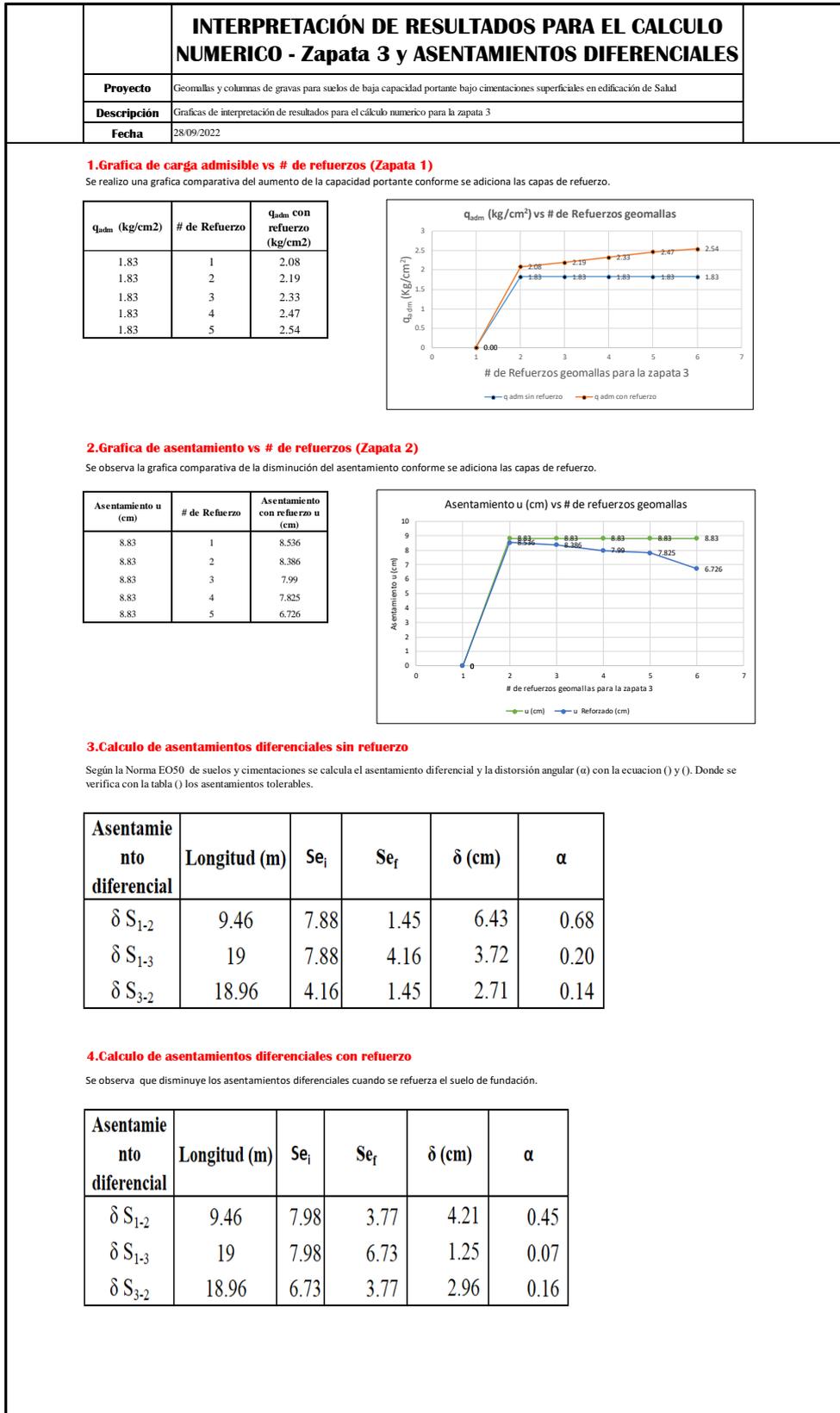
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 28: Interpretación de resultados para el cálculo numérico con refuerzo de geomallas Zapata 1 y 2



