



Universidad de Guayaquil

**FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A
LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO CIVIL

ESTRUCTURAS

**ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA PILA
DE UN PUENTE DE TRES TRAMOS CONTINUOS CONFORMADA
POR EL SISTEMA PILOTE-COLUMNA-VIGA CABEZAL,
INCORPORANDO LA INTERACCIÓN SUELO-PILOTE-
ESTRUCTURA Y VERIFICANDO EL DESEMPEÑO SÍSMICO
MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER),
UBICADO EN LA VÍA DURÁN – JUJAN**

AUTORES: LUIS ARTURO ESPINOZA ANDRADE
ANDRÉS XAVIER ORTEGA ÁLVAREZ

TUTOR: ING. PABLO LINDAO TOMALÁ, Msc.

GUAYAQUIL, SEPTIEMBRE 2022

Agradecimiento

La lista de gente que ha participado en esta empresa es demasiado extensa, pues a lo largo de ocho años, desde que salí de Madrid, cada persona que el Universo ha puesto en mi camino ha contribuido con su granito de arena en diferentes medidas y por ellos estoy hoy aquí. Unos de principio a fin, otros se han quedado en el camino y otros que han llegado en la recta final. Todos igual de importantes. Sería injusto nombrar a unos y olvidar a otros. Por eso, a todos ellos gracias, por no dejarme desfallecer, por enseñarme lecciones que quedarán marcadas de por vida, porque aun cuando no tenían ningún tipo de responsabilidad conmigo, estuvieron al pie del cañón.

Finalmente, gracias a Dios por cada bendición, porque como diría mi padre:
“Que todo lo que hagas sea siempre encomendándote a Dios.”

Luis Arturo Espinoza Andrade

Agradecimiento

Agradezco principalmente a Dios, por estar siempre presente en cada etapa de mi vida y cuidar de mi familia mi mayor orgullo y ejemplo a seguir como es mi madre Gloria Álvarez Revilla, mi padre Livio Ortega Morales y mi hermano Pablo Correa Álvarez, que fueron un pilar fundamental para poder dar un paso más.

A mis tías, tíos, primos que siempre estuvieron pendientes y apoyándome en toda esa etapa de formación.

A todos mis profesores que formaron parte de mi proceso académico, ya que siempre compartieron sus conocimientos y experiencias que fueron de ayuda.

A mi prestigiosa Facultad de Ciencias matemáticas y físicas que fue como mi segundo hogar donde me facilitó un espacio necesario para poder educarme.

A mi tutor Ing. Pablo Lindao, por haberme apoyado, brindado su tiempo y conocimiento para poder llevar a cabo este trabajo de titulación.

A todas esas buenas amistades que me dio la Universidad de Guayaquil, que siempre estuvieron presentes en todo momento.

Andrés Xavier Ortega Álvarez

Dedicatoria

Para Marjorie, Arturo y Analía. Las familias Acosta Naranjo y López Andrade.

Luis Arturo Espinoza Andrade

Dedicatoria

Dedico principalmente este trabajo de titulación a mis padres y hermano, quienes siempre confiaron en mí, me brindaron buenos consejos y que me apoyaron en lo absoluto, fueron y serán mi mayor motivación de superación.

A mis familiares que me brindaron su apoyo en diferentes circunstancias que me todo pasar en todo este proceso de titulación.

Siempre tendré presente cada gesto que hicieron por verme superar y lograr esta meta.

Andrés Xavier Ortega Álvarez

Declaración Expresa

Artículo XI.- del Reglamento Interno de Graduación de la Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas de la Universidad de Guayaquil.

La responsabilidad de los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo de titulación corresponden exclusivamente al autor y al Patrimonio Intelectual de la Universidad de Guayaquil.

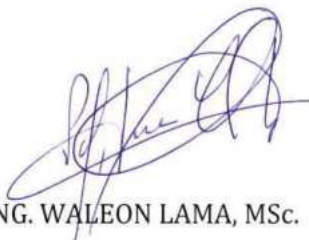


Luis Arturo Espinoza Andrade
C.I. 0917829327



Andrés Xavier Ortega Álvarez
C.I. 0705500627

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



ING. WALEON LAMA, MSc.

Presidente de Tribunal



ING. ADALBERTO VIZCONDE CAMPOS, MSc.

Miembro de Tribunal



ING. CARLOS CUSME VERA, MSc.

Miembro de Tribunal

Estudiantes: ESPINOZA ANDRADE LUIS

ORTEGA ALVAREZ ANDRES



ANEXO VI. - CERTIFICADO DEL DOCENTE- TUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Guayaquil, 11 de septiembre de 2022

Ingeniero

Guillermo Pacheco Q., MSc.

DIRECTOR DE LA CARRERA CIVIL

FACULTAD DE CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL

Ciudad.-

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la tutoría realizada al Trabajo de Titulación “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA PILA DE UN PUENTE DE TRES TRAMOS CONTINUOS CONFORMADA POR EL SISTEMA PILOTE-COLUMNA-VIGA CABEZAL, INCORPORANDO LA INTERACCIÓN SUELO-PILOTE- ESTRUCTURA Y VERIFICANDO EL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER), UBICADO EN LA VÍA DURÁN - JUJAN” de los estudiantes **ESPINOZA ANDRADE LUIS ARTURO** y **ORTEGA ÁLVAREZ ANDRÉS XAVIER**, indicando que han cumplido con todos los parámetros establecidos en la normativa vigente:

- El trabajo es el resultado de una investigación.
- El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.
- El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.
- El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se adjunta el certificado de porcentaje de similitud y la valoración del trabajo de titulación con la respectiva calificación.

Dando por concluida esta tutoría de trabajo de titulación, **CERTIFICO**, para los fines pertinentes, que los estudiantes están aptos para continuar con el proceso de revisión final.

Atentamente,



Firmado electrónicamente por:
PABLO JULIO
LINDAO

Ing. LINDAO TOMALÁ PABLO, M.SC

C.C.: 0912218419

FECHA: GUAYAQUIL, 11 DE SEPTIEMBRE DEL 2022

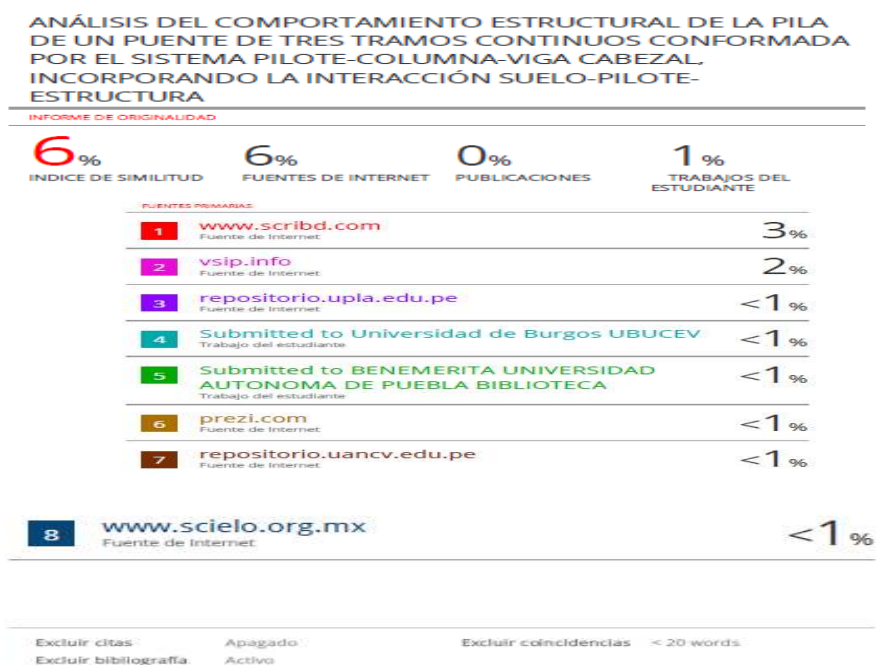


ANEXO VII.- CERTIFICADO PORCENTAJE DE SIMILITUD

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Habiendo sido nombrado PABLO LINDAO TOMALÁ, tutor del trabajo de titulación certifico que el presente trabajo de titulación ha sido elaborado por ESPINOZA ANDRADE LUIS ARTURO con C.C. 0917829327 Y ORTEGA ÁLVAREZ ANDRÉS XAVIER con C.C. 0705500627, con mi respectiva supervisión como requerimiento parcial para la obtención del título de: INGENIERO CIVIL.

Se informa que el trabajo de titulación: **“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA PILA DE UN PUENTE DE TRES TRAMOS CONTINUOS CONFORMADA POR EL SISTEMA PILOTE-COLUMNA-VIGA CABEZAL, INCORPORANDO LA INTERACCIÓN SUELO-PILOTE-ESTRUCTURA Y VERIFICANDO EL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER), UBICADO EN LA VÍA DURÁN - JUJAN”**, ha sido orientado durante todo el periodo de ejecución en el programa anti plagio TURNITIN quedando el 6% de coincidencia.



Firmado electrónicamente por:
PABLO JULIO LINDAO

Ing. PABLO LINDAO TOMALÁ, M.S.C

C.C.: 0912218419

FECHA: GUAYAQUIL, 11 DE SEPTIEMBRE DEL 2022

**ANEXO VIII.- INFORME DEL DOCENTE REVISOR**

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Guayaquil, 22 de septiembre de 2022

Ingeniero

Guillermo Pacheco Quintana, MSc.
DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
FACULTAD CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS
UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL
Ciudad. -

De mis consideraciones:

Envío a Ud. el Informe correspondiente a la REVISIÓN FINAL del trabajo de Titulación ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA PILA DE UN PUENTE DE TRES TRAMOS CONTINUOS CONFORMADA POR EL SISTEMA PILOTE-COLUMN-VIGA CABEZAL, INCORPORANDO LA INTERACCIÓN SUELO-PILOTE-ESTRUCTURA Y VERIFICANDO EL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER), UBICADO EN LA VÍA DURÁN – JUJAN de los estudiantes ESPINOZA ANDRADE LUIS ARTURO Y ORTEGA ÁLVAREZ ANDRÉS XAVIER. Las gestiones realizadas me permiten indicar que el trabajo fue revisado considerando todos los parámetros establecidos en las normativas vigentes, en el cumplimiento de los siguientes aspectos:

Cumplimiento de requisitos de forma:

El título tiene un máximo de 46 palabras.

La memoria escrita se ajusta a la estructura establecida.

El documento se ajusta a las normas de escritura científica seleccionadas por la Facultad. La investigación es pertinente con la línea y sublíneas de investigación de la carrera.

Los soportes teóricos son de máximo 20 años.

La propuesta presentada es pertinente.

Cumplimiento con el Reglamento de Régimen Académico:

El trabajo es el resultado de una investigación.

El estudiante demuestra conocimiento profesional integral.

El trabajo presenta una propuesta en el área de conocimiento.

El nivel de argumentación es coherente con el campo de conocimiento.

Adicionalmente, se indica que fue revisado, el certificado de porcentaje de similitud, la valoración del tutor, así como de las páginas preliminares solicitadas, lo cual indica el que el trabajo de investigación cumple con los requisitos exigidos.

Una vez concluida esta revisión, considero que los estudiantes ESPINOZA ANDRADE LUIS ARTURO Y ORTEGA ÁLVAREZ ANDRÉS XAVIER. están aptos para continuar el proceso de titulación. Particular que comunicamos a usted para los fines pertinentes.

Atentamente,



firmado digitalmente por:
ADALBERTO
VIZCONDE
CAMPOS

Ing. Adalberto Vizconde Campos

C.C.

FECHA:22/09/2022



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y DE AUTORIZACIÓN DE LICENCIA GRATUITA
INTRANSFERIBLE Y NO EXCLUSIVA PARA EL USO NO COMERCIAL DE LA OBRA
CON FINES NO ACADÉMICOS**

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y FÍSICAS

CARRERA: INGENIERIA CIVIL

**LICENCIA GRATUITA INTRANSFERIBLE Y NO COMERCIAL DE LA OBRA CON FINES
NO ACADÉMICOS**

Nosotros, Espinoza Andrade Luis Arturo con C.I. No. 0917829327 y Ortega Álvarez Andrés Xavier Andrés con C.I. No. 0705500627, certificamos que los contenidos desarrollados en este trabajo de titulación, cuyo título es **“Análisis del comportamiento estructural de la pila de un puente de tres tramos continuos conformada por el sistema pilote-columna-viga cabezal, incorporando la interacción suelo-pilote-estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (pushover), ubicado en la vía Durán – Jujan”** son de nuestra absoluta propiedad y responsabilidad, en conformidad al Artículo 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS ONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN, autorizamos la utilización de una licencia gratuita intransferible, para el uso no comercial de la presente obra a favor de la Universidad de Guayaquil.

Luis Arturo Espinoza Andrade
C.I. 0917829327

Andrés Xavier Ortega Álvarez
C.I. 0705500627

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO I Generalidades

1.1.	Introducción	1
1.2.	Planteamiento del problema	1
1.3.	Justificación e importancia	2
1.4.	Objetivos.....	3
1.4.1.	Objetivo general.....	3
1.4.2.	Objetivos específicos	3
1.5.	Delimitación del tema.....	4
1.6.	Ubicación de proyecto.....	5

CAPITULO II Marco Teórico

2.1.	Definiciones y términos sobre puentes y cimentaciones	6
2.1.2.	Elementos de un puente.....	6
2.1.3.	Superestructura	7
2.1.4.	Subestructura.....	8
2.2.	Cimentaciones.....	10
2.2.1.	Tipos de cimentaciones	11
2.3.	Pilotes	12
2.3.1.	Criterios para la selección del tipo de pilote.....	15
2.4.	Estribos de puentes	16
2.4.1.	Tipos de estribos.....	17
2.5.	Marco Conceptual	19
2.6.	Interacción Suelo-Pilote	22
2.6.1.	Interacción Estática Suelo-Estructura	23
2.6.2.	Interacción Dinámica Suelo-Estructura	24
2.6.3.	Efectos Asociados a la Interacción Dinámica Suelo-Estructura	27
2.6.4.	Interacción Dinámica Suelo – Estructura en puentes de carretera	28
2.6.5.	Curvas de Transferencia de Carga Lateral	28
2.7.	Comportamiento de los materiales estructurales	31
2.7.1.	Comportamiento elástico	31
2.7.2.	Comportamiento inelástico	31
2.8.	Rótulas plásticas	32

2.8.1.	Diagrama momento-curvatura	32
2.9.	Análisis estático no lineal (pushover)	33
2.9.1.	Aplicabilidad del Análisis Pushover en Puentes	34

CAPITULO III

Marco Metodológico

3.1.	Tipo de Estudio	35
3.2.	Estudio geotécnico	36
3.2.1.	Unidades geotécnicas	36
3.2.2.	Parámetros Geotécnicos	36
3.2.3.	Correlaciones con N60 en Suelos Cohesivos	37
3.2.4.	Correlaciones con N60 en Suelos Granulares	38
3.3.	Efectos Sísmicos	38
3.3.1.	Generalidades	38
3.3.2.	Curvas de peligro sísmico	39
3.3.3.	Zonificación Sísmica	41
3.3.4.	Tipos de perfiles de suelos	42
3.3.5.	Coeficientes de perfil de suelo	43
3.3.6.	Factores de modificación de respuesta	44
3.3.7.	Presión del Suelo	45
3.3.8.	Estados Limites	47
3.4.	Metodología Interacción Suelo-Pilote	48
3.4.1.	Metodología Interacción Suelo-Pilote mediante Ensoft APILE	48
3.4.2.	Metodología Interacción Suelo-Pilote mediante Ensoft GROUP	49
3.5.	Metodología pushover	50
3.5.1.	Rotulas plásticas según ASCE 41-13	51
3.5.2.	Rótulas Plásticas en Columnas	52
3.5.3.	Análisis y verificación de la curva de capacidad	53

CAPITULO IV

Desarrollo del Tema

4.1.	Descripción del Proyecto	55
4.2.	Estudio Geotécnico	57
4.2.1.	Determinación de la Unidades Geotécnicas	57
4.2.2.	Obtención de Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos	58
4.2.3.	Estratigrafía de la Zona de Estudio	60
4.3.	Espectro de Diseño	61

4.3.1.	Coeficiente de amplificación del suelo de periodo corto (F_a).....	65
4.3.2.	Coeficiente de amplificación del espectro elástico (F_d).....	65
4.3.3.	Coeficiente del comportamiento no lineal (F_s).....	66
4.4.	Cargas Horizontales en Estribos	67
4.5.	Modelo Estructural en CSIBridge	78
4.6.	Curvas de Transferencia de cargas laterales y axiales ($P-y$)	85
4.6.1.	Curvas de transferencia de carga lateral ($P-y$)	94
4.7.	Curvas de transferencia de Carga Axial ($t-z$ y $q-z$)	96
4.7.1.	Curvas de Transferencia de carga axial ($Q-z$)	102
4.7.2.	Curvas de Transferencia de carga axial ($T-z$).....	102
4.8.	Modelo Estructural considerando las Curvas de Transferencia	105
4.9.	Determinación de longitud de empotramiento según CSIBridge.....	110
4.10.	Desempeño sísmico mediante el análisis no lineal (Pushover)	111
4.10.1.	Análisis de la sección de la Pila del puente	111
4.11.	Chequear secciones estructurales.....	125
4.11.1.	Pilotes (Modelo Interacción).....	125
4.11.2.	Viga Cabezal (Modelo Interacción)	130

CAPITULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1.	Conclusiones	138
5.2.	Recomendaciones	140

Bibliografía

Anexos

Índice de Ilustraciones

Ilustración 1: Ubicación del puente sobre el Estero Nauza	5
Ilustración 2: Puente actual ubicado en la vía Durán-Jujan.....	5
Ilustración 3: Vista de un puente y sus partes	9
Ilustración 4: Sección de un puente y sus partes	10
Ilustración 5: Transmisión de Cargas en pilotes por fuste y pilotes por punta.....	13
Ilustración 6: Diagrama de un estribo cerrado	17
Ilustración 7: Diagrama de un estribo abierto	18
Ilustración 8: Tipos de aletas.....	19
Ilustración 9: Pilote soportando carga lateral y diagrama de curvas p-y.....	28
Ilustración 10: Curvas p-y y módulo de reacción vs deflexión lateral.....	29
Ilustración 11: Curva de Carga vs Asentamiento.....	30
Ilustración 12: Diagramas de Momento-Curvatura	32
Ilustración 13: Diagrama Fuerza-Deformación de rótulas plásticas.....	33
Ilustración 14: Curva de Peligro Sísmico de Babahoyo.....	39
Ilustración 15: Mapa de zonas sísmicas en Ecuador.....	41
Ilustración 16: Diagrama Fuerza-Desplazamiento según el nivel de desempeño	50
Ilustración 17: Curva de capacidad de análisis pushover.....	54
Ilustración 18: Perfil longitudinal del Puente sobre el estero Nauza	55
Ilustración 19: Sección transversal del puente sobre el estero Nauza.....	56
Ilustración 20: Sección transversal de la pila del puente sobre el estero Nauza	57
Ilustración 21: Estratigrafía de la zona de estudio	60
Ilustración 22: Curvas de peligro sísmico para Babahoyo.....	62
Ilustración 23: Materiales designados para su respectiva sección.....	79
Ilustración 24: Secciones consideradas en la modelación	79
Ilustración 25: Pila del Puente en CSI Bridge	80
Ilustración 26: Espectro elástico de diseño (Viga Cabezal).....	81
Ilustración 27: Espectro elástico de diseño (Pilote)	81
Ilustración 28: Estados límites para el diseño.....	82
Ilustración 29: Combinación tipo envolvente Viga Cabezal.....	83
Ilustración 30: Combinación tipo envolvente Pilote	83
Ilustración 31: Puente Nauza modelado en CSI Bridge	84
Ilustración 32: Geometría de la sección de la pila	85
Ilustración 33: Geometría de la sección de la viga cabezal.....	86
Ilustración 34: Sección transversal de los pilotes	86
Ilustración 35: Detalle de la sección rectangular del pilote	87
Ilustración 36: Detalle de la sección rectangular del pilote.....	88
Ilustración 37: Coordenadas de pilotes con respecto al eje de viga cabezal.....	89
Ilustración 38: Estratigrafía de la zona de estudio	89
Ilustración 39: Profundidades para la obtención de las curvas P-Y	90
Ilustración 40: Cargas que actúan en la interacción	91
Ilustración 41: Sismo en X que interactúa con los pilotes	91
Ilustración 42: Sismo en Y que interactúa con los pilotes	92
Ilustración 43: Perfil obtenido del Ensoft Group.....	93
Ilustración 44: Curvas (p-y) para arcilla de consistencia media blanda	94
Ilustración 45: Curvas (p-y) para arena arcillosa media densa	94
Ilustración 46: Curvas (p-y) para suelo con alto contenido orgánico	95
Ilustración 47: Curvas (p-y) para arcilla de consistencia blanda	95
Ilustración 48: Curvas (p-y) para arena arcillosa densa	96
Ilustración 49: Tipo de pilote y material.....	97
Ilustración 50: Propiedades geométricas del pilote	98
Ilustración 51: Longitud libre del pilote (PSL).....	98

Ilustración 52: Método para el diseño de las curvas (tz-qz)	99
Ilustración 53: Estratigrafía de la zona de estudio	100
Ilustración 54: Perfil estratigráfico y pila	101
Ilustración 55: Curva (Q-z).....	102
Ilustración 56: Curva (T-z) Arcilla de consistencia media blanda.....	102
Ilustración 57: Curva (T-z) - Arena arcillosa media densa.....	103
Ilustración 58: Curva (T-z) - Suelo con alto contenido orgánico.....	103
Ilustración 59: Curva (T-z)- Arcilla de consistencia blanda.....	104
Ilustración 60: Discretizaciones en pilotes	105
Ilustración 61: Creación de links.....	106
Ilustración 62: Ejes de curvas t-z y p-y.....	107
Ilustración 63: Eje de curvas q-z	107
Ilustración 64: Curvas de carga axial de Q-z	108
Ilustración 65: Curvas de carga axial de t-z	108
Ilustración 66: Curvas de cargas laterales y axiales de P-y	109
Ilustración 67: Curvas de transferencia de carga en CSI Bridge.....	109
Ilustración 68: Longitud de empotramiento aparente considerando la interacción suelo- pilote-estructura	110
Ilustración 69: Bosquejo de la sección que se analizará	111
Ilustración 70: Bosquejo de la sección en 3D	112
Ilustración 71: Columna con su respectiva cantidad de acero	114
Ilustración 72: Viga con su respectiva cantidad de acero.....	114
Ilustración 73: Pila tipo pórtico	114
Ilustración 74: Carga gravitacional no lineal	115
Ilustración 75: Análisis pushover multimodo	116
Ilustración 76: Rótulas plásticas en columnas	119
Ilustración 77: Rótulas plásticas en vigas	119
Ilustración 78: Paso 13. Nivel de ocupación inmediata	120
Ilustración 79: Paso 25. Rango de seguridad limitada (Columna)	121
Ilustración 80: Paso 10. Rango de seguridad limitada (Viga).....	122
Ilustración 81: Curva de capacidad	123
Ilustración 82: Punto de Desempeño	124
Ilustración 83: Modelo con interacción en CSI Bridge	125
Ilustración 84: Diagrama de momento (Envolvente Pilote).....	126
Ilustración 85: Curvas que genera la sección del pilote	128
Ilustración 86: Sección del pilote	128
Ilustración 87: Diagrama de interacción (P-M3).....	129
Ilustración 88: Modelo Simplificado	133
Ilustración 89: Diagrama de momento (Pila#2).....	134
Ilustración 90: Diagrama de Interacción.....	135
Ilustración 91: Diagrama de momentos de viga cabezal	135
Ilustración 93: Flexión (acero máximo positivo).....	136
Ilustración 94: Cortante (acero máximo positivo).....	137
Ilustración 95: Flexión (acero mínimo negativo)	137
Ilustración 96: Cortante (acero mínimo negativo)	137