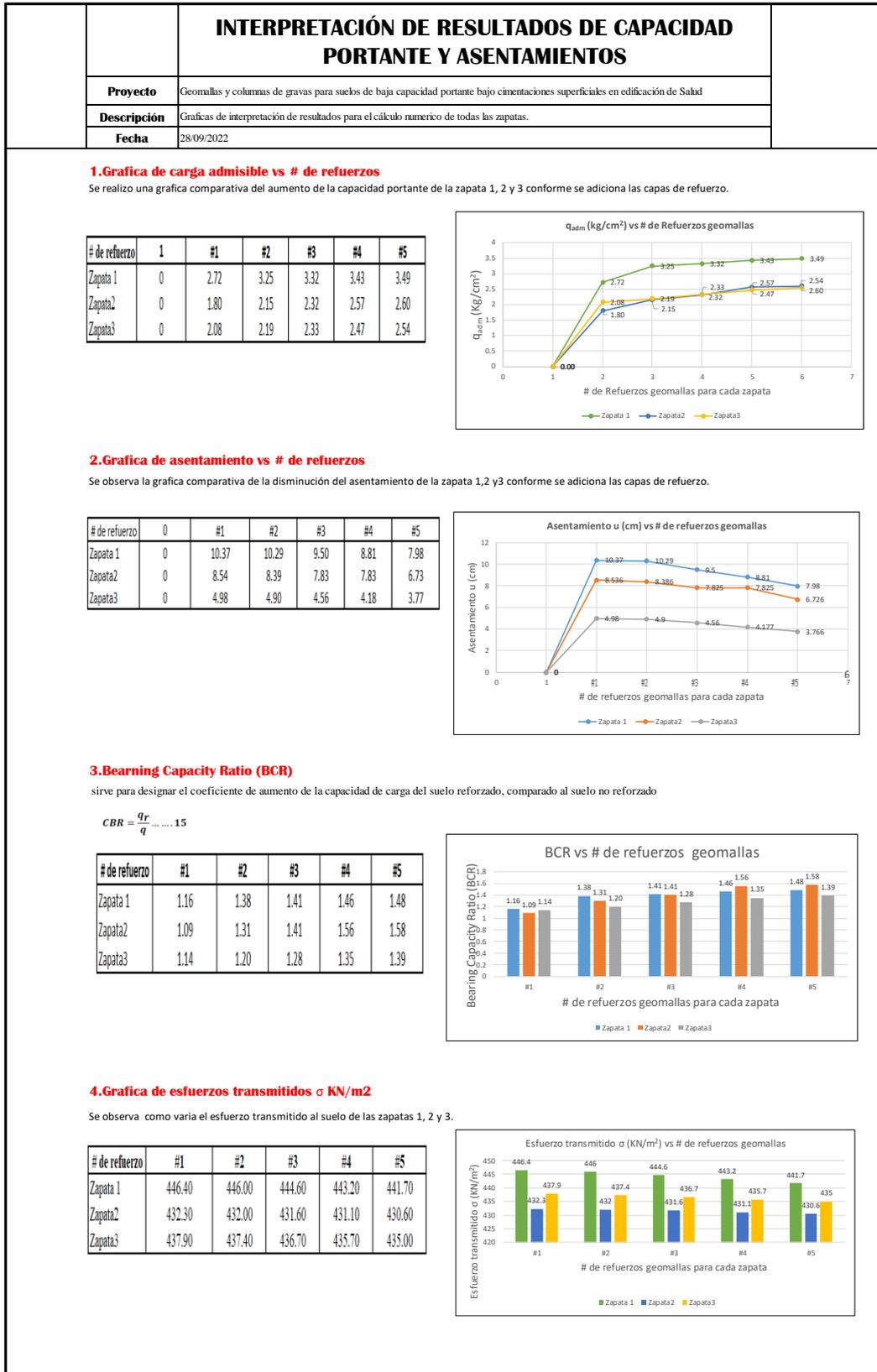
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 29: Interpretación de resultados para el cálculo numérico con refuerzo de geomallas Zapata 3



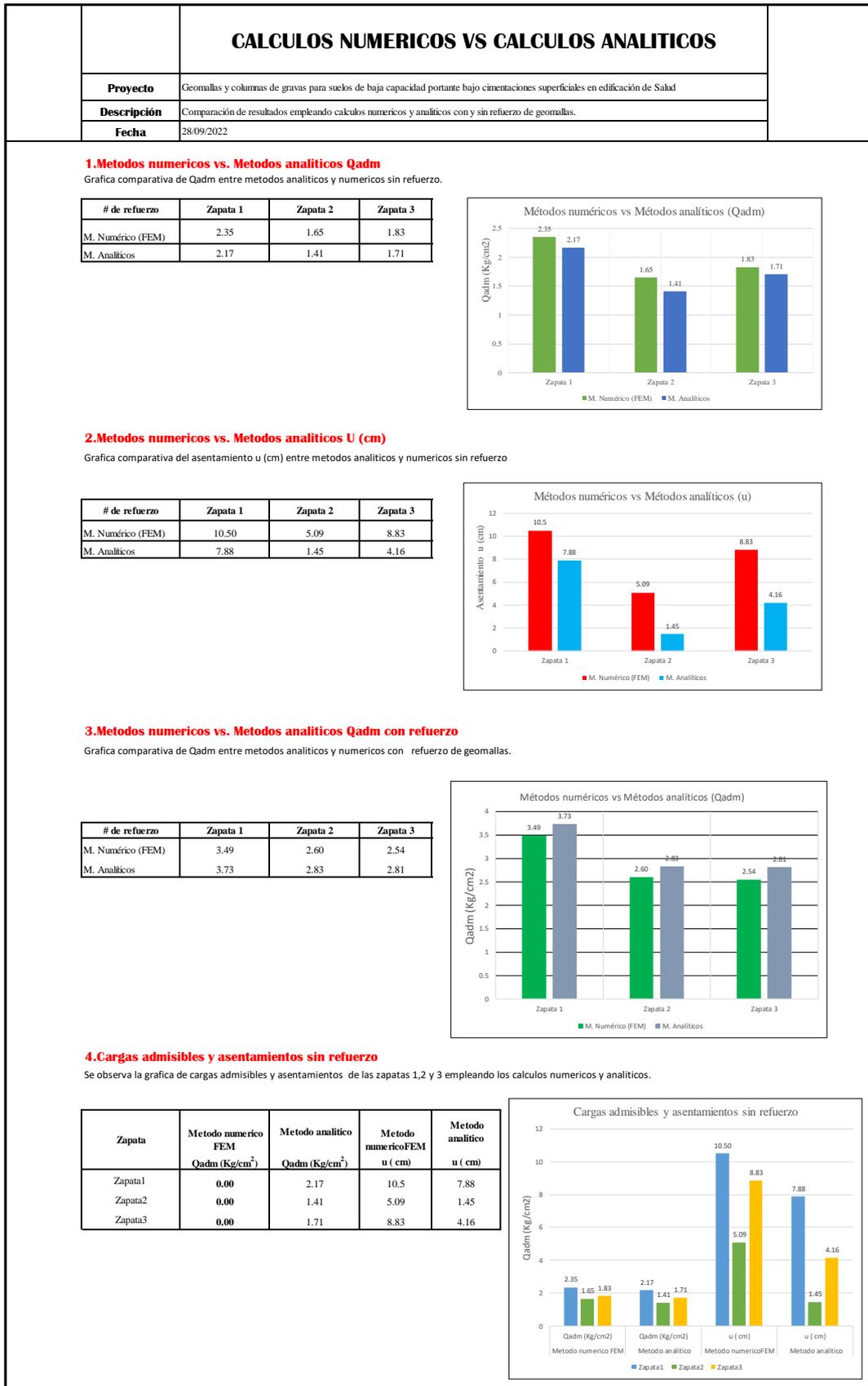
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 30: Interpretación de resultados de capacidad y asentamientos con refuerzo de geomallas



Fuente: Elaboración propia.