Índice de Tablas

Tabla 1: Elementos de un puente.....	6
Tabla 2: Función de una cimentación.....	10
Tabla 3: Criterios para elección de pilotes	15
Tabla 4: Tabla de Gravedad específica según el tipo de suelo	37
Tabla 5: Resistencia a la comprensión simple según el número de Penetración Standard ..38	
Tabla 6: Factores para curvas de peligro sísmico.....	40
Tabla 7: Valores de factor Z según la zona de estudio	41
Tabla 8: Clasificación de varios tipos de suelo.....	42
Tabla 9: Valores de amplificación de periodo corto	43
Tabla 10: Valores de amplificación del espectro elástico	43
Tabla 11: Valores del comportamiento no lineal	44
Tabla 12: Valores de modificación de respuestas para subestructuras	44
Tabla 13: Valores de modificación de respuestas para conexiones.....	45
Tabla 14: Modelo de espectro elástico horizontal de diseño	45
Tabla 15: Parámetros para el cálculo de cargas horizontales en estribos	46
Tabla 16: Estados Límite	47
Tabla 17: Metodologías de código 1 APILE para cálculo de capacidad axial en pilotes	48
Tabla 18: Parámetros no lineales para vigas de hormigón armado	51
Tabla 19: Parámetros no lineales para columnas de Hormigón Armado	53
Tabla 20: Parámetros de diseño.....	59
Tabla 21: Factores de diseño	62
Tabla 22: Valores de curvas de peligro sísmico.....	63
Tabla 23: Valores de factor Z según la zona de estudio	63
Tabla 24: Clasificación de varios tipos de suelo	64
Tabla 25: Valores de amplificación de periodo corto	65
Tabla 26: Valores de amplificación del espectro elástico	65
Tabla 27: Valores del comportamiento no lineal	66
Tabla 28: Valores de modificación de respuesta para subestructuras ... ¡Error! Marcador no definido.	
Tabla 29: Valores de modificación para conexiones.....	67
Tabla 30: Propiedades del terreno	67
Tabla 31: Geometría del muro tipo pantalla	67
Tabla 32: Cálculo del coeficiente de empuje activo (Ka)	68
Tabla 33: Presión constante horizontal debido a LS (Δp)	68
Tabla 34: Componente horizontal SC por carga viva.....	68
Tabla 35: Presión lateral	68
Tabla 36: Presión lateral del terreno (EH)	69
Tabla 37: Coeficiente de aceleración horizontal	69
Tabla 38: Condición	69
Tabla 39: Fuerza dinámica lateral debida a la presión de tierras	70
Tabla 40: Acción sísmica del terreno.....	70
Tabla 41: Peso propio del estribo	70
Tabla 42: Peso propio del terreno.....	71
Tabla 43: Peso (estribo + terreno tributario).....	71
Tabla 44: Fuerza inercial del estribo	71
Tabla 45: Efecto combinado	71
Tabla 46: Separación de cargas.....	72
Tabla 47: Resumen de cargas horizontales	72
Tabla 48: Resumen de cargas que se ingresarán en CSI Bridge.....	72
Tabla 49: Propiedades del terreno	73
Tabla 50: Geometría del muro tipo ala	73
Tabla 51: Cálculo del coeficiente de empuje activo (Ka)	73

Tabla 52: Presión constante horizontal debido LS (Δp)	74
Tabla 53: Componente horizontal SC por carga viva.....	74
Tabla 54: Presión lateral del suelo	74
Tabla 55: Presión lateral del terreno (EH)	74
Tabla 56: Coeficiente de aceleración horizontal	75
Tabla 57: Condición	75
Tabla 58: Fuerza dinámica lateral debida a la presión de tierras	75
Tabla 59: Acción sísmica del terreno.....	76
Tabla 60: Peso propio del estribo	76
Tabla 61: Peso propio del terreno.....	76
Tabla 62: Peso (estribo + terreno tributario).....	77
Tabla 63: Efecto combinado	77
Tabla 64: Fuerza inercial del estribo.....	77
Tabla 65: Separación de cargas.....	78
Tabla 66: Resumen de cargas que se ingresaran a CSI Bridge.....	78
Tabla 67: Resumen de cargas horizontales	78
Tabla 68: Cargas que se relacionan con los pilotes del puente	84
Tabla 69: Factores de resistencia para pilotes hincados.....	100
Tabla 70: Cálculo de longitud de empotramiento aparente	111
Tabla 71: Carga Muerta	112
Tabla 72: Carga Sobreimpuesta (DW).....	112
Tabla 73: Descarga de HL-93	113
Tabla 74: Parámetros para rótulas plásticas en vigas	117
Tabla 75: Parámetros para rótulas plásticas en columnas	118
Tabla 76: Valores obtenidos de la curva	123
Tabla 77: Demandas presentadas por el CSI Bridge.....	127
Tabla 78: Demandas presentadas por CSI Bridge.....	130
Tabla 79: Demandas máximas para evaluar pilotes	134
Tabla 80: Demandas Obtenidas en CSI Bridge	136



**RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN
(ESPAÑOL) FACULTAD: CIENCIAS
MATEMÁTICAS Y FÍSICAS CARRERA:
INGENIERÍA CIVIL**

Título Del Trabajo De Titulación:	ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE LA PILA DE UN PUENTE DE TRES TRAMOS CONTINUOS CONFORMADA POR EL SISTEMA PILOTE-COLUMNA-VIGA CABEZAL, INCORPORANDO LA INTERACCIÓN SUELO-PILOTE- ESTRUCTURA Y VERIFICANDO EL DESEMPEÑO SÍSMICO MEDIANTE EL ANÁLISIS ESTÁTICO NO LINEAL (PUSHOVER), UBICADO EN LA VÍA DURÁN – JUJAN
--	--

Autores: Luis Arturo Espinoza Andrade
Andrés Xavier Ortega

Tutor: Ing. Pablo Lindao Tomalá, M.Sc

RESUMEN

La situación geográfica del Ecuador juega un papel importante a la hora de diseñar y construir estructuras con un comportamiento frente a eventos sísmicos. Dichos eventos han llevado a profesionales de la ingeniería a considerar nuevos tipos de análisis para evitar colapso de puentes. En este trabajo toma en cuenta el análisis del comportamiento estructural de la pila de un puente de tres tramos continuos conformada por el sistema pilote-columna-viga cabezal, incorporando la interacción suelo-pilote- estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (pushover). Para esto se utilizará varias herramientas de trabajo como son los softwares, CSI Bridge, Apile, Group y Sap2000; que consideran la modelación con sus respectivos elementos y materiales, la parte geotécnica de la zona de estudio, para poder obtener las curvas de transferencia de carga axial y lateral, que, bajo un criterio fundamentado respaldado por normas, con cálculos y el estudio de suelo.

PALABRAS CLAVES: SISMO – INTERACCIÓN – SUELO – PILOTE – ESTRUCTURA



RESUMEN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN (INGLÉS)

FACULTAD: CIENCIAS MATEMÁTICAS Y
FÍSICAS
CARRERA: INGENIERÍA CIVIL

Title Of The Degree Project: Analysis of the structural behavior of the pier of a continuous three-span bridge formed by the pile-column-head beam system, incorporating the soil-pile-structure interaction and verifying the seismic performance through nonlinear static analysis (pushover), located in the Duran-Jujan road

Authors: Luis Arturo Espinoza Andrade

Andrés Xavier Ortega Álvarez

Advisor: Ing. Pablo Lindao Tomalá, M.Sc.

ABSTRACT

The geographical location of Ecuador plays an important role when designing and building structures with behavior against seismic events. Such events have led engineering professionals to consider new types of analysis to prevent bridge collapse. This work takes into account the analysis of the structural behavior of the pier of a bridge with three continuous sections formed by the pile-column-head beam system, incorporating the soil-pile-structure interaction and verifying the seismic performance through non-static static analysis. linear (pushover). For this, several work tools will be used, such as software, CSIBridge, Stack, Group and Sap2000; that consider the modeling with their respective elements and materials, the geotechnical part of the study area, in order to obtain the axial and lateral load transfer curves, which, under a well-founded criterion supported by standards, with calculations and the soil study.

KEY WORDS: EARTHQUAKE - INTERACTION - SOIL - PILE - STRUCTURE

CAPÍTULO I

Generalidades

1.1. Introducción

Ecuador, situado en la conjunción de las placas de subducción de Nazca y Sudamericana, es un país con una intensa actividad sísmica, que pone en riesgo la mayor parte de infraestructuras. Dicha localización condiciona los diseños de obras civiles en cada uno de sus niveles, desde el arquitectónico hasta el estructural, pasando por el geotécnico. Por lo tanto, basado en la zona geográfica del país, se debe tener en cuenta para la planificación y ejecución de cualquier proyecto, un minucioso análisis de las disciplinas anteriormente mencionadas.

El trabajo de titulación presentado abordará el análisis y comportamiento estructural de la pila de un puente situado en la carretera Durán-Jujan, incorporando la interacción suelo-pilote-estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis no lineal (Pushover)

Finalmente, este documento incluye definiciones como partes de un puente, tipos de cimentación, o la base teórica de interacción suelo-estructura y pushover.

1.2. Planteamiento del Problema

A lo largo de la historia, Ecuador ha sufrido eventos sísmicos de formidable magnitud causando estragos a las infraestructuras y a sus ciudadanos.

En abril del año 2016 los sismógrafos registran el último terremoto con consecuencias devastadoras, teniendo una magnitud de 7.8. Dichas consecuencias devastadoras se producen por la calidad de las construcciones, resultado de un proceso constructivo ejecutado sin atender a las exigencias de los códigos de diseño y las características de los materiales empleados, exponiendo las condiciones de vulnerabilidad de la construcción en nuestro país. (IGEPN, 2022)

Tratando específicamente el ámbito de los puentes, no se consideran muchas veces todos los aspectos que plantean los códigos de diseño, por ejemplo, AASHTO LRFD o la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), los cuales consideran condiciones críticas y periodos de retorno amplios para un mejor desempeño frente a eventos naturales.

Uno de los puntos que no se trata en el análisis estructural es el comportamiento del emplazamiento y la estructura, es decir, como actúan el puente y el suelo en el que está apoyado el mismo. Por eso, se recurre al análisis de interacción suelo-pilote-estructura, aspecto importante a tener en cuenta de la filosofía de diseño sismorresistente.

1.3. Justificación e Importancia

Es importante la construcción de puentes en el Ecuador ya que son nexos entre vías que unen grandes ciudades, en este caso, la capital, Quito y el puerto principal, Guayaquil. Debido a que es una zona productiva, muy transitada y que está en crecimiento, se ha optado por hacer una ampliación del Puente sobre el Estero Nauza que está ubicado en la vía Durán-Jujan, esto implica que deben realizarse estudios rigurosos de carácter estructural y geotécnico.

Para esto, antes de ejecutar la parte constructiva se utilizarán herramientas muy útiles donde se tendrá en cuenta diversos análisis, desde la interacción suelo-pilote-estructura debido a la influencia que tiene las propiedades del suelo sobre el comportamiento de la estructura y la verificación del desempeño sísmico que nos facilita el análisis estático no lineal (Pushover).

Teniendo presente todos estos aspectos se podrá verificar, comprobar y evaluar, realmente cual será el comportamiento que tendrá esta estructura.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Analizar el comportamiento de la pila de un puente de tres tramos continuos conformada por el sistema pilote – columna – viga cabezal, incorporando la interacción suelo-pilote-estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (Pushover).

1.4.2. Objetivos Específicos.

A continuación, los objetivos que se han planteado:

- Realizar la modelación del puente en CSI Bridge con su respectiva estructuración, para ir obteniendo un primer modelo, asumiendo una longitud de empotramiento de 8 veces la sección del pilote.
- Definir la estratigrafía del terreno, con el estudio de suelo que fue asignado y así determinar sus debidos parámetros de diseño.
- Generar las curvas de transferencia de carga axial y lateral (t-z), (q-z) y (p-y), que se las obtiene del software Ensoft (Apile y Group).

- Presentar un modelo estructural en CSI Bridge incorporando las curvas de transferencia y poder obtener su longitud de empotramiento real.
- Chequear la formación de las rótulas plásticas y la curva de capacidad de una pila del puente, mediante un modelo matemático no lineal aplicando el criterio de Pushover en el software SAP2000.
- Verificar la capacidad vs demanda a flexo-compresión y cortante del sistema pilote-viga cabezal.

1.5. Delimitación del Tema

El siguiente trabajo de investigación se divide en las siguientes partes:

- Con base en el modelo matemático, se analizará el comportamiento estructural de la pila del puente, tomando en cuenta criterios como la interacción suelo-pilote-estructura para obtener las curvas de transferencia de carga axial y lateral, el análisis no lineal pushover derivando en el desempeño de la pila del puente y la relación demanda vs capacidad de las secciones de la estructura.
- Se utilizará la normativa AASHTO LRFD Bridge Design Specifications (2017), tomando en cuenta su filosofía de diseño, cargas y factores de cargas.
- Se tomará en cuenta la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) y las curvas de peligro sísmico presentes en uno de sus capítulos.
- Para la ejecución del modelo matemático planteado se utilizará el programa CSI Bridge. Para la obtención de las curvas de transferencia de carga axial y lateral, Ensoft Apile y GROUP.

- Determinar el efecto del suelo en cimentaciones con sus curvas de transferencia de carga axial (curvas t-z y curvas q-z), cargas laterales (curvas p-y) y la capacidad flexo-compresora del pilote y de la viga.

1.6. Ubicación de Proyecto

El Consejo Provincial del Guayas, por medio de la concesión de vías CONCEGUA, ampliará la vía Durán-Jujan, de dos carriles a cuatro carriles lo que tiene como consecuencia ampliar también el puente que se encuentra ubicado en el estero Nauza, en la abscisa 39+237.46.



Ilustración 1: Ubicación del puente sobre el Estero Nauza

Fuente: (CEVACONSULT, 2018)



Ilustración 2: Puente actual ubicado en la vía Durán-Jujan

Elaborado por: Luis Espinoza- Andrés Ortega

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1. Definiciones y Términos sobre Puentes y Cimentaciones

Es necesario establecer ciertos términos antes de ahondar en el tema de este documento con el fin de facilitar la comprensión del lector.

2.1.2. Elementos de un Puente

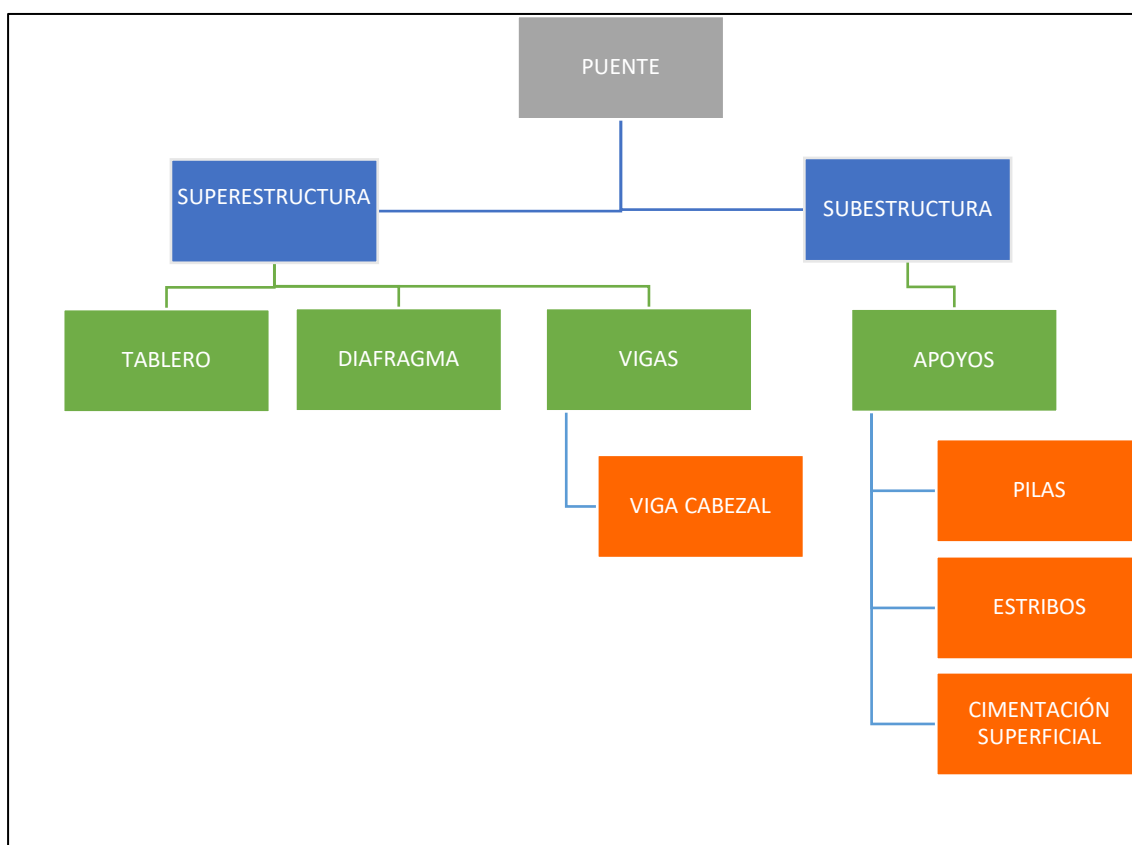


Tabla 1: Elementos de un Puente.

Elaborado por: Luis Espinoza- Andrés Ortega

2.1.3. Superestructura.

Contempla a los componentes que están por encima del soporte de la estructura.
(CIC, 2022)

Tablero

La función de este elemento es la de distribuir las cargas transversales y longitudinales en toda la extensión del puente. (Reinoso, Rodríguez, & Betancourt, 2000).

Diafragma

Los diafragmas dotan de rigidez lateral a las vigas y a la superestructura. Se trata de viguetas transversales a los elementos, generalmente de hormigón armado, ubicados en los extremos y puntos medios del puente. (Reinoso, Rodríguez, & Betancourt, 2000).

Vigas

Las vigas son los miembros principales del puente y se diseñan para resistir el trabajo a flexión. (RAING, 2022).

Viga Cabezal

Es la viga ubicada sobre las columnas en las que se apoya las vigas de un tramo de la superestructura de un puente. (RAING, 2022).

Placa Rigidizadora

Son placas de acero soldadas a las vigas y se utilizan para puentes de tramos cortos y medianos. (Wiki, 2022).

2.1.4. Subestructura.

La subestructura la conforman aquellos elementos en los que se sustenta la superestructura, como son columnas, pilas, estribos y cabezales. Transmite la las cargas de la superestructura a la cimentación. (Reinoso, Rodríguez, & Betancourt, 2000).

Apoyo

Elemento estructural encargado de transmitir las cargas habilitando la translación y la rotación. (Barroso & Carrillo, 2020).

Apoyo Fijo

Apoyo que previene la traslación longitudinal diferencial de elementos estructurales colindantes. Puede o no estar previsto para traslación o rotación lateral diferencial. (Barroso & Carrillo, 2020).

Pilas

Estos elementos basan su comportamiento frente a cargas laterales por cortante y no por flexión. (Reinoso, Rodríguez, & Betancourt, 2000).

Estribos

Elementos donde encuentran las rampas de acceso en el caso de puentes en áreas planas o el apoyo en laderas en puentes en zonas montañosas o en las zonas cercanas a la orilla de los ríos. (Reinoso, Rodríguez, & Betancourt, 2000).

Cimentación Superficial:

Estructura apoyada en la capa superficial del suelo al ser éste eficiente al soportar las cargas transmitidas por la estructura, repartiéndolas de forma horizontal en el plano. (Xunta, 2014).

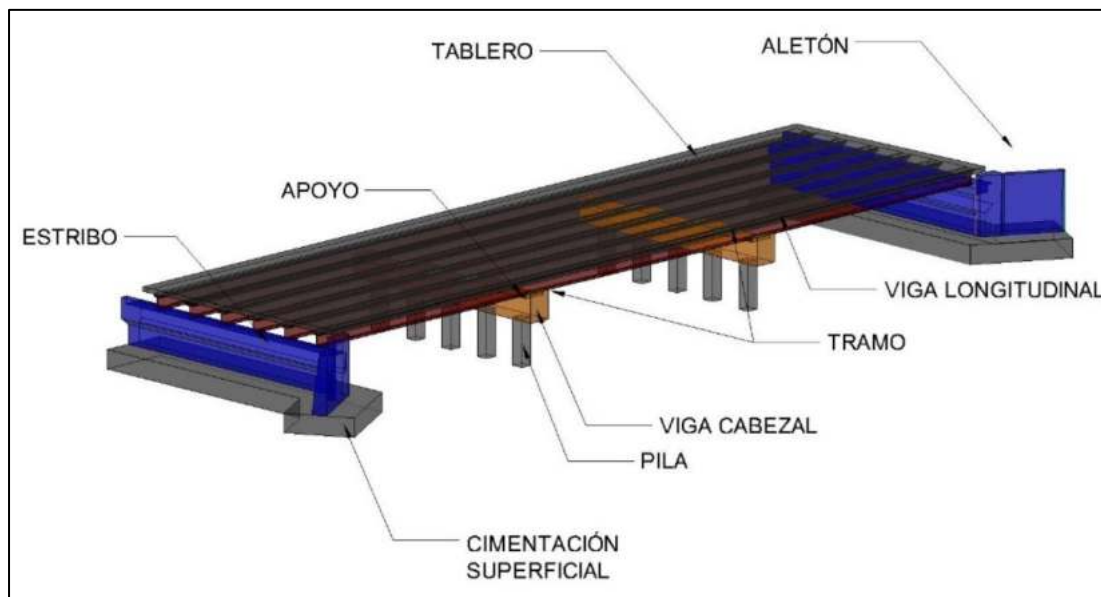


Ilustración 3: Vista de un puente y sus partes

Elaborado por: Luis Espinoza- Andrés Ortega

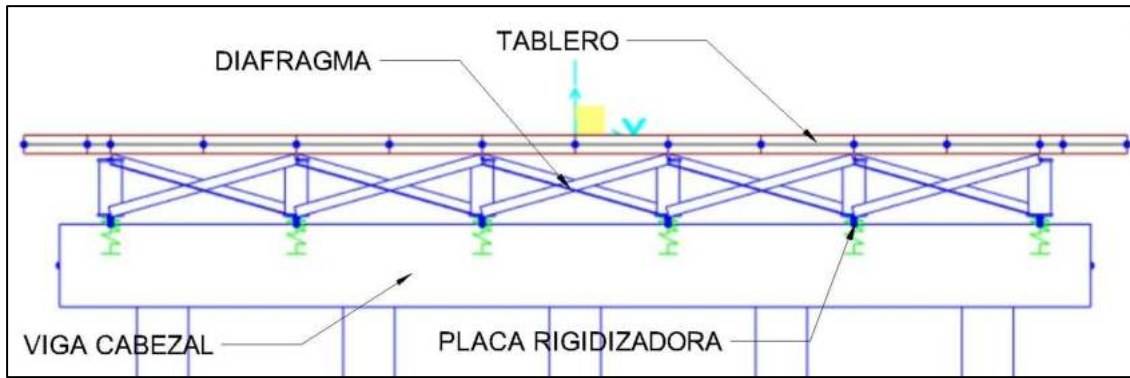


Ilustración 4: Sección de un puente y sus partes

Elaborado por: Luis Espinoza- Andrés Ortega

2.2. Cimentaciones

Una cimentación es aquello que sirve de nexo entre una estructura y el suelo. Normalmente se encuentra soterrada y transmite su peso al terreno, así como las cargas recibidas con la finalidad de que la estructura soportada tenga estabilidad, la presión transmitida sea menor a la presión admisible y los asentamientos se encuentren limitados.

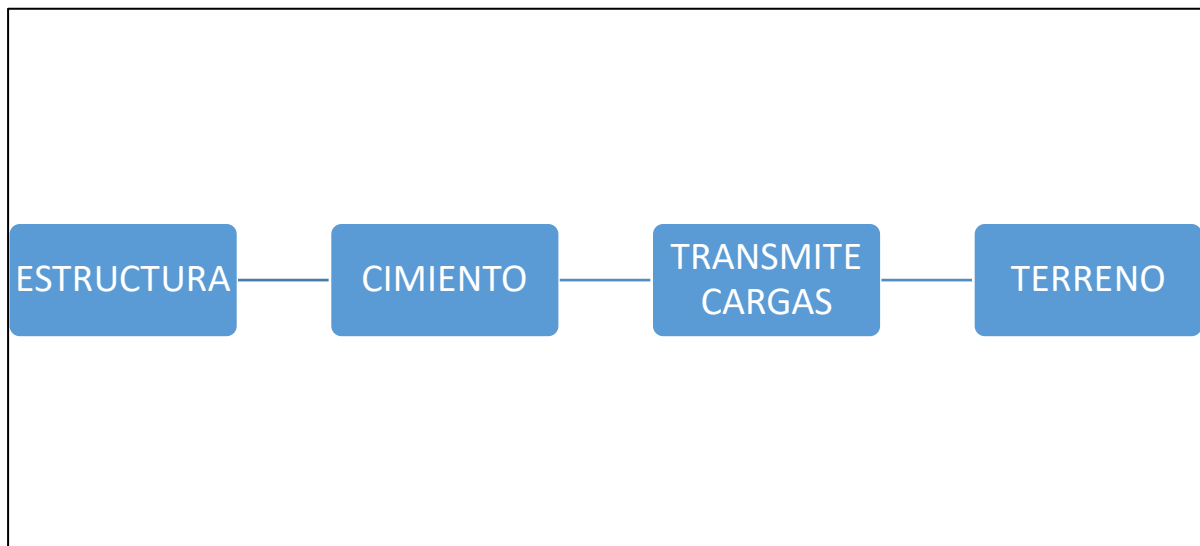


Tabla 2: Función de una cimentación

Fuente: (Yepes P. V., 2019)

El fin del diseño de cimentaciones es no alcanzar el estado límite último, el cual supone una situación crítica como hundimiento, estabilidad global, vuelco, etc. Por otro lado, el estado límite de servicio, limita su capacidad funcional, estética como movimientos excesivos.

Finalmente, la máxima fuerza ejercida en la cimentación sin que este alcance su estado último es denominada capacidad portante y la presión admisible es la que no llega a ningún estado límite, presentando un coeficiente de seguridad respecto a la capacidad portante. (Yepes P. V., 2019).

2.2.1. Tipos de Cimentaciones.

Las cimentaciones son catalogadas de acuerdo a la profundidad del estrato al que se le es transmitida la carga de la estructura:

Cimentaciones Profundas

Cuando los estratos superiores del suelo poseen baja capacidad portante o rigidez, así como cuando no se puede hacer uso de un sistema suelo-cimentación por el daño que provocarían, se utilizan este tipo de cimentaciones. Aquí podemos incluir pilotes, tanto hincados como pre-barrenados, micropilotes y cajones. Las cargas son transmitidas a través de un suelo blando hasta la capa estable justo bajo la estructura provocando que apenas el peso de la estructura se transmita al terreno.

Cimentaciones Superficiales

Es utilizada para terrenos con profundidad limitada, llegando a estos excavando y usando cimentación superficial.

Se recomienda utilizar cimentación superficial cuando sea posible debido a que son las óptimas económicamente y en cuanto a su ejecución. Aquí encontraremos zapatas aisladas, muros, zapatas combinadas, continuas, tanto en una como en dos direcciones, etc. (Awad, 2007).

2.3. Pilotes

El pilote, elemento estructural que funciona de manera vertical y que suelen ser prefabricados, es hincado en el terreno con el fin de transmitir cargas desde la estructura hacia un estrato con una resistencia suficientemente adecuada para que ésta trabaje y las cargas puedan ser transmitidas con seguridad.

La norma AASHTO LRFD 2017 en sus distintas versiones, refiere a pilotes fabricados de acero, hormigón, hormigón pretensado y pilotes de madera; de la misma forma distingue los tipos según el proceso constructivo (pilotes hincados y pilotes perforados y vaciados in situ) (AASHTO, 2017).

Pilotes por punta o columna

Transmiten las cargas a la capa resistente del suelo por punta, complicando el terreno alrededor el pandeo y deformándose el pilote mínimamente por su rigidez (Yepes V. , 2019).

Pilotes por fuste o de fricción

Este tipo de pilote transmite la carga al terreno sin llegar al estrato resistente por rozamiento a través del fuste. (Yepes P. V., 2019)

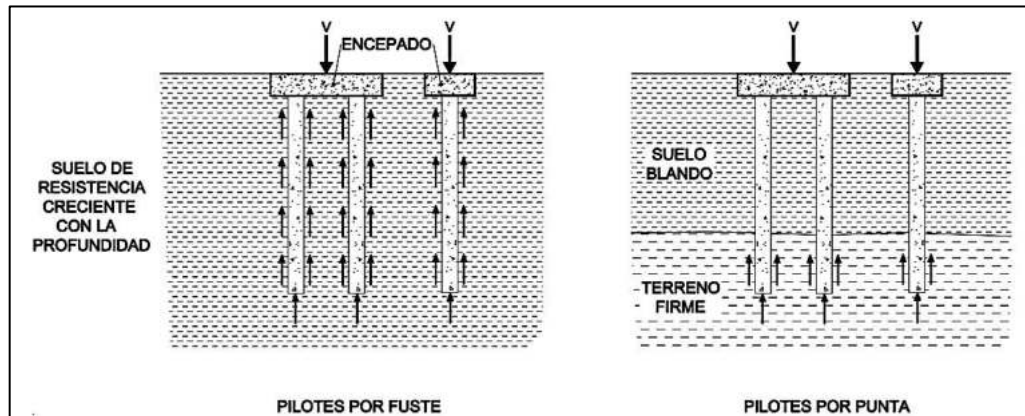


Ilustración 5: Transmisión de Cargas en pilotes por fuste y pilotes por punta

Fuente: (Yepes P. V., 2019)

Se puede clasificar a los pilotes en los siguientes tipos:

- **Pilote aislado:** No actúan con los demás pilotes al estar a una distancia considerable.
- **Grupo de pilotes:** Interactúan entre ellos al estar a una distancia cercana o están unidos mediante elementos estructurales.
- **Zonas pilotadas:** Son pilotes situados en puntos críticos y a cierta distancia con capacidad portante reducida si son analizados individualmente. Y reducen asentamientos y aumenta la seguridad frente a hundimiento de las cimentaciones.
- **Micropilotes:** Están compuestos por un armado de acero en forma de tubo introducidos con un taladro de diámetro pequeño y son inyectados con

lechada. (Yepes V. , 2019)

Se puede clasificar a los pilotes por el tipo de material:

- **Hormigón “in situ”:** pilotes hechos por excavación previa del terreno o por desplazamiento de éste.
- **Hormigón prefabricado:** uso de pilotes de hormigón preesforzado o postensado y armado de alta resistencia.
- **Acero:** pilotes hincados de sección tubular o perfiles en doble U o en H.
- **Mixtos:** pilotes de acero o rellenos de mortero. (Yepes V. , 2019)

Por la forma de ejecución, son clasificados en:

- **Pilotes prefabricados hincados:** No es necesaria la excavación ya que el terreno es desplazado por el pilote. (Yepes V. , 2019)
- **Pilotes hormigonados “in situ”:** el terreno requiere una excavación previa antes de hormigonar. (Yepes V. , 2019)

2.3.1. Criterios para la Selección del Tipo de Pilote.

Los diferentes criterios que se puede utilizar para la clasificación de pilotes vienen dados por (Rogríguez, 2013) la forma en la que trabajan, el material, etc., y la decisión del ingeniero encargado del diseño juega un papel importante a la hora de elegir el pilote basándose en sus necesidades y experiencia. A continuación, se detallan qué debemos de tener en cuenta para el pilote que más se adecúa a nuestro sistema: (Manterola Armisen, 2006).

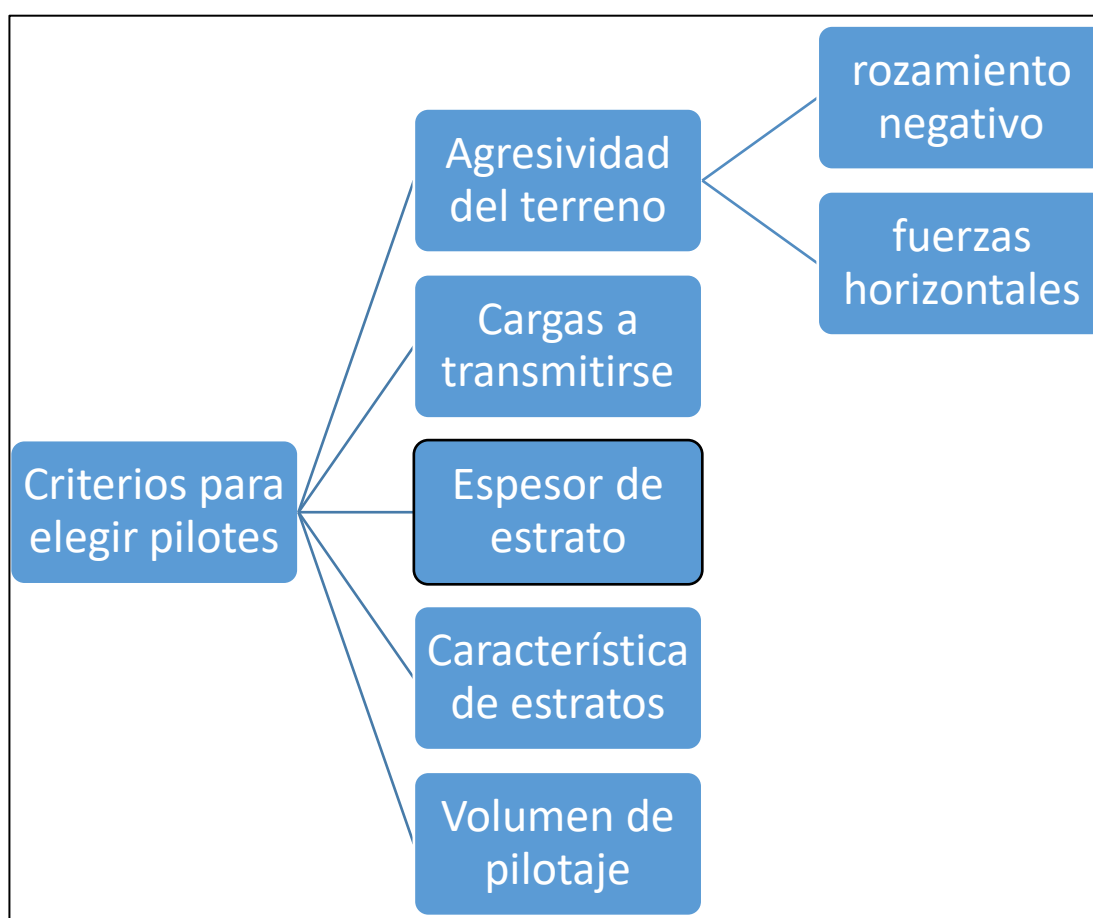


Tabla 3: Criterios para elección de pilotes

Fuente: (Manterola Armisen, 2006)

Según Rodríguez (2013), también se debe tener en cuenta ciertas recomendaciones, ya que no es suficiente con las características del terreno ya que a veces uno o varios tipos de pilotes pueden ser útiles:

- Terreno arenoso blando: compactación y mejora del suelo. Idóneo el uso de pilotes hincados prefabricados. Es aconsejable excavar previamente, cuando el suelo está compactado, manteniendo lodos betoníticos.
- Para terrenos estables a capas profundas se aconseja el uso de pilotes empotrados por punta en el mencionado estrato.
- Si en el terreno hay presencia de restos de cimentaciones o grandes rocas, lo que dificulta el hinchamiento de pilotes, es necesario recurrir a pilotes vaciados in situ, previa perforación y de gran diámetro.
- Para terrenos con nivel freático alto no cabe el uso de pilotes excavados sin entubación. La presencia de agua arruinaría el hormigón, dejando un pilote inestable.
- Se usará pilotes perforados y vaciados in situ, sin entubación en suelos cohesivos con poca presencia de agua.
- Si los impactos realizados en el terreno producen asentamientos o inestabilidad en estructuras cercanas no se debe emplear pilotes hincados. (Rogríguez, 2013)

2.4. Estribos de Puentes

Hablando de estribos, estos poseen dos misiones primordiales:

- Formar el apoyo extremo del tablero habilitando, mediante los apoyos, las deformaciones axiales por temperatura, fluencia y retracción; en ocasiones, las deformaciones correspondientes a las acciones directas de la estructura.

- Ser una estructura de contención que contraponen el empuje del suelo que constituye el talud de acceso y controla el derrame de tierras frontal y lateral del estribo. El estribo es precisamente el que impide el derrame frontal y las aletas, el derrame lateral.

Como norma general, los estribos son fabricados con hormigón armado y, en ocasiones, pretensado cuando existan esfuerzos importantes. (Manterola Armisén, 2006)

2.4.1. Tipos de Estribos.

2.4.1.1. Estribos Cerrados.

Siendo este tipo de estribo el más común consta de un muro frontal, el estribo y aletas, con la presencia opcional de aletas; un muro lateral y la losa de transición, Figura 6.

Por medio de los apoyos, la carga del dintel es soportada por el muro frontal. Los apoyos permiten los movimientos del dintel sin importar los que ocasiona el suelo. (Manterola Armisén, 2006).

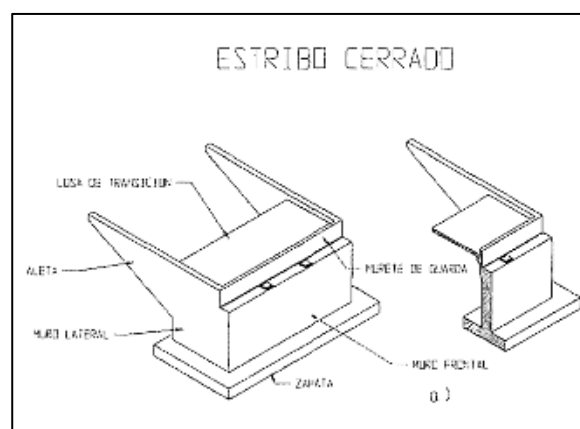


Ilustración 6: Diagrama de un estribo cerrado

Fuente: (Manterola Armisén, 2006)

2.4.1.2. *Estribos Abiertos.*

El fin del estribo abierto es reducir al máximo el empuje horizontal del suelo en el estribo cuando está situado en un terraplén.

Se produce un empuje sobre la viga cabezal y aletas, existiendo también fuerzas horizontales derivadas de las acciones y deformaciones del dintel. Por lo tanto, estas consecuencias deben ser transmitidas a la cimentación.

Para minimizar los esfuerzos de la viga cabezal, se coloca un diafragma. (Manterola Armisen, 2006).

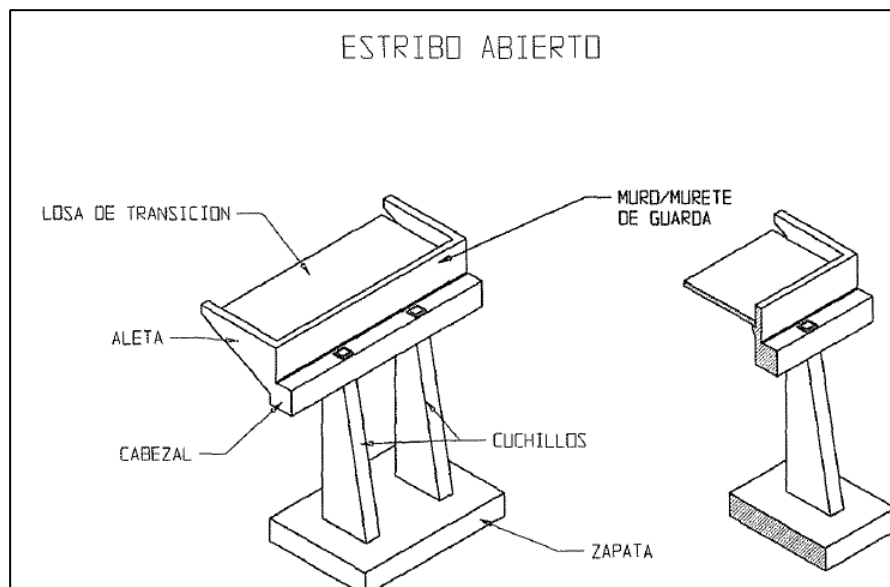


Ilustración 7: Diagrama de un estribo abierto

Fuente: (Manterola Armisen, 2006)

2.4.1.3. Aletas.

Para controlar el terraplén en la parte frontal y lateral se utilizan aletas, tal como se ve en la Fig. 8.a las aletas generan una longitud necesaria para que el derrame del talud no suponga un peligro, siendo en este caso una ménsula vertical que soporta su propio peso y una ménsula horizontal, solicitud más importante, que resiste el empuje horizontal del terreno. (Manterola Armisen, 2006).

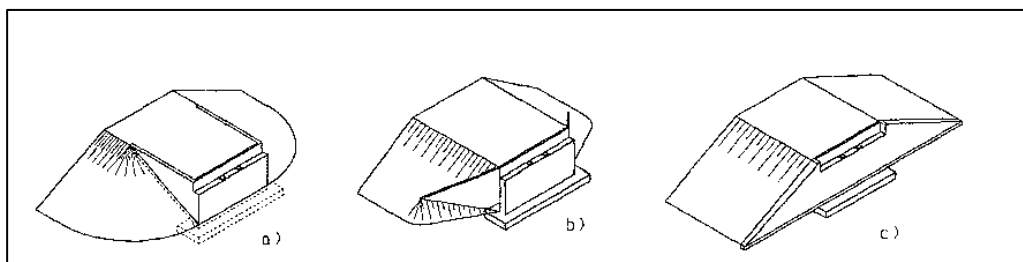


Ilustración 8: Tipos de aletas

Fuente: (Manterola Armisen, 2006)

Rotando las aletas formamos la forma de la Fig. 8 c. siguiendo el perfil del terraplén, pendientes 1.5:1 ó 2:1, ya que las aletas transversales el estribo no están sometido a flexión vertical en su plano y a flexión horizontal.

Entre la disposición a) y las c) existe una disposición intermedia la b) que no es muy común, en la cual la aleta es oblicua al estribo y es elevada ligeramente. (Manterola Armisen, 2006).

2.5. Marco Conceptual

Puente

Estructura requerida para atravesar un accidente geográfico o un obstáculo natural o artificial, cuya luz libre es mayor o igual a 6.00 m (20 ft) y forma parte o constituyen un tramo de una carretera o está localizado sobre o por

debajo de ella. (MTC, 2018).

Colapso

Cambio significativo o pérdida abrupta de la capacidad de carga por gravedad del puente que puede ser provocado por la falla de corte en los pilares, por lo que se debe proporcionar acero transversal requerido para proporcionar una resistencia adecuada al corte. (MTC, 2018).

Sismo

Movimiento repentino y turbulento que surge del interior de la Tierra, llegando a la superficie en forma de energía debido al movimiento de placas tectónicas. (MTC, 2018).

Nivel de desempeño

Estado o condición de daño limitante descrito por el daño físico en el puente, seguridad de vida, situación operacional y completamente operacional después del sismo. (AASHTO, 2017).

Análisis no lineal

Es un análisis que considera un comportamiento más real de los materiales y la estructura en general en cuanto a esfuerzos, deformaciones, tensiones y desplazamientos para que después en la etapa de diseño se garantice los altos niveles de calidad, rendimiento y seguridad. (Chancha Calderón, 2018).

Vida útil

Es el tiempo esperado en que el puente debe funcionar en condiciones óptimas de servicio. (Barroso & Carrillo, 2020)

Rótula plástica

Es un modelo que representa las rotaciones inelásticas que presentan las secciones dúctiles, consiste en concentrar toda la rotación inelástica en un punto del elemento que incursiona en el rango no lineal. (Cabrera Venegas, 2018).

Miembro dúctil

Un miembro estructural que puede deformarse inelásticamente durante varios ciclos sin una degradación significativa de la resistencia bajo las demandas generadas por los riesgos sísmicos de diseño. (CALTRANS, 2019).

Espectro de diseño

Es la representación gráfica que muestra las respuestas máximas (aceleración, velocidad o desplazamiento) de los puentes idealizados como osciladores de un solo grado de libertad frente a los períodos de los puentes. (CALTRANS, 2019).