## Anexo 31: Comparación de cálculos numéricos vs analíticos con refuerzo de geomallas



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 32: Ficha geomalla biaxial Coextruida-ACEGrid

<b>FICHA GEOMALLA BIAxIAL COEXTRUIDA-ACEGrid®</b>	
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud.
<b>Descripción</b>	Ficha técnica geomalla biaxial coextruida
<b>Fecha</b>	28/09/2022

**ACEGrid®** Uniaxial Geogrid®

ACEGrid® GG-Series is woven by high-tenacity, multifilament polyester yarns and coated with durable polymer which provides the best resistance of UV and durability. ACEGrid® GG-Series provides a wide range of strength with high quality advantages - High tensile modulus and low creep behaviors etc. ACEGrid® GG-Series is suitable to stabilize the earth structures, such as MSE Wall or Slope Slope, Road, Bridge or Pavement Construction.



Product Properties	Test Method	Unit	*GG30-I	*GG40-I	*GG50-I	*GG60-I	GG100-I	GG130-I	GG200-I	GG300-I	*GG400-I	*GG600-I	*GG800-I
<b>High Tenacity Polyester Yarns Coated with Durable Polymer</b>													
Material													
Aperture Size - MD x 20%		mm	25	25	24	23	21	20	19	20	23	40	18
Aperture Size - CD x 20%		mm	28	28	28	2,8	28	2,8	2,8	28	26	15	2,4
Yarn Properties													
Carboxyl End Group (CEG)	GRI 6007	mmol/kg	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Molecular Weight	GRI 6528	g/g	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000	25000
<b>Mechanical Index Properties</b>													
Tensile Strength T <sub>a</sub> - MD min	ASTM D667	kN/m	30	40	60	80	100	150	200	300	400	600	800
Tensile Strength T <sub>a</sub> - CD min	ASTM D667	kN/m	30	30	30	30	30	30	30	30	90	100	100
Elongation - MD max	ASTM D667	%	10	10	10	10	10	10	10	12	13	14	16
Tensile Strength at 5% Strain - MD min	ASTM D667	kN/m	15	20	30	40	50	75	100	120	160	180	240
Long Term Design Strength, T <sub>d</sub> x	PHMA N410-024	kN/m	18	24	37	49	61	92	123	165	217	371	500
<b>Dimensional Characteristics</b>													
Width		m	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9	3,9
Length		m	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50/100	50	50

Note:  
 1. ACEGrid® uniaxial geogrids available in range from 20kN/m to 1000kN/m, with the minimum width is 40 to 5m.  
 2. LDES Long Term Design Strength of ACEGrid® is calculated based on PHMA N410-024. The long term design strength is determined by comparing the relaxation behavior creep, void deformation, and environmental effects.  
 3. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 4. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 5. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 6. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 7. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 8. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 9. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.  
 10. The actual geogrids used on construction site should be confirmed with the design geogrids.

We can customize the product to fulfill different project requirements. If you require more detail information, please feel free to contact our design and sales department.

We are pleased to provide our best services.

**Accurate, Collaborative, Efficient**

[www.acegeosynthetics.com](http://www.acegeosynthetics.com)   
 Tel: 844-4-8888888   
 Fax: 844-4-8888888  
 E-mail: [sales@acegeosynthetics.com](mailto:sales@acegeosynthetics.com)   
 <http://www.acegeosynthetics.com>






2020

Fuente: Geosynthetics, A. (s. f.)