Curva de capacidad

Es un método aplicado para un procedimiento de análisis estático no lineal que calcula desplazamientos inelásticos con parámetros de ductilidad. (Barroso & Carrillo, 2020)

Curvatura

Una medida de deformación por flexión definida como el recíproco del radio de curvatura del eje neutro de un elemento en flexión. La curvatura se calcula matemáticamente como la relación entre la deformación extrema de la fibra y la distancia desde el eje neutro hasta la fibra extrema. (Barroso & Carrillo, 2020).

Desplazamiento de demanda

Es el desplazamiento máximo generado en la subestructura del puente, debido a una fuerza sísmica en la dirección transversal o longitudinal del puente. (Barroso & Carrillo, 2020)

Desplazamiento de capacidad

Es el desplazamiento máximo que puede deformarse la subestructura del puente. (Barroso & Carrillo, 2020)

2.6. Interacción Suelo-Pilote

Las características de rigidez que determinan los momentos flectores que las cargas sísmicas producen en los pilotes con base en un enfoque pseudoestático,

asume que los momentos son inducidos únicamente por las cargas laterales que surgen de los efectos inerciales que ejercen en la estructura del puente.

Pero, cabe recalcar que se forman cargas inerciales por la interacción entre los pilotes y el terreno que se mueve libremente durante un sismo, y que el mismo movimiento del terreno puede afectar los momentos flectores. Las cargas laterales controlan los momentos flectores debido a que estas generan los efectos inerciales sobre la estructura del puente. A profundidades mayores a $10d$, cuando la rigidez del suelo aumenta progresivamente con respecto a la rigidez de los pilotes, el pilote se deformará de manera similar al terreno, y los momentos flectores del pilote se vuelven una función de las curvaturas generadas por los desplazamientos libres del terreno. (AASHTO, 2017).

2.6.1. Interacción Estática Suelo-Estructura.

La cimentación transmite cargas al suelo deformándolo en una o más capas según sus propiedades, las cuales varían por factores tales como la relación de volumen de vacío por la consolidación del suelo, distancia entre partículas, desplazamiento vs tiempo y en conjunto con las otras capas del suelo provocando ulteriormente asentamientos en la superficie entre cimentación y suelo.

Los materiales en los que la cimentación se sustenta, deben tener la capacidad suficiente de no deformarse demasiado. (Canales Galeana, 2005).

La deformación del suelo en el que se apoya una estructura, producto de la rigidez de sus cimientos es conocido como interacción suelo-estructura. Dicha interacción se subdivide en dos condiciones: la interacción estática entre el suelo y la estructura y la

interacción dinámica suelo-estructura.

2.6.1.1. *Importancia de la Interacción Suelo-Estructura.*

Cada material usado en estructuras, siendo estos variados, tienen comportamientos y características diferentes. Pero, al trabajar entre sí, dichos comportamientos del sistema compuesto están influenciados por la respuesta de cada material, la interacción y el acoplamiento entre ellos. Los movimientos relativos entre materiales están directamente relacionados con el mecanismo de deformación en juntas, los cuáles pueden ser traslación, rotación e interpenetración.

Antaño, los sistemas suelo-estructura se analizaban y diseñaban asumiendo que no existían desplazamientos entre ellos, es decir, que estaban monolíticamente entre sí. Esto no es así, puesto que los movimientos relativos se producen causando efectos significativos en el comportamiento general del sistema. Entonces, es indispensable definir e incluir el comportamiento de las interfases en el análisis y diseño de las fundaciones. (Desai & Zaman, 2014).

2.6.2. *Interacción Dinámica Suelo-Estructura.*

A la hora de ejecutar proyectos estructurales, la forma en la que se mueve el terreno durante un sismo aporta información interesante ya que predecir como se comportará el terreno es complicado y solo podemos anticipar ciertas características asociadas a dicho movimiento.

Cuando se produce un sismo, varios fenómenos cinemáticos e inerciales entre una estructura y el terreno se generan: esto es la interacción dinámica suelo-estructura. Modifica las características dinámicas que nuestra estructura presentaría con una

base indeformable, tal como el periodo fundamental.

El alargamiento del periodo fundamental de vibración, el incremento o reducción de la demanda de la ductilidad estructural, son resultado de la interacción inercial debido a la inercia y elasticidad del sistema acoplado. También, la translación de la cimentación disminuye y se produce un efecto de torsión, a la vez que filtra los componentes de alta frecuencia de la excitación sísmica, por la rigidez y geometría de la cimentación. (Jaramillo, 2004).

Se encuentran presentes en la respuesta sísmica de los cuales la interacción dinámica suelo-estructura está ligada: peso total de la estructura, rigidez lateral, altura, relación de esbeltez, tipo de cimentación, forma, tamaño y rigidez de la cimentación, propiedades dinámicas, profundidad y estratigrafía del suelo, etc. (Miranda, 1995).

Es condición sine qua non el uso de programas computarizados para realizar cálculos de magnitud y precisión como requiere este tipo de estudio, ya que es necesario definir la ecuación constitutiva acorde a las condiciones reales del terreno objeto de estudio. El fin de la interacción suelo-estructura es un análisis estructural tomando en cuenta el efecto de la rigidez del terreno de cimentación.

Si se analiza la respuesta sísmica de estructuras suele asumirse que la base de la estructura como empotrado, pero esto sería caer en un error, puesto que en realidad el suelo de fundación es flexible. Esta hipótesis solo es válida si la estructura se encuentra cimentada en roca sólida o cuando la rigidez relativa del terreno de cimentación comparada con la superestructura sea alta. (Arefi, 2008).

La respuesta del suelo sobre la estructura puede dividirse en dos:

- Primero, modifica el movimiento de campo libre en la base de la estructura, es decir, la interacción cinemática.
- Segundo, la deformación de la respuesta dinámica de la estructura en el suelo de apoyo, denominado como interacción inercial.
- La combinación de ambos efectos se conoce como interacción suelo-estructura. (Arefi, 2008).

2.6.2.1. Interacción Cinemática.

La interacción cinemática tiene como objetivo determinar los movimientos en la superficie del terreno, o la profundidad específica en el suelo para un movimiento. Cuando no existe una estructura y se produce un movimiento en el terreno, se le conoce como movimiento de campo libre, salvo que la cimentación esté impregnada en dicho terreno se producirá la interacción cinemática.

La no linealidad es una característica inherente del comportamiento del suelo, por lo tanto, deben ser implementados en los casos que dichos suelos tengan altos niveles de deformación.

El punto de partida de un sismo de ser conocido o al menos las formas en las que inciden las ondas. (Jia, 2018).

2.6.2.2. Interacción Inercial.

Con la interacción inercial es posible calcular la respuesta dinámica de una

estructura modelada en una cimentación a través de funciones de impedancia, en la que se ocurren excitaciones sísmicas, a raíz de un análisis de interacción cinemática. (Desai & Zaman, 2014).

2.6.3. Efectos Asociados a la Interacción Dinámica Suelo-Estructura.

A continuación, se presentan los aspectos en los que la interacción dinámica se hacen remarcables, ya que la respuesta de la estructura puede variar respecto al que se ha estimado cuando no se ha tenido en cuenta la interacción suelo-estructura:

- Cuando hay presencia de suelos blandos y compresibles en la distribución de los esfuerzos y deformaciones bajo las cimentaciones.
- El periodo del sistema suelo-estructura incrementa considerando la flexibilidad del suelo respecto a la evaluación de periodos de vibración considerando un modelo de base empotrada.
- Considerando la disipación adicional de energía debido a los amortiguamientos del material y geométrico del suelo, aumenta el amortiguamiento.
- Incrementa el desplazamiento lateral de la estructura ante sismos, por rotación de la base debido al efecto del cabeceo.
- El movimiento sísmico produce variación del cortante. (Hernández Columbié, 2018).

2.6.4. Interacción Dinámica Suelo – Estructura en Puentes de Carretera.

Para el análisis de la interacción dinámica en puentes de carretera, es necesario comprender tanto el comportamiento sísmico de las pilas y los pilotes, como los requisitos para el diseño de cimentaciones profundas. La cimentación profunda tiene que ser diseñada teniendo en mente que en el momento de producirse un sismo serán sometidos a las fuerzas transmitidas por la superestructura, determinadas según los esfuerzos de cálculo y las fuerzas cinemáticas, resultado de la deformación que les impone el terreno que lo rodea. (AASHTO, 2017).

2.6.5. Curvas de Transferencia de Carga Lateral.

Se aplican una fuerza cortante, un momento y una carga axial a un pilote bidimensional y los efectos de torsión y flexión son despreciados. En la figura se muestra un pilote de sección variable. La relación presión-deflexión en la gráfica de transferencia de carga del pilote no es lineal. El modelo de análisis es el más usado actualmente es el de las curvas $p - y$ (p = presión, y = deflexión) y su metodología incorpora los efectos de la carga axial y la variación de la rigidez del pilote con la

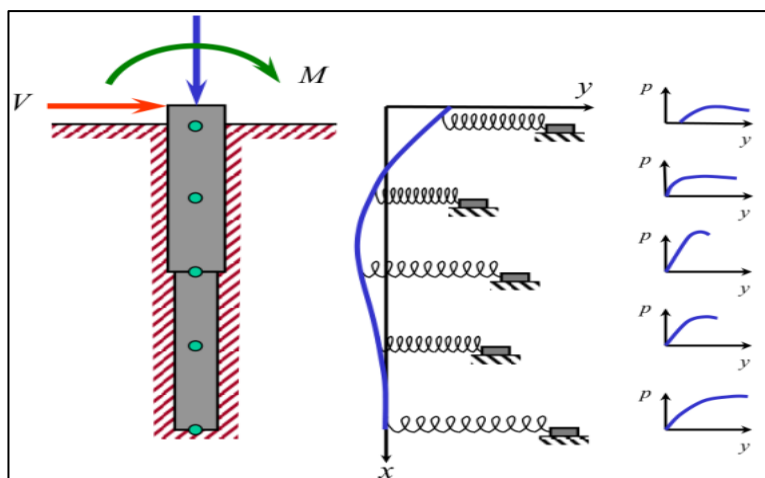


Ilustración 9: Pilote soportando carga lateral y diagrama de curvas $p-y$

Fuente: (Isenhower, Tower, & Vasquez, 2017)

profundidad. Pretende definir unas series de curvas $p - y$ a lo largo del pilote, con el fin de cumplir con la compatibilidad entre la carga y la deflexión correspondientes a cada punto. (Reese, A Program for the Analysis of a Piles Subject to Vertical and Lateral Loading, 2019).

2.6.5.1. Curvas $p-y$.

El objeto de las curvas $p - y$ es modelar el comportamiento no lineal en la interacción suelo-pilote, las cuales son resultado de las propiedades del suelo, sección del pilote, profundidad de cálculo y tipo de carga. (González Carballo, 2012).

En la interacción suelo-pilote frente a cargas laterales existe un aumento de los esfuerzos en la pared del pilote producto de la respuesta del suelo después de aplicar la carga.

Los modelos de análisis de estas curvas se han llevado a cabo con cargas y escala reales en un pilote sometido a cargas laterales.

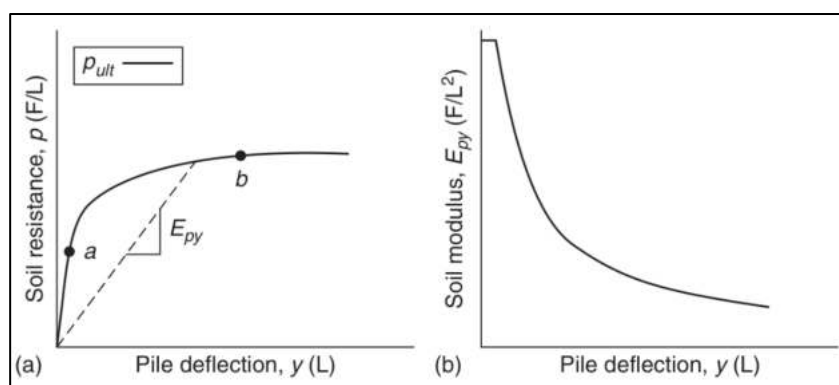


Ilustración 10: Curvas $p-y$ y módulo de reacción vs deflexión lateral

Fuente: (Reese, Tower Wang, Arrellaga, Hendrix, & Vásquez, 2022)

2.6.5.2. *Curvas de transferencia de Carga Axial.*

Es necesario comparar mediante ensayos de carga el diseño geotécnico de un pilote sometido a carga axial. Éstos tienen como finalidad determinar la capacidad de soporte de un pilote en determinado sitio y la relación carga-asentamiento; si el pilote esta correctamente ejecutado, es posible obtener las curvas de transferencia de carga vertical del pilote. (Viggiani, Mandolini, & Russo, 2014).

Como se puede observar la Ilustración 11, la curva de transferencia de carga axial por punta (q - z) típica, representa la carga en la que los asentamientos incrementan de manera lineal, a su vez que no se produce un incremento significativo de la carga soportada.

Al aumentar la carga hasta un valor Q_p , llega un momento en el que el punto “P” se sitúa en una zona que se establece como asiento total. La pendiente de la curva indica la relación de transferencia de carga desde la fundación hacia el suelo colindante a ésta.

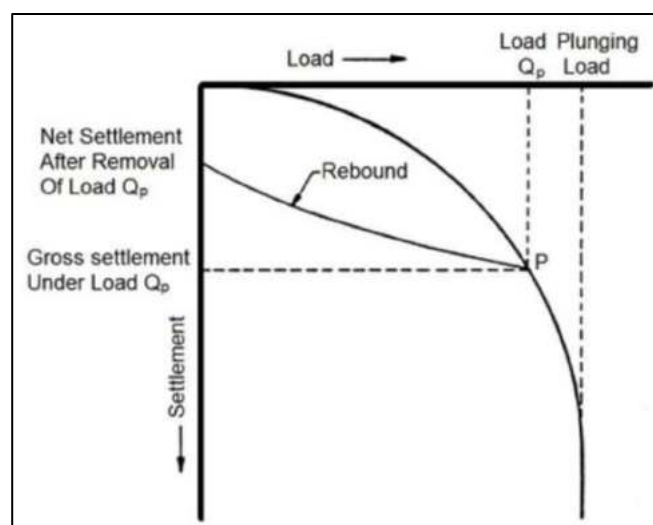


Ilustración 11: Curva de Carga vs Asentamiento

Fuente: (Reese, Tower Wang, Arrellaga, Hendrix, & Vásquez, 2022)

Se determina la capacidad de soporte del pilote mediante pruebas de carga axial, las cuales sirven para contrastar el diseño geotécnico por carga axial, así como obtener la relación carga-asentamiento; si el pilote está correctamente instrumentado, es posible obtener las curvas de transferencia de carga vertical del pilote.

Idealizando curvas de distribución de cargas se puede tener una idea de cómo funciona el mecanismo de transferencia de carga de una cimentación profunda. (Viggiani, Mandolini, & Russo, 2014).

2.7. Comportamiento de los Materiales Estructurales

2.7.1. Comportamiento Elástico.

Es un comportamiento elástico-lineal de los materiales constituyentes que verifica la ley de Hooke, en el cual el material se deforma de manera directamente proporcional a una fuerza aplicada y, al ser retirada dicha fuerza, vuelve a su forma original. (Alicante, 2018).

2.7.2. Comportamiento Inelástico.

El comportamiento no lineal se acoge a las diferentes leyes constitutivas de los materiales (concreto y acero) o elementos estructurales. El hormigón, material heterogéneo que basa su comportamiento de deformación en función de las características de los agregados y cemento, cargas, edad del concreto, grado de confinamiento, condiciones ambientales, etc.; esto supone que no existen modelos físicos para la cuantización de la influencia, por lo que el comportamiento se extraerá de ensayos de laboratorio. (AASHTO, 2017).

2.8. Rótulas Plásticas

Las rótulas plásticas son mecanismos que se encuentran en zonas concretas de elementos estructurales. Éstos permiten la disipación de energía y la redistribución de acciones, dando como resultado un mejor comportamiento a una estructura. Las rótulas plásticas se presentan cuando el momento al que es sometida una sección supera el momento plástico. (García Núñez & Bairán García, 2018).

2.8.1. Diagrama Momento-Curvatura.

El diagrama momento-curvatura, como se puede observar en la Ilustración 12, presenta información acerca del comportamiento de la sección analizada a lo largo del tiempo que esta es sometida a carga. Por otro lado, es posible conocer la ductilidad de la sección, formación de rótulas plásticas y reestructuración de momentos.

El diagrama va a depender netamente de la geometría y el tipo de material del que está fabricada la sección y las leyes que constituyen a la forma de dicha sección. (García Núñez & Bairán García, 2018).

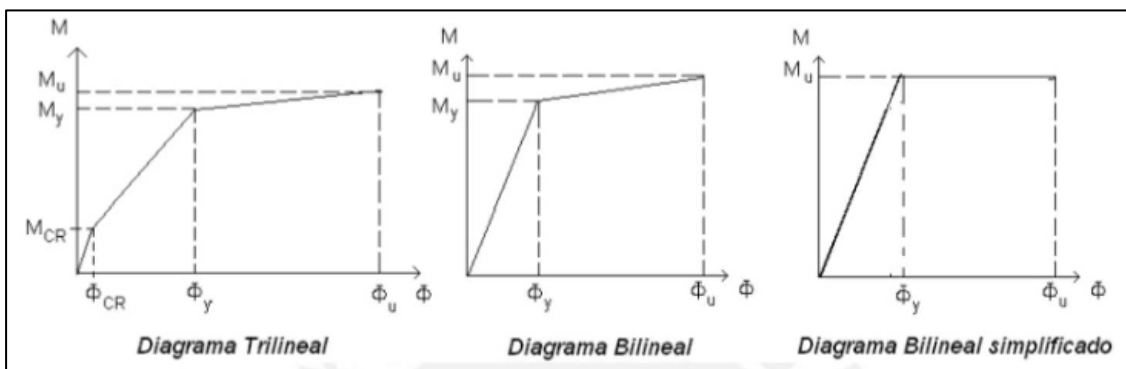


Ilustración 12: Diagramas de Momento-Curvatura

Fuente: (Ottazzi, 2004)

2.9. Análisis Estático no Lineal (Pushover)

El análisis estático consiste en aumentar gradualmente la magnitud de la carga del puente para conocer de qué forma fallará la estructura de éste, evaluando la resistencia general, por medio del cortante basal, el rendimiento y el desplazamiento máximo. También es necesario evaluar la capacidad de ductilidad de la estructura del puente.

El análisis de empuje basa su veracidad en las propiedades que se esperan de los materiales de los miembros modelados. El análisis de empuje explora la secuencia de estados límite, formación de rótulas plásticas y la redistribución de fuerzas en toda la estructura, con el incremento de las cargas laterales o la demanda de desplazamiento. (Aviran, Mackie, & Stojadinović, 2008).

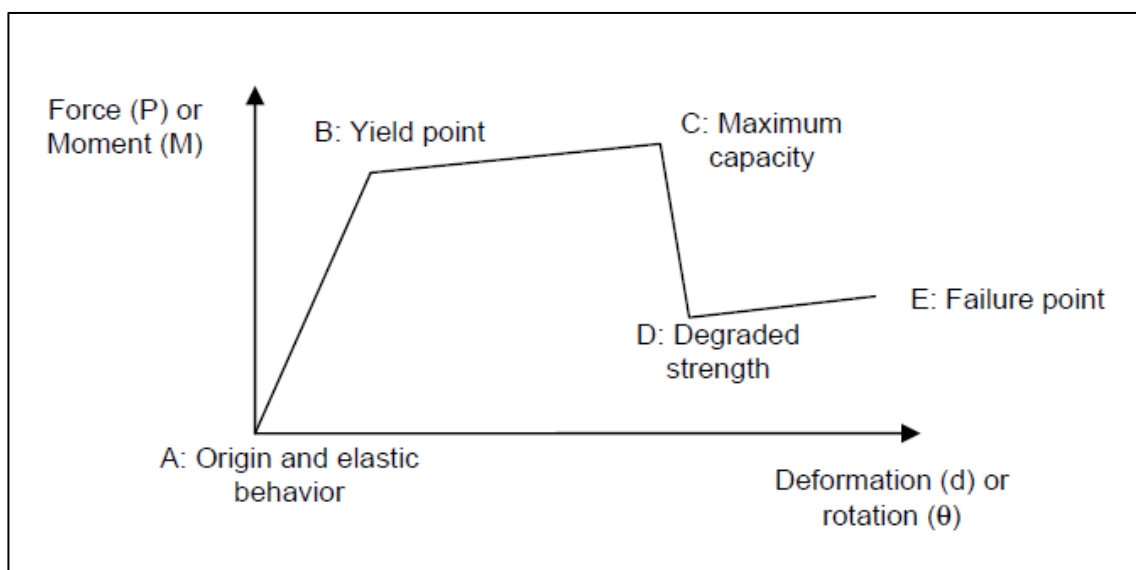


Ilustración 13: Diagrama Fuerza-Deformación de rótulas plásticas

Fuente: (Aviran, Mackie, & Stojadinović, 2008)

La finalidad del análisis Pushover es la evaluación del comportamiento que se espera de una estructura aporticada con relación conjunta entre la estimación de

demanda de resistencia y deformación en el diseño resistente a cargas horizontales, es decir, sismos, contrastando las demandas en función de la capacidad del nivel de rendimiento de interés.

Se diseña para la conjunción de la demanda sísmica y la capacidad de carga lateral de la estructura, donde se generan articulaciones plásticas en la base y la coronación de las columnas que disipan la energía producida por el sismo. Por lo tanto, se trata de buscar la intersección del espectro de respuesta elástica del emplazamiento y la curva de capacidad. (Jurado, 2022).

2.9.1. Aplicabilidad del Análisis Pushover en Puentes.

El método PUSHOVER es aplicable en puentes con las siguientes características:

Alta rigidez de la superestructura vs columnas. En este tipo de puentes, la superestructura controla la respuesta. Un claro ejemplo son los viaductos que no tienen gran longitud y no se apoyan en columnas muy cortas.

La rigidez de las columnas no cambia drásticamente, como es el caso de puentes en los que las columnas de longitud poco variable, por lo tanto, cada columna tiende a moverse en su modo natural. Con una superestructura poco rígida para controlar la respuesta general, esta está considerablemente influenciada por los modos superiores. (Isakovic & Fischinger, 2014)

CAPÍTULO III

Marco Metodológico

3.1. Tipo de Estudio

La metodología por emplearse en el presente trabajo tiene enfoque cuantitativo, por medio de modelación en software, cálculos, uso de normativa de construcción y diseño, referencias bibliográficas se llegará a los resultados que arrojarán conclusiones para así emitir un juicio y recomendaciones.

Llevando a cabo el modelo antes mencionado de cada una de las partes del puente que será sometido a análisis, siendo piedra angular el programa CSI Bridge, así como APILE, GROUP parte de la metodología de este trabajo. Debido al uso de estos programas será posible generar un análisis cualitativo a la hora de emitir juicios y recomendaciones:

- APILE es para determinar las curvas t-z y q-z
- GROUP es para determinar las curvas p-y

Ambos programas son para llegar a la conclusión de cuál sería la interacción suelo-pilote-estructura. CSI Bridge se usa con la finalidad de modelar el puente considerando dimensiones y cargas que actúan en éste, para poder llevar a cabo el análisis de su comportamiento, donde se obtienen resultados no tan favorables por lo que se tiene que modelar los estribos los cuales añaden cargas de empuje.

3.2. Estudio Geotécnico

Es necesario conocer las características del suelo en el que se va a levantar cualquier tipo de estructura con el fin de alcanzar un diseño seguro y óptimo estructural y económicamente hablando. Por lo tanto, el estudio geotécnico es condición sine qua non para conocer de qué estratos está compuesto dicho suelo y a qué características se enfrenta el ingeniero encargado del diseño.

3.2.1. Unidades Geotécnicas.

Los estratos del suelo están conformados por unidades geotécnicas, las cuales tienen características comunes entre sí, permitiendo así agruparlas y poder determinar su espesor a través de cualidades como su consistencia, compacidad o materiales que componen a dichas unidades.

3.2.2. Parámetros Geotécnicos.

3.2.2.1. Relación de Vacíos “e”.

Relación existente entre volumen de vacíos y sólidos en un suelo con masa proporcionada. (Das, 2012).

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1)$$

3.2.2.2. Gravedad Específica.

La gravedad específica, densidad de un material en relación al agua, presenta los siguientes valores según el tipo de suelo: (Das, 2012).

Tipo de Suelo	Gs
Arena de Cuarzo	2.64 - 2.66
Limo	2.67 - 2.73
Arcilla	2.70 - 2.90
Marga	2.60 - 2.75
Loess	2.65 - 2.73
Turba	1.30 - 1.90

Tabla 4: Tabla de Gravedad específica según el tipo de suelo

Fuente: (Das, 2012)

3.2.2.3. Peso Unitario del Suelo “ γ_o ” .

Es el producto de la densidad por la fuerza gravitatoria. El valor depende del contenido de humedad entre otros aspectos. El valor de este parámetro varía según el estado en el que se encuentre ya sea seco, húmedo o saturado. (Das, 2012).

$$\gamma_{Sat} = \frac{W_{sat}}{V_t} = \frac{Gs\gamma_w + e\gamma_w}{1+e} \quad (2)$$

3.2.3. Correlaciones con N60 en Suelos Cohesivos.

A partir del ensayo SPT N60 se obtienen los datos necesarios, específicamente dos, útiles para encontrar la resistencia e identificar unidades geométricas de las cuales se compone el suelo. A continuación, se observa la tabla con los distintos grados de resistencia a la compresión y consistencia según el ensayo SPT realizado. (Das, 2012).

Número de Penetración Standard	Grado de Consistencia	Resistencia a la compresión simple qu (KN/m ²)
< 2	Muy Blanda	< 25
2-8	Blanda	25-80
8-15	Media	80-150
15-30	Firme	150-400
> 30	Muy Firme	>400

Tabla 5: Resistencia a la compresión simple según el número de Penetración Standard

Fuente: (Das, 2012)

3.2.4. Correlaciones con N₆₀ en Suelos Granulares.

Para hallar el ángulo de fricción interna del suelo “ ϕ ”, se utilizará la expresión siguiente propuesta: (Peck, Hanson, & Thornburn, 1974).

$$\phi(\text{grados}) = 27.1 + 0.3N_{60} - 0.0054(N_{60})^2 \quad (3)$$

3.3. Efectos Sísmicos

3.3.1. Generalidades.

Este tipo de estructuras como son los puentes deben estructurarse, en circunstancia bajas de colapso, sin descartar las posibilidades de que puedan tolerar daños considerables e suspensión de la estructura cuando ocurran estos eventos sísmicos en la zona de influencia los cuales estos tengan un porcentaje considerable del (7%) de probabilidades de ser excedidos en 75 años, semejante con un aproximado a mil años de periodo de retorno promedio y se podría solicitar una sustitución parcial o total del puente. (AASHTO, 2017).

3.3.2. Curvas de Peligro Sísmico.

Para la modelación de estructuras de tipo especial, esenciales, puentes, obras portuarias y otro tipo de edificaciones, se requiere emplear varios niveles de peligros sísmicos con el objetivo de corroborar la realización de diversos niveles de desempeño.

Con respecto a los varios niveles de aceleración sísmica teniendo presente en roca, se presentan las curvas de peligro sísmico perteneciente a cada capital de provincia, en donde se considera la aceleración sísmica del suelo (PGA) con un nivel de posibilidad anual de excedencia.

El periodo de retorno es el inverso de la tasa anual de excedencia. Considerando que en cada una de las figuras presenta las curvas de aceleraciones máximas espectrales para periodo puntuales de 0.1, 0.2, 0.5 y 1.0 segundos. (NEC, 2015).

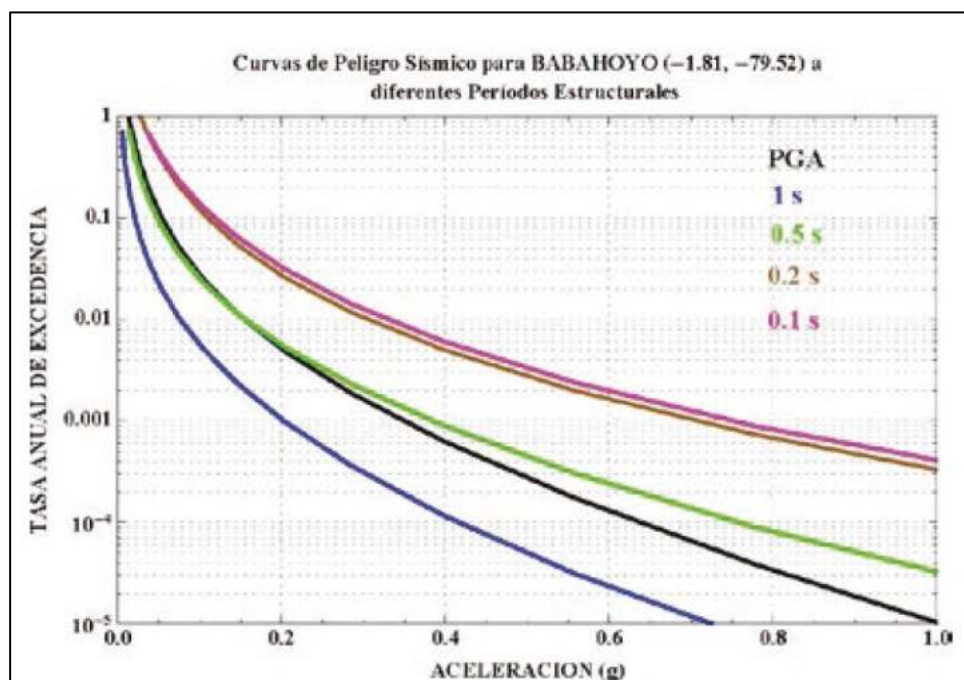


Ilustración 14: Curva de Peligro Sísmico de Babahoyo

Fuente: (NEC, 2015)

Lo que la NEC, 2015 especifica es tener presente lo siguiente:

Z	Aceleración máxima en roca (PGA) esperada en el sismo de diseño.
n	Razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
Tr	Período de retorno de un sismo.
TA	Tasa anual de excedencia

Tabla 6: Factores para curvas de peligro sísmico

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.3. Zonificación Sísmica

Para estructuras sismorresistentes, se requiere del valor Z, donde lo plantea el mapa de zonificación sísmica según la región en que se vaya a trabajar.

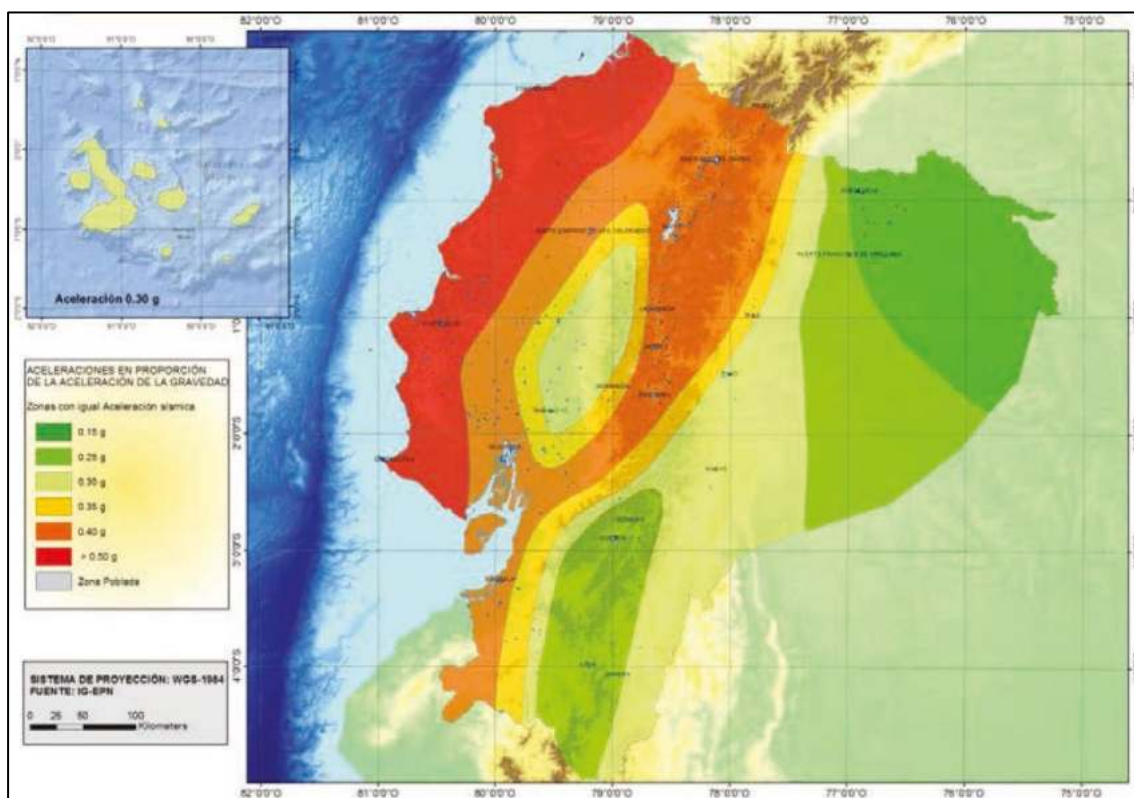


Ilustración 15: Mapa de zonas sísmicas en Ecuador

Fuente: (NEC, 2015)

El territorio ecuatoriano es considerado una zona de alta actividad sísmica, por estas razones se presentan los siguientes valores para el factor de Z.

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.50
Característica del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 7: Valores de factor Z según la zona de estudio

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.4. Tipos de Perfiles de Suelos.

La presente norma ecuatoriana de la construcción presente seis tipos de perfiles, donde los aspectos a considerar representan a los 30 metros superiores del perfil con los diversos estratos que se va a considerar para trabajar.

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 60 \text{ m/s}$
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ $N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfil de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > N \geq 15$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfiles que cumplan el criterio de velocidad de la onda de cortante o perfiles que contengan un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180 \text{ m/s}$ $IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 - Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3\text{m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)	
	F3 - Arcilla de muy alta plasticidad ($H > 7.5\text{m}$ con índice de Plasticidad $IP > 75$)	
	F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 30\text{m}$)	
	F5 - Suelos con contraste de impedancia a ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidad de ondas de corte	
	F6 - Rellenos colocados sin control ingenieril	

Tabla 8: Clasificación de varios tipos de suelo

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.5. Coeficientes de Perfil de Suelo.

3.3.5.1. Coeficiente de Amplificación del Suelo de Periodo Corto (F_a).

La siguiente tabla especificará los coeficientes de F_a , según el tipo de perfil y zona sísmica, donde este factor amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Tabla 9: Valores de amplificación de periodo corto

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.5.2. Coeficiente de Amplificación del Espectro Elástico (F_d).

La siguiente tabla especificará los coeficientes de F_d , según el tipo de perfil y zona sísmica, donde este factor amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en estrato firme.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Tabla 10: Valores de amplificación del espectro elástico

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.5.3. Coeficiente del Comportamiento no Lineal (F_s).

La siguiente tabla especificará los coeficientes de F_s , según el tipo de perfil y zona sísmica, donde este factor toma en cuenta el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del periodo de sitio que estará en función de la intensidad, contenido de frecuencia de excitación sísmica y de los desplazamientos del terreno, para espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	0.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Tabla 11: Valores del comportamiento no lineal

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.6. Factores de Modificación de Respuesta.

Con respecto a los factores de modificación de respuesta, R , que se plantean en esta sección, las fuerzas sísmicas de estructuración para subestructuras y las conexiones de partes de la estructura, planteadas en la Tabla 12, se debe encontrar parcializando las fuerzas que den como resultado del análisis elástico de la estructura por el factor de modificación de respuesta correcto, R , como se presentan a continuación.

Subestructura	Categoría según la importancia		
	Crítica	Esencial	Otras
Pilares tipo muro - dimensión mayor	1.5	1.5	2.0
Pórticos de concreto reforzado			
* Pilas verticales únicamente	1.5	2.0	3.0
* Con pilas inclinadas	1.5	1.5	2.0
Columnas solas	1.5	2.0	3.0
Pórticos de acero o pilotes compuestos de acero y hormigón			
* Pilas verticales únicamente	1.5	3.5	5.0
* Con pilas inclinadas	1.5	2.0	3.0
Pórticos con múltiple columnas	1.5	3.5	5.0

Tabla 12: Valores de modificación de respuestas para subestructuras

Fuente: (AASHTO, 2017)

Conexión	Todas las categorías Operacionales
Superestructura a estribo	0.8
Juntas de expansión en un vano de la superestructura	0.8
Columnas, pilares, o pilas a la viga o a la superestructura	1.0
Columnas o pilares a la cimentación	1.0

Tabla 13: Valores de modificación de respuestas para conexiones

Fuente: (AASHTO, 2017)

Considerando todos estos factores y parámetros se podrá elaborar la gráfica del espectro elástico horizontal de diseño de aceleraciones.

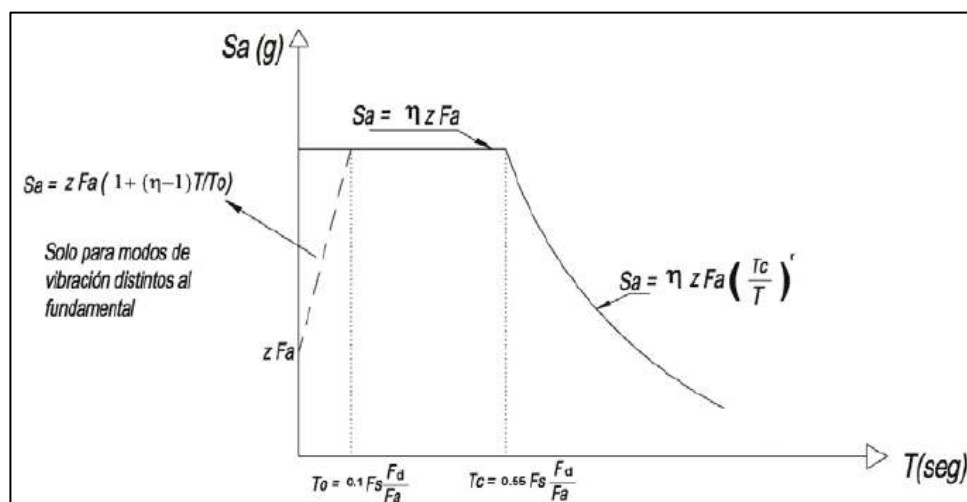


Tabla 14: Modelo de espectro elástico horizontal de diseño

Fuente: (NEC, 2015)

3.3.7. Presión del Suelo.

A continuación, se presentará todas las consideraciones que se tomó en cuenta para la carga horizontal del sismo que se utilizaron para el cálculo de los empujes de los estribos. (AASHTO, 2017).

Formulas			
Cálculo del coeficiente de empuje activo	$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'_f}{2} \right)$	ϕ	
		ángulo efectivo de fricción interna	
Presión constante horizontal debido a LS	$\Delta p = k * \gamma_s * h_{eq}$	γ_s	h_{eq}
		Peso específico	Altura equivalente de suelo para carga vehicular
Componente horizontal SC por carga viva	$LS_X = H * \Delta p$	H	
		Altura de total de estribo (H)	
Presión lateral del suelo	$p = k * \gamma_s * z$	z	
		Altura de total de estribo (H)	
Presión lateral del terreno	$EH = \frac{1}{2} * H * p$	H	
		Altura de total de estribo (H)	
Coeficiente de aceleración horizontal	$k_{ho} = F_{pga} * PGA$	F_{pga}	PGA
		Factor de sitio	coeficiente de aceleración pico del terreno en roca
Condición	$\phi \geq i + \theta_{MO} = i + \arctan \left(\frac{k_h}{1 - k_v} \right)$	ϕ	i
		ángulo de fricción del relleno del muro	ángulo de la inclinación del relleno
		k_h	k_v
		coeficiente de aceleración horizontal	coeficiente de aceleración vertical
Fuerza dinámica lateral debida a la presión de tierras	$P_{AE} = 0.5 * \gamma * h^2 * K_{AE}$	h	γ_s
		altura total del muro	Peso específico
Acción sísmica del terreno	$EQ_{terr} = P_{AE} - EH$		
Fuerza inercial del estribo	$P_{IR} = k_h * (W_W + W_S)$	W_W	W_S
		Peso del estribo	Peso de suelo
Coeficiente de presión sísmica activa del suelo	$K_{AE} = \frac{\cos^2(\theta - \theta_{MO} - \beta)}{\cos(\theta_{MO}) * \cos^2(\beta) * \cos(\delta + \beta + \theta_{MO}) * \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\theta + \delta) * \sin(\theta - \theta_{MO} - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta_{MO}) * \cos(i - \beta)}} \right)^2}$	K_{AE}	δ
		coeficiente de presión sísmica activa del suelo	ángulo de fricción en la interfase muro-relleno
		β	
		inclinación del muro respecto de la vertical	

Tabla 15: Parámetros para el cálculo de cargas horizontales en estribos

Fuente: (AASHTO, 2017)

3.3.8. Estados Límites.

Los estados límites que plantea la AASHTO son combinaciones que afectan a la estructura que, en caso de ser superadas, se puede determinar que no cumple lo solicitado para lo que se ha proyectado.

Estas cargas son mayoradas en caso de solicitar lo más crítico, esto con el objetivo de obtener un comportamiento diferente.

Estados Límites	Descripción
Resistencia I	Combinación básica de cargas relacionadas con el uso normal de vehículos en un puente sin presencia de viento
Resistencia II	Combinación de carga relacionada al uso del puente por vehículos de diseño especial especificados por el propietario, vehículos con permiso de evaluación, o ambos sin viento
Resistencia III	Combinación de carga relacionada con el puente expuesto a la velocidad del viento de diseño en la ubicación del puente
Resistencia IV	Combinación de carga que enfatiza los efectos de la fuerza de carga muerta en la superestructura del puente
Resistencia V	Combinación de carga relacionada con el uso vehicular normal del puente con viento de 80 mph de velocidad
Evento Extremo I	Combinación de carga incluyendo terremoto. el factor de carga para la carga viva, se determinará sobre una base específica del proyecto
Evento Extremo II	Combinación de carga relacionada con carga de hielo, colisión de embarcaciones y vehículos, inundaciones de control y ciertos eventos hidráulicos con una carga viva reducida diferente a la que forma parte de la carga de colisión vehicular, CT. Los casos de control de inundaciones no se combinarán con BL, CV, CT o IC
Servicio I	Combinación de carga relacionada con el uso operativo normal del puente con un viento de 70 mph y todas las cargas tomadas en sus valores normales. También relacionado con el control de deflexión en estructuras metálicas enterradas, placa de revestimiento de túneles y tubería termoplástica, para controlar el ancho de fisura en estructuras de concreto reforzado y para el análisis transversal relacionado con la tensión en vigas dovelas de concreto. Esta combinación de carga también debe usarse para la investigación de la estabilidad de taludes.
Servicio II	Combinación de carga destinada a controlar la fluencia de las estructuras de acero y el deslizamiento de conexiones críticas de deslizamiento debido a la carga viva del vehículo. Para Estructuras con condiciones únicas de carga de camiones, como caminos de acceso a puertos o sitios industriales que podrían conducir a un número desproporcionado de cargas permitidas, se debe considerar un aumento específico del sitio en el factor de carga.
Servicio III	Combinación de cargas para el análisis longitudinal relacionado con la tracción en superestructuras de hormigón pretensado con el objetivo de controlar la fisuración y con la tracción principal en el alma de las vigas de hormigón.
Servicio IV	Combinación de carga relativa únicamente a la tracción en columnas de hormigón pretensado con el objetivo de controlar la fisuración.
Fatiga I	Combinación de carga de fatiga y fractura relacionada con la vida de fatiga inducida por carga infinita.
Fatiga II	Combinación de carga de fatiga y fractura relacionada con la vida de fatiga inducida por carga finita.

Tabla 16: Estados Límite

Fuente: (AASHTO, 2017)

3.4. Metodología Interacción Suelo-Pilote

3.4.1. Metodología Interacción Suelo-Pilote Mediante Ensoft Apile.

Hincar pilotes altera el suelo y crea deformaciones intensas cerca de los pilotes. La fricción lateral y resistencia de la punta de los suelos varía con muchos factores (tipo de suelo, procedimiento de hincado, el material del pilote, la geometría, etc.). Por esto, es necesario ejecutar métodos prácticos de diseño y poner especial atención en factores más importantes.

APILE utiliza dos códigos para suministrar la información sobre el comportamiento de pilotes hincados bajo carga axial.