Anexo 34: Cálculo de la capacidad portante con refuerzo de columnas de gravas

<b>CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE CON REFUERZO DE COLUMNAS DE GRAVAS</b>																																		
<b>Proyecto</b>	Geomallas y columnas de gravas para suelos de baja capacidad portante bajo cimentaciones superficiales en edificación de Salud.																																	
<b>Descripción</b>	CALCULO DE LA CAPACIDAD PORTANTE CON REFUERZO DE COLUMNAS DE GRAVAS																																	
<b>Fecha</b>	28/09/2022																																	
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Descripción</th> <th style="text-align: left;">Simbología</th> <th style="text-align: left;">Dimensión</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Tipo de suelo</td> <td>CL</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Angulo de fricción</td> <td>?</td> <td>21°</td> </tr> <tr> <td>Angulo de fricción</td> <td>?'</td> <td>14.35°</td> </tr> <tr> <td>Peso Especifico suelo</td> <td>?<sub>s</sub></td> <td>1.70 t/m3</td> </tr> <tr> <td>Peso Especifico columna de grava</td> <td>?<sub>c</sub></td> <td>1.02 t/m3</td> </tr> <tr> <td>Cohesion de la arcilla</td> <td>C<sub>c</sub></td> <td>0.98 t/m2</td> </tr> <tr> <td>Cohesion de la columna de grava</td> <td>C<sub>s</sub></td> <td>0.00</td> </tr> <tr> <td>Factores de capacidad de carga</td> <td>N<sub>Q</sub></td> <td>3.59</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N<sub>C</sub></td> <td>10.37</td> </tr> <tr> <td></td> <td>N<sub>γ</sub></td> <td>2.29</td> </tr> </tbody> </table>		Descripción	Simbología	Dimensión	Tipo de suelo	CL		Angulo de fricción	?	21°	Angulo de fricción	?'	14.35°	Peso Especifico suelo	? <sub>s</sub>	1.70 t/m3	Peso Especifico columna de grava	? <sub>c</sub>	1.02 t/m3	Cohesion de la arcilla	C <sub>c</sub>	0.98 t/m2	Cohesion de la columna de grava	C <sub>s</sub>	0.00	Factores de capacidad de carga	N <sub>Q</sub>	3.59		N <sub>C</sub>	10.37		N <sub>γ</sub>	2.29
Descripción	Simbología	Dimensión																																
Tipo de suelo	CL																																	
Angulo de fricción	?	21°																																
Angulo de fricción	?'	14.35°																																
Peso Especifico suelo	? <sub>s</sub>	1.70 t/m3																																
Peso Especifico columna de grava	? <sub>c</sub>	1.02 t/m3																																
Cohesion de la arcilla	C <sub>c</sub>	0.98 t/m2																																
Cohesion de la columna de grava	C <sub>s</sub>	0.00																																
Factores de capacidad de carga	N <sub>Q</sub>	3.59																																
	N <sub>C</sub>	10.37																																
	N <sub>γ</sub>	2.29																																
<p><b>1. Primero hallaremos la tasa de reemplazo</b></p> $A_s = A_{col}/S^2$ <p style="text-align: center;">As= 0.196</p>																																		
<p><b>2. Hallaremos la cohesión y peso unitario del sistema compuesto</b></p> $C_{comp} = A_s C_s + (1 - A_s) C_c$ $Y_{comp} = A_s Y_s + (1 - A_s) Y_c$ <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>!!!!!!!</td> <td>= 0.788</td> <td>T/m3</td> </tr> <tr> <td>?</td> <td>= 1.566</td> <td>T/m3</td> </tr> </table>		!!!!!!!	= 0.788	T/m3	?	= 1.566	T/m3																											
!!!!!!!	= 0.788	T/m3																																
?	= 1.566	T/m3																																
<p><b>3. Hallaremos la capacidad de carga ultima admitida (qu)</b></p> $qu = \frac{1}{2} Y_{comp} B N_{\gamma} + q N_q + C_{comp} N_c$ <p style="text-align: center;">qu= 21.302      T/m2</p>																																		
<p><b>4. Finalmente hallaremos la carga admisible</b></p> $Q_{adm} = qu/FS$ <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td>Qadm= 7.101</td> <td>T/m2</td> </tr> <tr> <td>Qadm= 0.710</td> <td>kg/cm2</td> </tr> </table>		Qadm= 7.101	T/m2	Qadm= 0.710	kg/cm2																													
Qadm= 7.101	T/m2																																	
Qadm= 0.710	kg/cm2																																	

Fuente: Elaboración propia.