Por un lado, existen cuatro metodologías basadas en procesos para calcular la capacidad axial de pilotes en función de la profundidad:

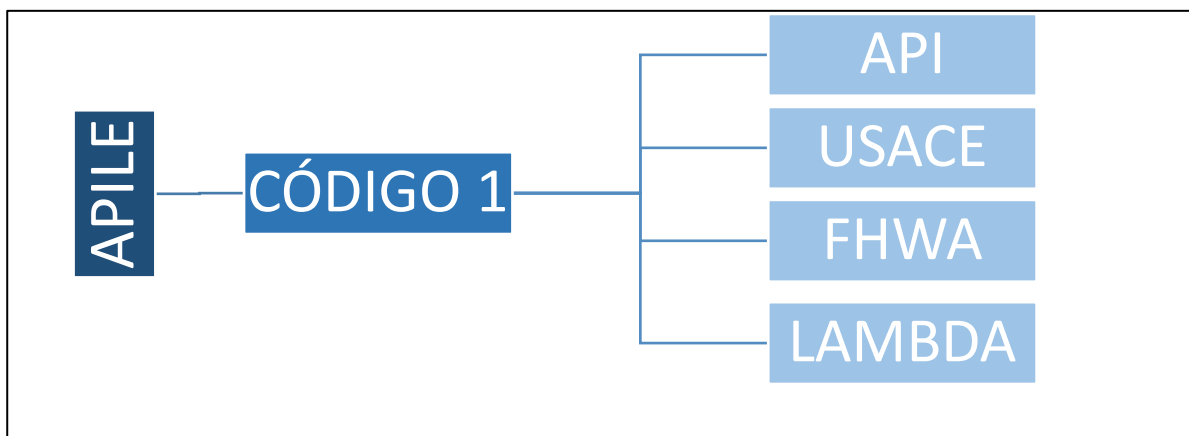


Tabla 17: Metodologías de código 1 APILE para cálculo de capacidad axial en pilotes.

Fuente: (Tower Wang, Arrellaga, & Vásquez, 2018)

Por otro lado, el uso de curvas t-z para el cálculo de la carga vs asentamiento del pilote en la mayor longitud especificada.

APILE realiza un análisis de un pilote hincado bajo carga axial y calcula el asentamiento de la parte superior y la base del pilote hincado según una carga axial, así como la distribución de la carga axial a lo largo del pilote. (Tower Wang, Arrellaga, & Vásquez, 2018).

- Transferencia de carga unitaria en la resistencia lateral y el apoyo en los extremos y la capacidad de un pilote para soporte de carga axial.
- Desarrollo de una conexión en un pilote abierto a medida que se introduce en el suelo.
- Estimación de carga vs asentamiento a raíz de los cálculos de transferencia de carga unitaria
- En función de la profundidad, es posible el desarrollo de gráficas y curvas de distribución de carga, asentamiento y capacidad de carga.
- Posibilidad de cálculo de capacidad del pilote bajo tensión considerando efectos de flotabilidad cuando sea necesario.

3.4.2. Metodología Interacción Suelo-Pilote mediante Ensoft Group.

GROUP se concibe como una herramienta para analizar el los efectos de las cargas axiales y/o laterales aplicadas a pilotes, calculando la distribución de cargas (momentos verticales, laterales y de volteo.

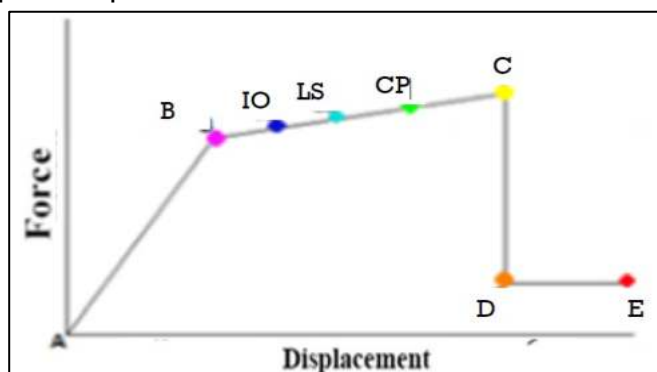
Así mismo, es posible analizar el comportamiento de un grupo de pilotes mediante

un modelado bidimensional en un diseño simétrico, como para modelos tridimensionales para un grupo de pilotes que no asimétricamente establecidos.

GROUP genera la respuesta no lineal del suelo, mediante curvas t-z y q-w para carga axial y curvas p-y para carga lateral, asignando cada una de las pilas la respuesta no lineal que satisfará las ecuaciones de equilibrio. Así se consigue la compatibilidad entre el movimiento del pilote y la respuesta del suelo. (Reese, Tower Wang, Arrellaga, Hendrix, & Vásquez, 2022).

3.5. Metodología Pushover

El análisis Estático no lineal, o Pushover, como fue mencionado en el capítulo anterior, requiere de ciertos parámetros para poder ser llevado a cabo: Dimensión de los elementos que componen la estructura, cantidad de acero y refuerzo tanto longitudinal como transversal. También la localización de las rótulas plásticas, valores de cargas laterales que representan al sismo. Finalmente, conocer las propiedades de los materiales que componen a la estructura.



SIGLA	NIVEL DE DAÑO
B	Esfuerzo de fluencia de la sección
IO	Nivel de ocupación limitada
LS	Nivel de protección a la vida
CP	Prevención de colapso
C	Rango de seguridad limitada
D	Estabilidad estructural
E	Colapso

Ilustración 16: Diagrama Fuerza-Desplazamiento según el nivel de desempeño.

Fuente: (Lindao, 2020)

Como se observa en la ilustración 16, se detalla el criterio para la gráfica fuerza-deformación para las articulaciones empleadas en el Pushover, siendo A, B, C, D, y E los puntos empleados para definir el comportamiento de deflexión de la articulación e incluyendo tres puntos, IO, LS y CP, que son usados para definir los criterios de aceptación para las articulaciones. (FEMA 440, 2005).

3.5.1. Rótulas Plásticas según ASCE 41-13.

Según la ASCE/SEI 41-13, existen dos maneras de fundamentar de una manera pragmática la gráfica de momento-rotación (no lineal). Para precisar, dos tablas que se elaboraron experimental y teóricamente.

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
						Performance Level		
			a	b	c	IO	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure ^b								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	V						
ρ_{bal}		$b_w d \sqrt{f'_c}$						
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03

NOTE: f'_c in lb/in.² (MPa) units.

^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

^bWhere more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

^c"C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at $\leq d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_h) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.

^d V is the design shear force from NSP or NDP.

Tabla 18: Parámetros no lineales para vigas de hormigón armado.

Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014)

En la tabla 18 anterior, el ASCE/SEI 41-13 facilita datos para las rótulas plásticas en vigas por medio de datos iniciales y así hallar la ubicación de éstas para, mediante interpolación, obtener los valores de a , b , c , para revisar los criterios de aceptación del nivel de desempeño.

El primer paso es determinar la relación entre diferencia de cuantía negativa menos cuantía positiva entre la cuantía balance. Seguidamente, se comprueba si el elemento es apto, separando confinamiento y resistencia según el refuerzo transversal.

Finalmente, se calcula la relación del cortante de diseño, suma del cortante gravitacional y el hiperestático entre la multiplicación de las dimensiones de la viga por la raíz cuadrada de la resistencia del hormigón, todo en unidades del sistema inglés, obteniendo una relación entre 3 y 6. (ASCE/SEI 41-13, 2014).

3.5.2. Rótulas Plásticas en Columnas.

Conociendo la carga ultima podemos encontrar las rótulas plásticas en una columna, siendo condición que la ductilidad no debe exceder el 10%.

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
			a	b		Performance Level		
						IO	LS	CP
Condition i. ^b								
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	$= 0.002$		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	$= 0.002$		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii. ^b								
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$						
≤ 0.1	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii. ^b								
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height ^c								
$\frac{P}{A_g f_c'}$	$\rho = \frac{A_s}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE: f_c' is in lb/in.² (MPa) units.
^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.
^bRefer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.
^cWhere $P > 0.7A_g f_c'$, the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at $\leq d/3$ and the strength provided by the hoops (V_h) is at least 3/4 of the design shear. Axial load P should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.
^d V is the design shear force from NSP or NDP.

Tabla 19: Parámetros no lineales para columnas de Hormigón Armado

Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014)

3.5.3. Análisis y Verificación de la Curva de Capacidad.

Obtenida la gráfica de la relación del cortante basal y el desplazamiento (Pushover), como se observa en la Ilustración 17, es necesario contrastar valores del cortante basal para poder verificar los resultados del análisis de empuje, el número y la capacidad de las rótulas plásticas estimadas que se formarán en las direcciones de carga, la altura libre de las curvas de la columna, la capacidad de ductilidad calculada. Adicionalmente, se requiere también verificar que la capacidad producida por el puente satisfaga la demanda sísmica. Es obligatorio rediseñar la subestructura si no

se cumplen las condiciones mencionadas anteriormente. (Isakovic & Fischinger, 2014).

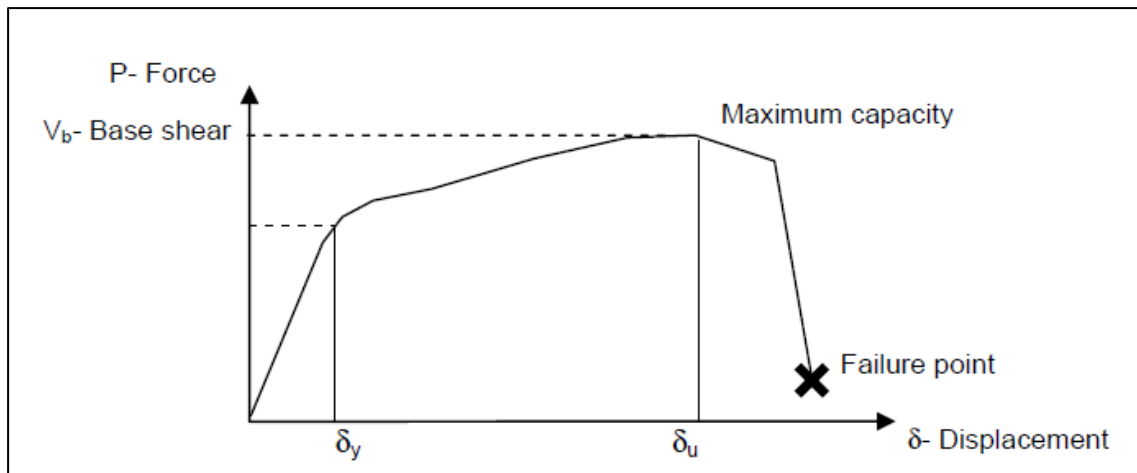


Ilustración 17: Curva de capacidad de análisis pushover

Fuente: (Isakovic & Fischinger, 2014)

CAPÍTULO IV

Desarrollo del Tema

4.1. Descripción del Proyecto

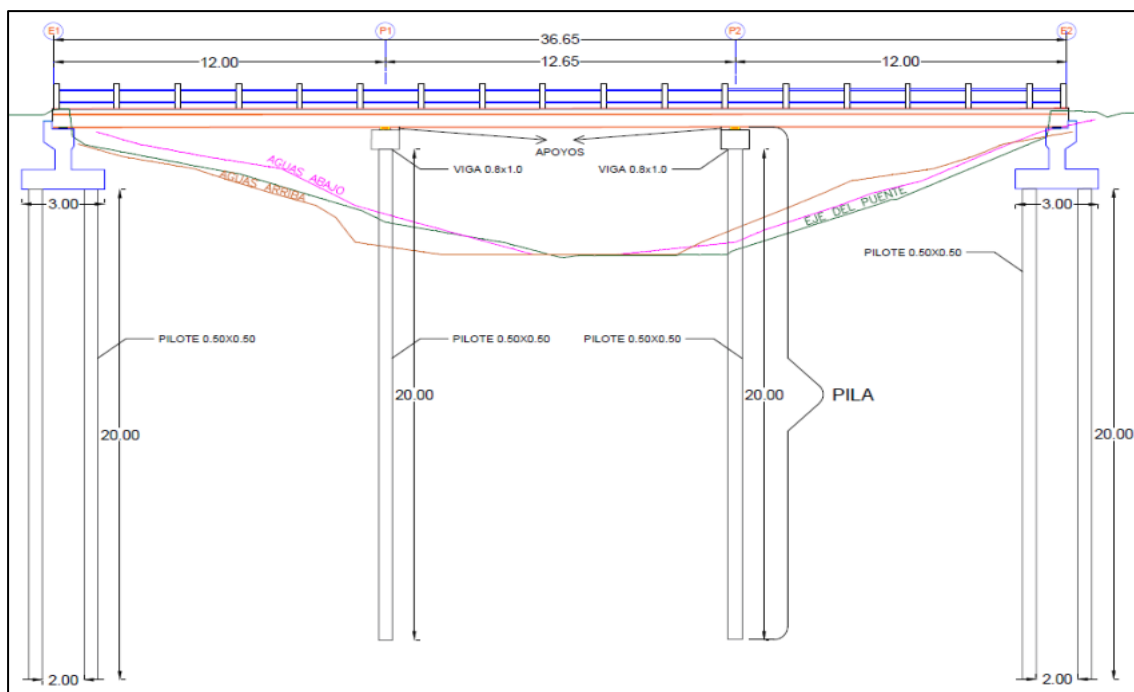


Ilustración 18: Perfil longitudinal del Puente sobre el estero Ñauza

Elaborado por: Luis Espinoza - Andrés Ortega

El puente se encuentra en el km 43 de la vía E25 Duran – Jujan, que consta con una longitud de 36.65 m, la cual está dividida en tres tramos.

La superestructura estará soportada de cimentaciones con pilotes con la finalidad de consolidar la seguridad de la estructura, esto ocurre en casos cuando hay estratos débiles, los pilotes actúan para transmitir todas cargas que soportarán al lecho de roca o un estrato fuerte.

La superestructura constará por dos carriles y la subestructura que está formada por el sistema pilote-viga cabezal está compuesta por cinco pilotes de sección cuadrada de 0.5 m x 0.5 m y con una longitud de 20 m.

Las dimensiones de la viga cabezal son de 0.8 m x 1.0 m y con una longitud de 10 m. Estos elementos serán fundidos con un hormigón armado que cumple con una resistencia de $f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$, finalmente cada pilote tendrá una separación de 2 m.

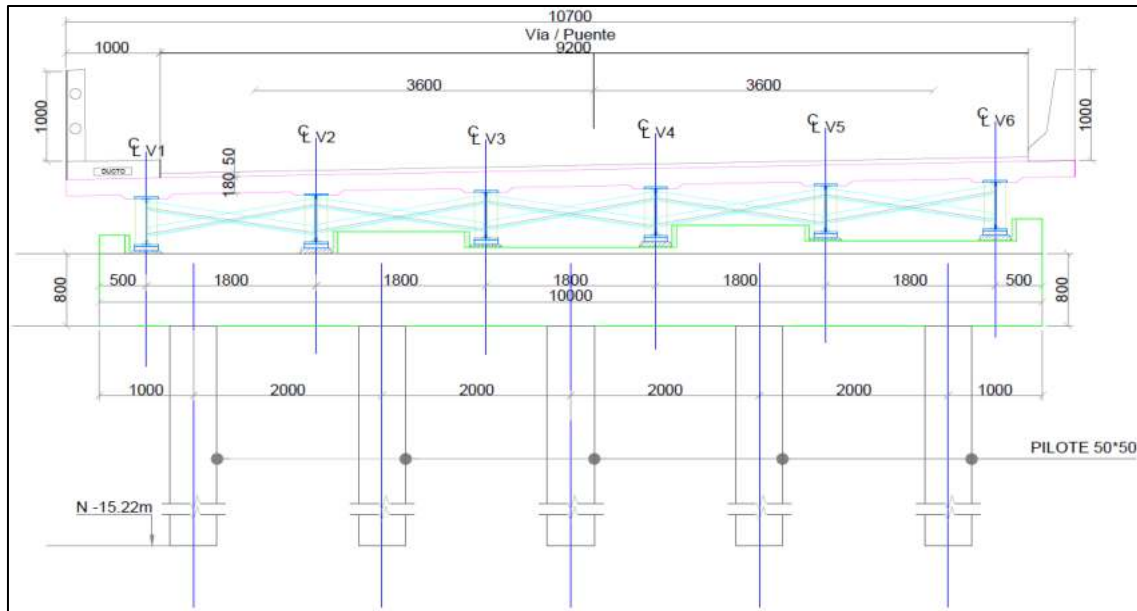


Ilustración 19: Sección transversal del puente sobre el estero Ñauza

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

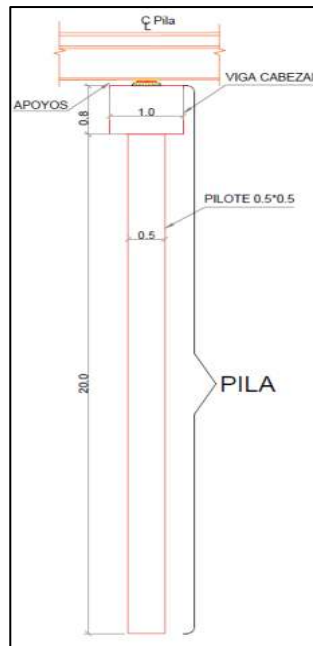


Ilustración 20: Sección transversal de la pila del puente sobre el estero Ñauza

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el acero de estos elementos se usará un A706 ($f_y = 4200 \text{ Kg/cm}^2$ y una $F_u = 6300 \text{ Kg/cm}^2$).

4.2. Estudio Geotécnico

Los datos geotécnicos son extraídos del estudio de suelos llevado a cabo en función de las perforaciones in situ, documentación fue proporcionada por el Ing. Pablo Lindao, tutor de titulación.

Se definieron los parámetros de diseño con las perforaciones dadas en base a correlaciones.

4.2.1. Determinación de la Unidades Geotécnicas.

Para determinar las unidades geotécnicas del estudio de suelo, partirá de las características mecánicas y físicas, en sí de las unidades geológicas (geología del

terreno), para luego mediante ensayos o correlaciones se podrá determinar todos estos parámetros de resistencia que se los utilizará en los softwares (Apile y Group).

Mediante el ensayo SPT se pudo obtener los diferentes estratos de la zona de estudio, donde se obtuvo 8 unidades geotécnicas que corresponden a arcillas, arenas, un estrato de suelo con alto contenido orgánico y como estrato firme un limo.

4.2.2. Obtención de Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos.

Para obtener estos parámetros se utilizaron criterios, ecuaciones y correlaciones que están especificadas el capítulo 3 en la sección del marco metodológico.

Los resultados de estas dos perforaciones y obtención de estos parámetros, se indicarán en el Anexo 1.

Con todos los datos recopilados del estudio de suelo, se logró obtener los parámetros de diseño para cada unidad geotécnica que se obtuvo de las perforaciones.

Se presentará la siguiente tabla donde se especifica cada unidad geotécnica con su respectivo parámetro de diseño.

Unidad Geotécnica	SUSC	Descripción	γ_{hum} (T/m ³)	v	E (T/m ²)	C (T/m ²)	ϕ (deg)	Vs (m/s)
UG1	CV	Capa Vegetal	1.95	-	-	-	-	-
UG2	CL	Arcilla de consistencia Muy blanda	2.02	-	195.48	1.97	-	156.71
UG3	SC-1	Arena Arcillosa Media Suelta	2.28	0.35	718.94	-	24.30	175.44
UG4	CH-1	Arcilla de consistencia media blanda	1.76	-	168.86	4.07	-	188.50
UG5	SO	Suelo con alto contenido orgánico	1.50	-	53.56	1.46	-	-
UG6	SC-2	Arena Arcillosa Densa	2.18	0.35	5917.22	-	34.42	316.04
UG7	SC-3	Arena Arcillosa Media Densa	2.00	0.35	2100.00	-	30.62	232.38
UG8	CH-2	Arcilla de consistencia blanda	1.80	-	62.93	2.98	-	-
UG9	MH	Limo de consistencia firme	1.91	-	1995.27	19.95	-	317.67

Tabla 20: Parámetros de diseño

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

El procedimiento de todos los cálculos para obtener estos parámetros de diseño será presentado en el Anexo 3.

4.2.3. Estratigrafía de la Zona de Estudio.

Ya que se ha obtenido todos los parámetros necesarios se logró modelar la estratigrafía del terreno, con el objetivo de proyectar las pilas para verificar exactamente con qué tipo de suelo se encuentra en contacto.

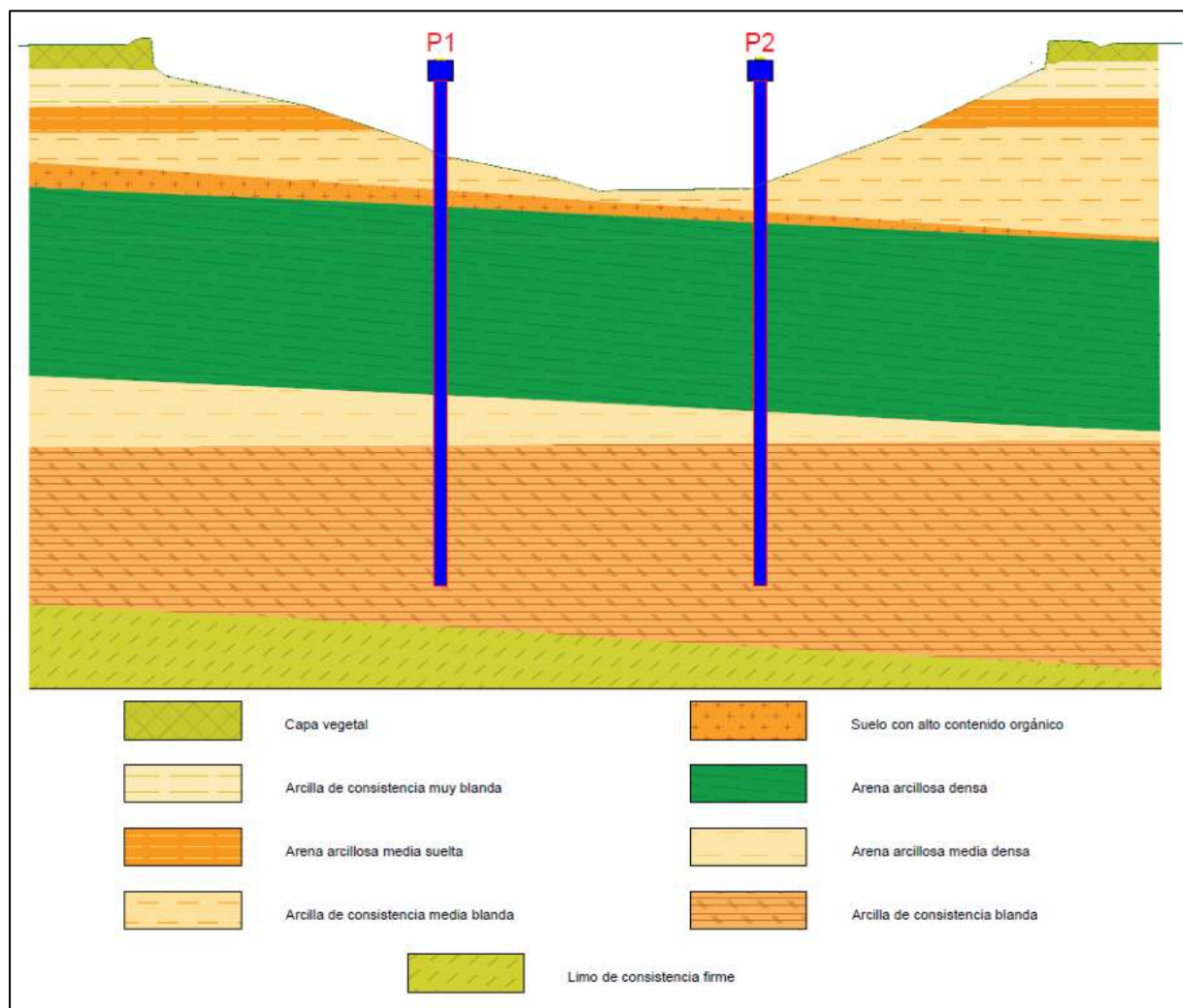


Ilustración 21: Estratigrafía de la zona de estudio

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con la estratigrafía del terreno y la ubicación de los pilotes podemos verificar el espesor de cada unidad geotécnica para cada pilote que es diferente, por esta razón se determinan las curvas de transferencias de carga para cada pila.

4.3. Espectro de Diseño

La Norma Ecuatoriana de la Construcción plantea curvas de peligro sísmico para cada capital de su respectiva provincia, el Puente Ñauza se encuentra en la provincia del Guayas, la cual tocaría trabajar con las curvas de Guayaquil, pero a pesar de eso, se decidió trabajar con las curvas de Babahoyo por razones de localización ya que Jujan colinda con la provincia de Babahoyo.

La NEC especifica en la sección 3.1.2, que para estructuras de puentes se requiere utilizar las curvas de peligro sísmico para poder obtener la aceleración sísmica del terreno según la zona de estudio. (NEC, 2015).

Considerando lo anterior y lo que plantea la (AASHTO, 2017) ,para este tipo de estructuras se debe diseñar con un periodo de retorno $T_R = 1000$ años con la finalidad de que tenga baja probabilidad de colapso.

Teniendo presente todas estas especificaciones se podrá obtener el valor de “Z” como se indica en la siguiente Ilustración.

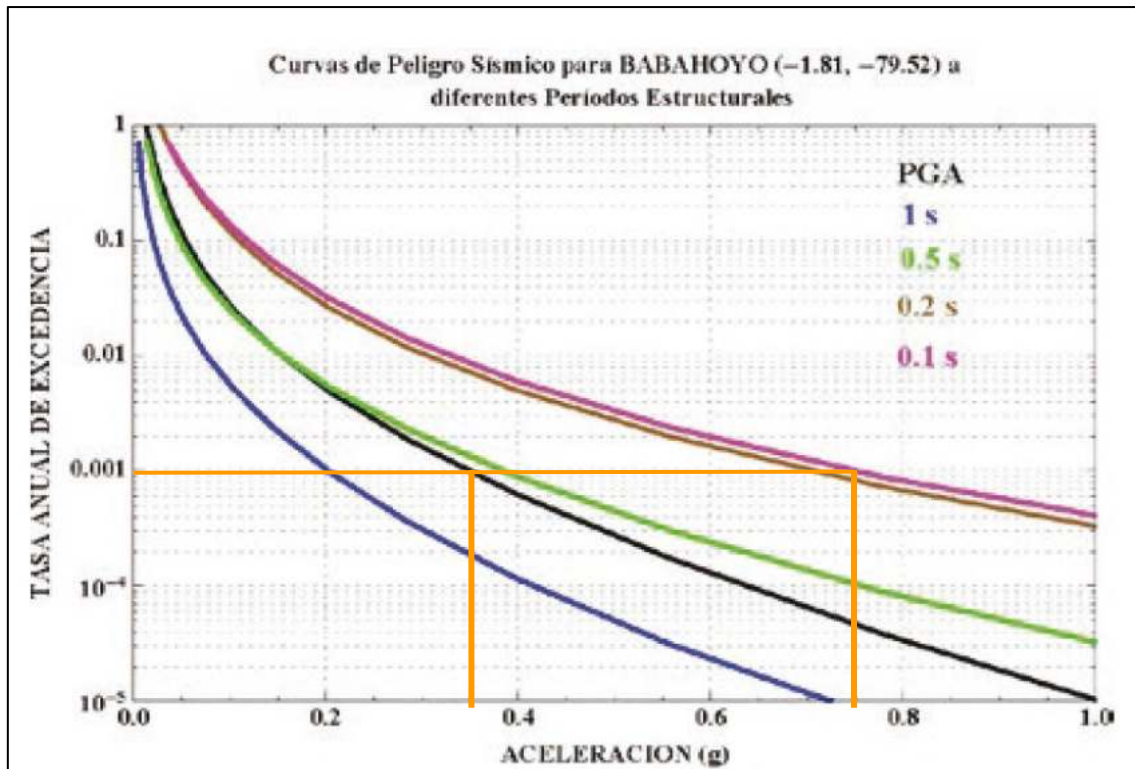


Ilustración 22: Curvas de peligro sísmico para Babahoyo

Fuente: (NEC, 2015)

Teniendo presente los siguientes factores se puede obtener los siguientes valores de la gráfica para el diseño del espectro: (NEC, 2015).

Z	Aceleración máxima en roca (PGA) esperada en el sismo de diseño
η	Razon entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1$ s) y el PGA para el periodo de retorno seleccionado
T_r	Período de retorno (1000 años)
T_A	Tasa anual de excedencia

Tabla 21: Factores de diseño

Fuente: (NEC, 2015)

$$T_A = \frac{1}{T_r} = \frac{1}{1000} = 0.001$$

Para	z	T=0.1s
0.001	0.35	0.75

$$\eta = \frac{0.1s}{z} = \frac{0.75}{0.35} = 2.14$$

Tabla 22: Valores de curvas de peligro sísmico

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Zona Sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.3	0.35	0.4	≥ 0.50
Característica del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy Alta

Tabla 23: Valores de factor Z según la zona de estudio

Fuente: (NEC, 2015)

Tipo de Perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 60 \text{ m/s}$
C	Perfil de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$ $N \geq 50$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfil de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$ $50 > N \geq 15$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfiles que cumplan el criterio de velocidad de la onda de cortante o perfiles que contengan un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$V_s < 180 \text{ m/s}$ $IP > 20$ $W \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	F1 - Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.	
	F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ($H > 3\text{m}$ para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas)	
	F3 - Arcilla de muy alta plasticidad ($H > 7.5\text{m}$ con índice de Plasticidad $IP > 75$)	
	F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ($H > 30\text{m}$)	
	F5 - Suelos con contraste de impedancia a ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidad de ondas de corte	
	F6 - Rellenos colocados sin control ingenieril	

Tabla 24: Clasificación de varios tipos de suelo

Fuente: (NEC, 2015)

4.3.1. Coeficiente de Amplificación del Suelo de Periodo Corto (Fa).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1	0.85

Tabla 25: Valores de amplificación de periodo corto

Fuente: (NEC, 2015)

4.3.2. Coeficiente de Amplificación del Espectro Elástico (Fd).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5

Tabla 26: Valores de amplificación del espectro elástico

Fuente: (NEC, 2015)

4.3.3. Coeficiente del Comportamiento no Lineal (Fs).

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	0.19	1.28	1.4
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2

Tabla 27: Valores del comportamiento no lineal

Fuente: (NEC, 2015)

Subestructura	Categoría según la importancia		
	Crítica	Esencial	Otras
Pilares tipo muro - dimensión mayor	1.5	1.5	2.0
Pórticos de concreto reforzado			
* Pilas verticales unicamente	1.5	2.0	3.0
* Con pilas inclinadas	1.5	1.5	2.0
Columnas solas	1.5	2.0	3.0
Pórticos de acero o pilotes compuestos de acero y hormigon			
* Pilas verticales unicamente	1.5	3.5	5.0
* Con pilas inclinadas	1.5	2.0	3.0
Pórticos con multiple columnas	1.5	3.5	5.0

Tabla 28: Valores del comportamiento no lineal

Fuente: (AASHTO, 2017)

Conexión	Todas las categorías Operacionales
Superestructura a estribo	0.8
Juntas de expansión en un vano de la superestructura	0.8
Columnas, pilares, o pilas a la viga o a la superestructura	1.0
Columnas o pilares a la cimentación	1.0

Tabla 28: Valores de modificación para conexiones

Fuente: (AASHTO, 2017)

4.4. Cargas Horizontales en Estribos

Debido a que el Puente Ñauza en la modelación se consideró los estribos, se debe de tomar en cuenta el cálculo de las fuerzas horizontales que actúan sobre dicho elemento, como se presenta en las siguientes Ilustraciones.

A continuación, se trabajará con las siguiente propiedades y datos del estribo tipo pantalla.

Ángulo de fricción interna (ϕ)	30	Grados
Peso específico (γ_t)	1.8	Ton/m ³
PGA (NEC)	0.35	#
F_{pga} (AASHTO)	1.05	#
Altura equivalente de suelo para carga vehicular (h_{eq})	0.95	m
Altura de total de estribo (H)	2.777	m
Coefficiente de aceleración vertical (k_v)	0	#
Ángulo de la inclinación del relleno (i)	0	Grados
Ángulo de inclinación del muro con la vertical (β)	0	Grados
Ángulo de fricción interfase muro-relleno (δ)	0	Grados

Tabla 29: Propiedades del terreno

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Pantalla (h)	1.977	m
Altura de cimentación (D)	0.8	m

Tabla 30: Geometría del muro tipo pantalla

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el cálculo de las fuerzas horizontales que actúan sobre el muro tipo pantalla del estribo se considera algunos factores que plantea la norma (AASHTO, 2017), como se indica en la siguiente Ilustración.

$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'_f}{2} \right)$	
k_a	
0.333	Grados

Tabla 31: Cálculo del coeficiente de empuje activo (K_a)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$\Delta p = k \gamma_s h_{eq} \times 10^{-9}$	
Δp	
0.57	ton/m ²

Tabla 32: Presión constante horizontal debido a LS (Δp)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$LS_x = H * \Delta p$	
LS_x	
1.576	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
1.39	m

Tabla 33: Componente horizontal SC por carga viva

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$p = k \gamma_s z$	
p	
1.666	ton/m ²

Tabla 34: Presión lateral

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$EH = \frac{1}{2} * H * p$	
2.314	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
0.926	m

Tabla 35: Presión lateral del terreno (EH)**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$k_{ho} = F_{pga} PGA$	
k_{ho}	
0.3675	#
$k_h = 0.5 k_{ho}$	
k_h	
0.184	#

Tabla 36: Coeficiente de aceleración horizontal**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se debe tener presente la siguiente condición:

$\phi \geq i + \theta_{MO} = i + \arctan\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$		
i + θ_{MO}		
30	>	10.41
CUMPLE		
<i>Coeficiente de presión sísmica activa del suelo (K_{AE})</i>		
$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_{MO} - \beta)}{\cos \theta_{MO} \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta_{MO})} \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta_{MO} - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta_{MO}) \cos(i - \beta)}} \right]^{-2}$		
K_{AE}		
0.460		#

Tabla 37: Condición**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$P_{AE} = 0.5 \gamma h^2 K_{AE}$	
P_{AE}	
3.19	ton/m

Tabla 38: Fuerza dinámica lateral debida a la presión de tierras

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$EQ_{terr} = P_{AE} - EH$	
EQ_{terr}	
0.88	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
1.3885	m

Tabla 39: Acción sísmica del terreno

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Previo al cálculo de la Fuerza Inercial (P_{IR}), se calculará el peso del muro tipo pantalla y peso propio del terreno.

Figura	Área (m2)	Long. Total (m)	Y.c (ton/m³)	DC (ton/m)	Ya (m)	Ya*DC (ton-m)
1	0.0921	11.61	2.4	2.566	2.624	6.73
2	0.5995			16.704	2.198	36.72
3	0.06			1.672	1.825	3.05
4	0.675			18.808	1.363	25.64
5	0.015			0.418	1.85	0.77
6	0.0075			0.209	1.725	0.36
7	2.4			66.874	0.4	26.75
W _{total} Estribo				107.251	TOTAL	100.02
$y = \frac{\sum Ya * DC}{\sum DC}$				y		
				0.933		m

Tabla 40: Peso propio del estribo

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Figura	Área (m2)	Long. Total (m)	Y.c (ton/m³)	EV (ton/m)	Ya (m)	Ya*DC (ton-m)
8	0.84	1	1.8	1.51	1.850	2.80
9	0.06			0.11	1.725	0.19
10	0.33			0.59	1.213	0.72
11	0.36			0.65	0.95	0.62
12	0.03			0.06	2.844	0.17
12.1	0.01			0.01	2.825	0.03
13	0.34			0.62	2.356	1.46
14	0.06			0.11	1.825	0.20
15	0.06			0.11	1.725	0.19
16	0.30			0.54	1.213	0.65
W _{total} Terreno				4.31	TOTAL	7.01
$y = \frac{\sum Ya * EV}{\sum DC}$				y		
				1.629		m

Tabla 41: Peso propio del terreno

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$W_{E-T} = W_{estribo} + W_{terreno}$	
111.6	ton/m

Tabla 42: Peso (estribo + terreno tributario)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$P_{IR} = k_h (W_w + W_s)$	
20.50	ton/m
C.G (ESTRIBO Y TERRENO) Ya	
$Ya = \frac{(\sum DC * y) + (\sum EV * y)}{W_{E-T}}$	
Ya	
0.96	m

Tabla 43: Fuerza inercial del estribo

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$Comb. \#1 = P_{AE} + 0.5P_{IR}$		
$Comb. \#2 = 0.5P_{AE} > EH + P_{IR}$		
Comb. #1	13.44	ton/m
Comb. #2	22.09	
Comb. Max	22.09	

Tabla 44: Efecto combinado

Fuente: (AASHTO, 2017)

EQ_{terr}	0.877	ton/m
0.5*P_{IR}	10.249	
Al valor de PAE le descontamos la presión estática del terreno (EH) para tratarla por separado, utilizando en las combinaciones de carga:		

Tabla 45: Separación de cargas**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

CARGA	TIPO	H (ton/m)	Yp (m)	M (ton.m)
LS _x	LS	18.30	1.39	25.41
EH	EH	26.86	0.93	24.86
EQ _{terr}	EQ	10.18	1.39	14.14
0.5P _{IR}	EQ	10.25	0.96	9.83
Σ		65.59	Σ	74.24

Tabla 46: Resumen de cargas horizontales**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

TIPO	CARGA DISTRIBUIDA (ton/m)		CARGA (ton)	Yp (m)	M (ton.m)
LS	LS	6.59	13.03	0.99	12.88
EH	EH	13.772	13.61	0.66	8.97
EQ _{terr}	EQ	2.61	5.16	0.99	5.10
0.5PIR	EQ		3.71	1.01	3.76

Tabla 47: Resumen de cargas que se ingresarán en CSI Bridge**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

A continuación, se trabajará con las siguientes propiedades y datos del estribo tipo muro-ala.

Ángulo de fricción interna (ϕ)	30	Grados
Peso específico (γ_t)	1.8	Ton/m ³
PGA (NEC)	0.35	#
F_{pga} (AASHTO)	1.05	#
Altura equivalente de suelo para carga vehicular (h_{eq})	0.96	m
Altura total de estribo (H)	3.298	m
Coefficiente de aceleración vertical (k_v)	0	#
Ángulo de la inclinación del relleno (i)	0	Grados
Ángulo de inclinación del muro con la vertical (β)	0	Grados
Ángulo de fricción interfase muro-relleno (δ)	0	Grados

Tabla 48: Propiedades del terreno

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Pantalla (h)	2.498	m
Altura de cimentación (D)	0.8	m

Tabla 49: Geometría del muro tipo ala

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el cálculo de las fuerzas horizontales que actúan sobre el muro tipo ala del estribo se considera algunos factores que plantea la norma (AASHTO, 2017), como se indica en la siguiente ilustración.

$k_a = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'_f}{2} \right)$	
k_a	
0.333	Grados

Tabla 50: Cálculo del coeficiente de empuje activo (K_a)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$\Delta p = k\gamma_s h_{eq} \times 10^{-9}$	
Δp	
0.58	ton/m ²

Tabla 51: Presión constante horizontal debido LS (Δp)**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$LS_x = H * \Delta p$	
Lsx	
1.900	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
1.65	m

Tabla 52: Componente horizontal SC por carga viva**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$p = k\gamma_s z$	
p	
1.979	ton/m ²

Tabla 53: Presión lateral del suelo**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$EH = \frac{1}{2} * H * p$	
2.314	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
0.926	m

Tabla 54: Presión lateral del terreno (EH)**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$k_{ho} = F_{pga}PGA$	
k_{ho}	
0.3675	#
$k_h = 0.5k_{ho}$	
k_h	
0.184	#

Tabla 55: Coeficiente de aceleración horizontal**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se debe tener presente la siguiente condición:

$\phi \geq i + \theta_{MO} = i + \arctan\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$		
$i + \theta_{MO}$		
30	>	10.41
CUMPLE		
<i>Coeficiente de presión sísmica activa del suelo (K_{AE})</i>		
$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \theta_{MO} - \beta)}{\cos \theta_{MO} \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta_{MO})} \times \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta_{MO} - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta_{MO}) \cos(i - \beta)}} \right]^2$		
K_{AE}		
0.460		#

Tabla 56: Condición**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$P_{AE} = 0.5\gamma h^2 K_{AE}$	
P_{AE}	
4.50	ton/m
Brazo de palanca (γ_A)	
1.10	m

Tabla 57: Fuerza dinámica lateral debida a la presión de tierras**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$EQ_{terr} = P_{AE} - EH$	
EQ_{terr}	
1.237	ton/m
Brazo de palanca (Y_A)	
1.649	m

Tabla 58: Acción sísmica del terreno**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

Previo al cálculo de la Fuerza Inercial (P_{IR}), se calculará el peso del muro tipo pantalla y peso propio del terreno.

Figura	Área (m ²)	Long. Total (m)	Y.c (ton/m ³)	DC (ton/m)	Ya (m)	Ya*DC (ton-m)
8	0.7494	11.61	2.4	20.881	2.049	42.79
9	0.3747			10.441	1.633	17.05
10	2.32			64.644	0.4	25.86
W_{total} Estribo				95.966	TOTAL	85.69
$y = \frac{\sum Ya * DC}{\sum DC}$				y		
				0.893		m

Tabla 59: Peso propio del estribo**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

$W_{E-T} = W_{estribo} + W_{terreno}$	
102.4	ton/m

Tabla 60: Peso propio del terreno**Elaborado por:** Luis Espinoza – Andrés Ortega

Figura	Área (m2)	Long. Total (m)	Y.c (ton/m³)	EV (ton/m)	Ya (m)	Ya*DC (ton-m)
17	0.56	1	1.8	1.01	3.099	3.12
18	0.01			0.02	3.165	0.05
19	1.58			2.84	1.85	5.24
20	0.53			0.95	1.85	1.76
21	0.31			0.56	1.85	1.03
22	0.26			0.48	2.2	1.05
23	0.35			0.62	0.95	0.59
W _{total} Terreno				6.47	TOTAL	12.85
$y = \frac{\sum Ya * EV}{\sum DC}$				y		
				1.987		m

Tabla 61: Peso (estribo + terreno tributario)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

$Comb. \#1 = P_{AE} + 0.5P_{IR}$		
$Comb. \#2 = 0.5P_{AE} > EH + P_{IR}$		
Comb. #1	13.91	ton/m
Comb. #2	21.07	
Comb. Max	21.07	

Tabla 63: Efecto combinado

Fuente: (AASHTO, 2017)

$P_{IR} = k_h (W_w + W_s)$	
18.82	ton/m
C.G (ESTRIBO Y TERRENO)	
Ya	
$Ya = \frac{(\sum DC * y) + (\sum EV * y)}{W_{E-T}}$	
Ya	
0.96	m

Tabla 62: Fuerza inercial del estribo

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

EQ_{terr}	1.237	ton/m
0.5*P_{IR}	9.411	
Al valor de PAE le descontamos la presión estática del terreno (EH) para tratarla por separado, utilizando en las combinaciones de carga:		

Tabla 64: Separación de cargas

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

CARGA	TIPO	H (ton/m)	Yp (m)	M (ton.m)
LS _x	LS	22.05	1.65	36.37
EH	EH	37.88	1.10	41.65
EQ _{terr}	EQ	14.36	1.65	23.68
0.5P _{IR}	EQ	9.41	0.96	9.05
Σ		83.71	Σ	110.75

Tabla 65: Resumen de cargas horizontales

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

TIPO	CARGA DISTRIBUIDA (ton/m)		CARGA (ton)	Yp (m)	M (ton.m)
LS	LS	6.69	16.71	1.25	20.86
EH	EH	17.40	21.73	0.83	18.10
EQterr	EQ	3.30	8.24	1.25	10.29
0.5PIR	EQ		2.88	1.11	3.20

Tabla 66: Resumen de cargas que se ingresaran a CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.5. Modelo Estructural en CSIBridge

Con respecto al análisis del comportamiento de la Pila del puente se a considerado un primer modelo en CSIBridge con el objetivo de que el programa presente sus primeros resultados que son los que se utilizarán para la respectiva interacción suelo-pilote-estructura, asumiendo una longitud de empotramiento de 8 veces el ancho del pilote, de lo cual se obtendrá primero las fuerzas internas donde considera, fuerzas

axiles, cortantes y momentos.

Para la modelación del puente lo primero que se consideró fueron los tipos de materiales (Ilustración 23) y las secciones (Ilustración 24) que formaron parte del diseño.

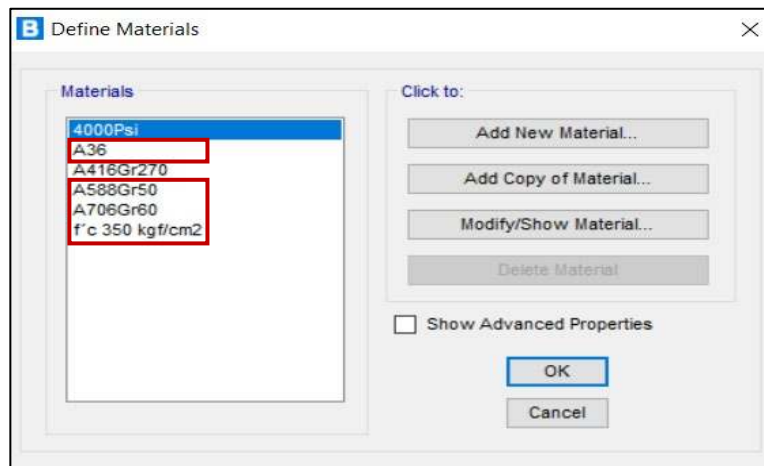


Ilustración 23: Materiales designados para su respectiva sección

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

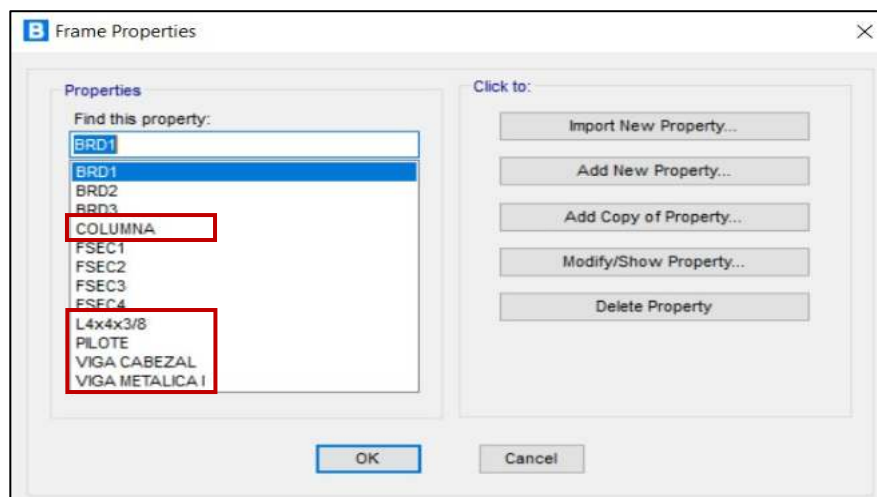


Ilustración 24: Secciones consideradas en la modelación

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como lo especifica la norma (AASHTO, 2017), pilas verticales tipo pórticos de concreto reforzado.

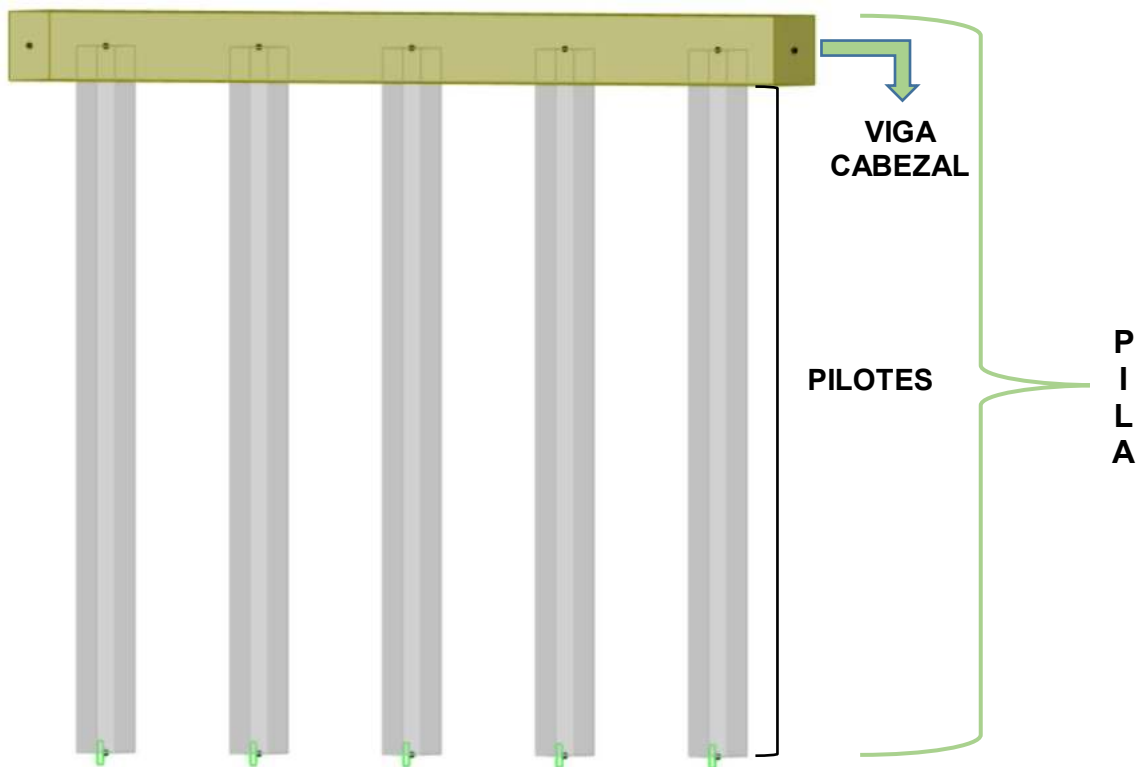


Ilustración 25: Pila del Puente en CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Considerando todas las secciones para la modelación del puente, luego se ingresará el espectro elástico por el cual será afectada la estructura. En este caso se ingresa dos tipos, uno se considera para un diseño de pilote y el otro para un diseño de viga cabezal. Esto se detallará en la Ilustración 26 e Ilustración 27.

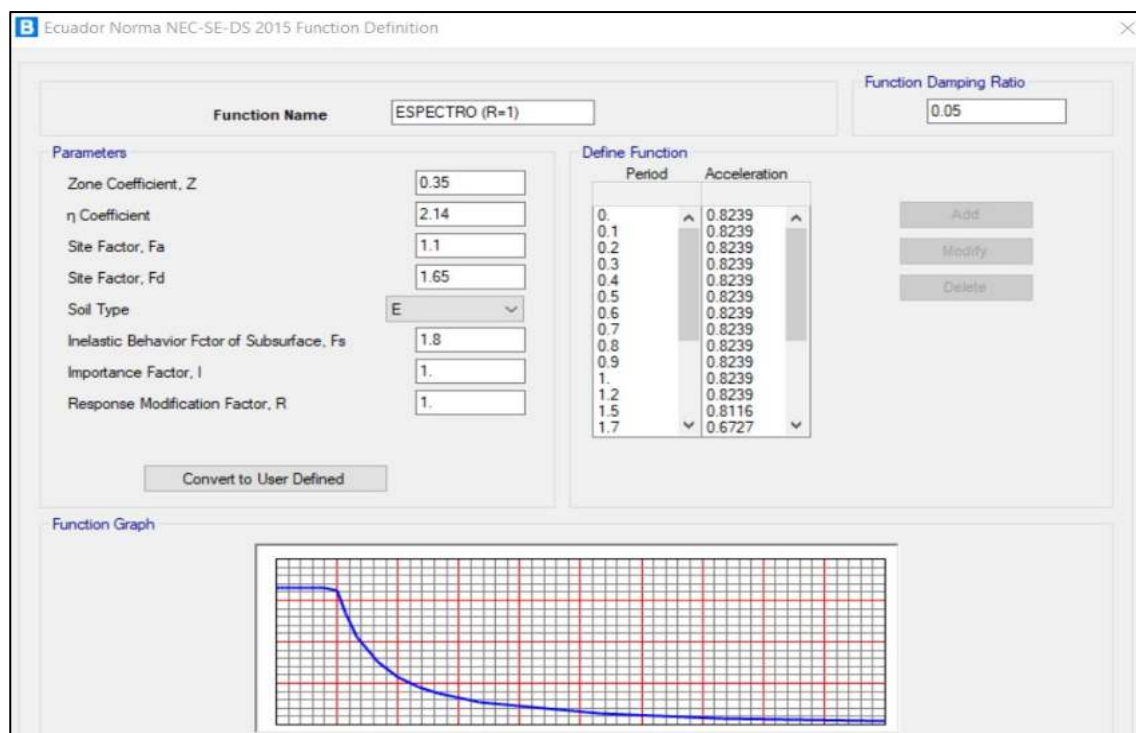


Ilustración 26: Espectro elástico de diseño (Viga Cabezal)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

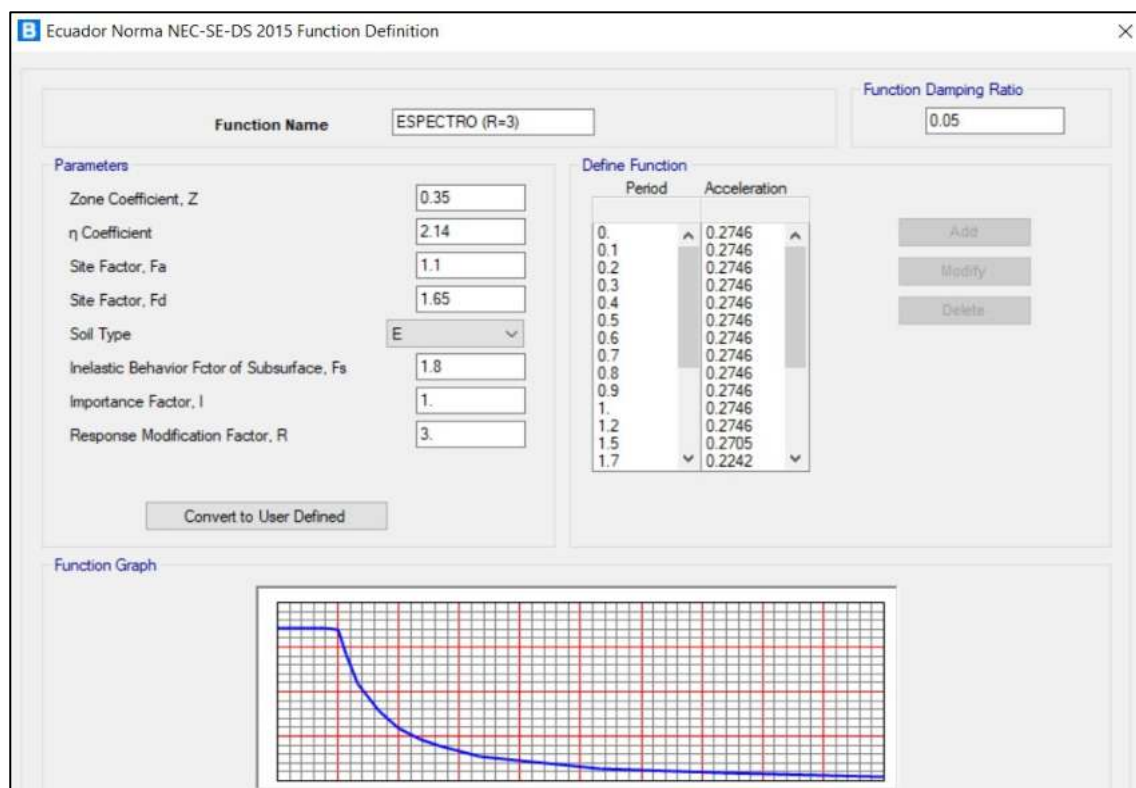


Ilustración 27: Espectro elástico de diseño (Pilote)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el diseño del sistema Pilote-Viga Cabezal se tomó en cuenta los estados límites de Resistencia I y Evento extremo I ($R=1$ y $R=3$), como se indica en la siguiente Ilustración 28.

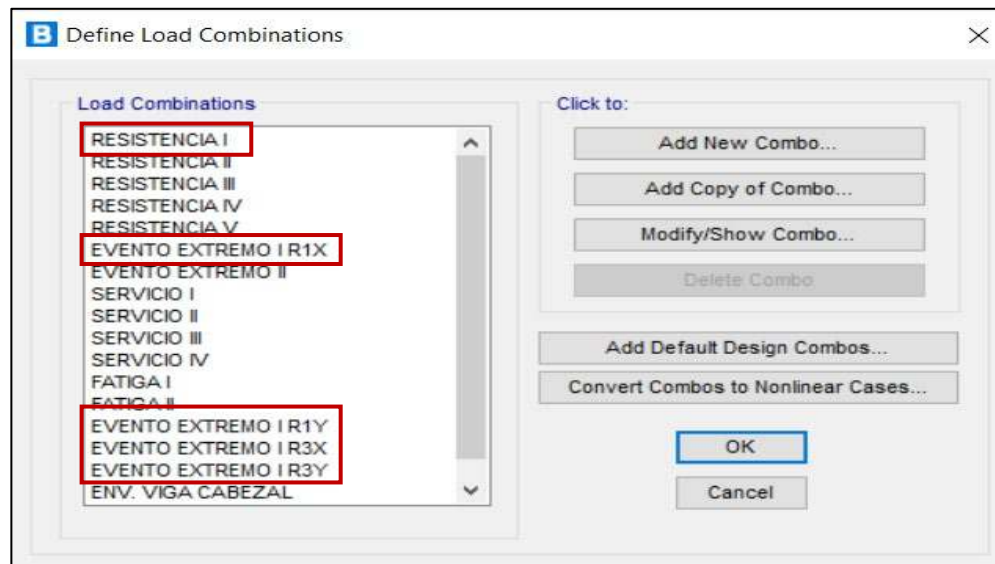


Ilustración 28: Estados límites para el diseño

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se creó una envolvente, tanto para viga cabezal y pilote donde se consideraron estos estados limites como se indica en las siguientes Ilustración 29 e Ilustración 30:

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'Load Combination Name' is 'ENV. VIGA CABEZAL'. The 'Load Combination Type' is 'Envelope'. The 'Options' section has two buttons: 'Convert to User Load Combo' and 'Create Nonlinear Load Case from Load Combo'. The 'Define Combination of Load Case Results' section contains a table with the following data:

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
RESISTENCIA I	Combination		1.
RESISTENCIA I	Combination		1.
EVENTO EXTREMO I R1X	Combination		1.
EVENTO EXTREMO I R1Y	Combination		1.

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table.

Ilustración 29: Combinación tipo envolvente Viga Cabezal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

The screenshot shows the 'Load Combination Data' dialog box. The 'Load Combination Name' is 'ENV. PILOTE'. The 'Load Combination Type' is 'Envelope'. The 'Options' section has two buttons: 'Convert to User Load Combo' and 'Create Nonlinear Load Case from Load Combo'. The 'Define Combination of Load Case Results' section contains a table with the following data:

Load Case Name	Load Case Type	Mode	Scale Factor
RESISTENCIA I	Combination		1.
RESISTENCIA I	Combination		1.
EVENTO EXTREMO I R3X	Combination		1.
EVENTO EXTREMO I R3Y	Combination		1.

Buttons for 'Add', 'Modify', and 'Delete' are located to the right of the table.

Ilustración 30: Combinación tipo envolvente Pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con el primer modelo simplificado se podrán obtener las cargas para luego poder ingresarlas mediante una conversión al Software “Group”, que nos ayudará a obtener las curvas de transferencia de carga lateral (p-y).

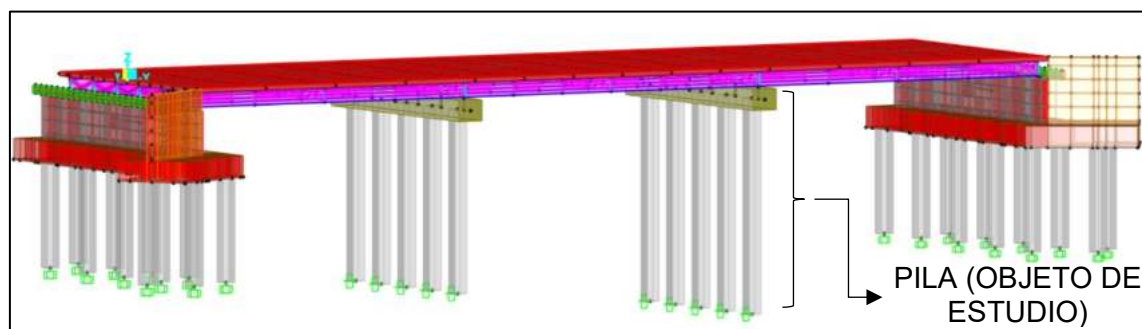


Ilustración 31: Puente Ñauza modelado en CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

ENSOFT GROUP															
PILA 2															
ESTADO LIMITE	PILOTE 1		unidad	PILOTE 2		unidad	PILOTE 3		unidad	PILOTE 4		unidad	PILOTE 5		unidad
EVENTO EXTREMO X	FY	5.509	kN	FY	5.464	kN	FY	5.419	kN	FY	5.367	kN	FY	5.31	kN
	FZ	4.076	kN	FZ	4.159	kN	FZ	4.182	kN	FZ	4.16	kN	FZ	4.087	kN
	FX	-14.619	kN	FX	-6.69	kN	FX	-5.463	kN	FX	-6.451	kN	FX	-15.344	kN
	MY	27.9614	kN/m	MY	27.7884	kN/m	MY	27.6031	kN/m	MY	27.3823	kN/m	MY	27.13	kN/m
	MZ	15.3462	kN/m	MZ	15.5748	kN/m	MZ	15.6374	kN/m	MZ	15.5756	kN/m	MZ	15.3607	kN/m
EVENTO EXTREMO Y	FY	1.703	kN	FY	1.657	kN	FY	1.632	kN	FY	1.628	kN	FY	1.646	kN
	FZ	13.545	kN	FZ	13.834	kN	FZ	13.913	kN	FZ	13.8235	kN	FZ	13.573	kN
	FX	-24.438	kN	FX	-4.561	kN	FX	-3.495	kN	FX	-4.233	kN	FX	-25.198	kN
	MY	8.5151	kN/m	MY	8.3726	kN/m	MY	8.2887	kN/m	MY	8.2559	kN/m	MY	8.2837	kN/m
	MZ	51.0526	kN/m	MZ	51.8252	kN/m	MZ	52.0355	kN/m	MZ	51.8216	kN/m	MZ	51.073	kN/m

Tabla 67: Cargas que se relacionan con los pilotes del puente

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.6. Curvas de Transferencia de Cargas Laterales y Axiales (P-y)

Para obtener las curvas de transferencia tanto laterales como axiales se utilizará el software “Ensoft Group”, para esto se deberá modelar la pila que es objeto de estudio para luego ingresar las cargas que se obtuvieron del CSIBridge como se indica en la Ilustración 32.

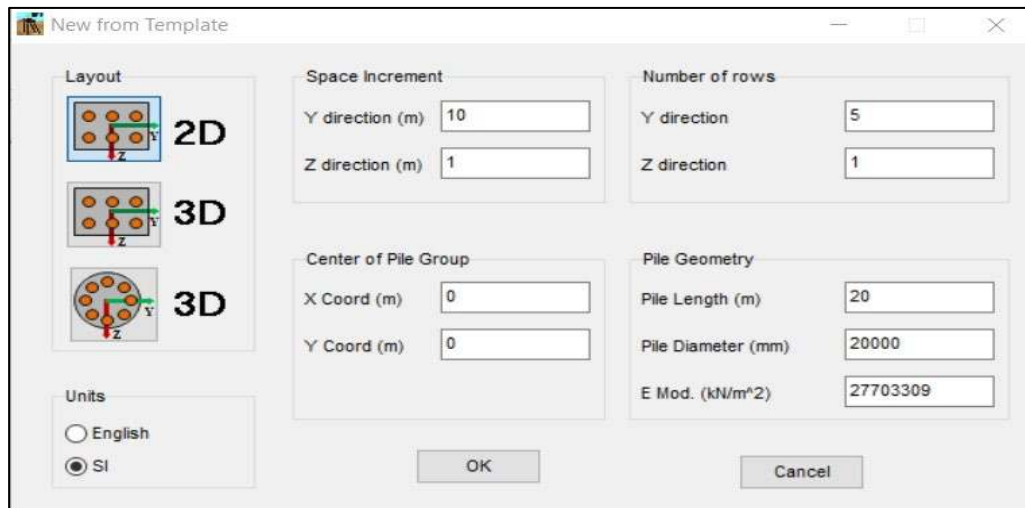


Ilustración 32: Geometría de la sección de la pila

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Teniendo la geometría general de la pila se procederá a definir cada pilote que forma parte del sistema pilote - viga cabezal como se lo puede ver en la Ilustración 33, Ilustración 34.

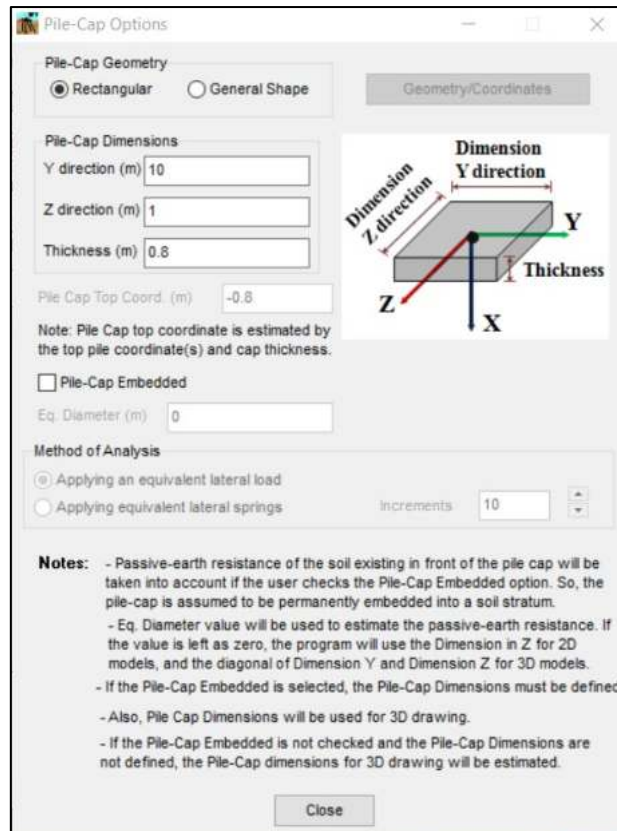


Ilustración 33: Geometría de la sección de la viga cabezal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

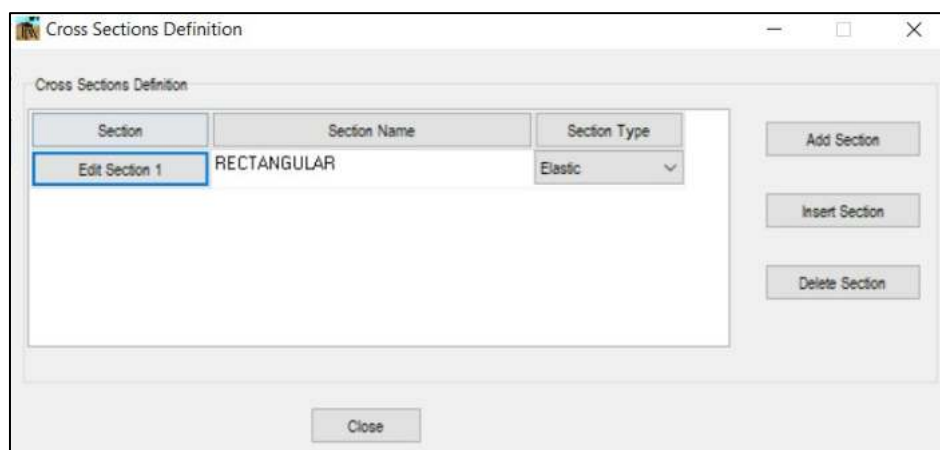


Ilustración 34: Sección transversal de los pilotes

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Section: 1 (RECTANGULAR)

Select Section

GENERAL

☐ Circle ☒ Rectangle ☐ I ☐ H ☐ AISC

Section along Depth

☒ Constant ☐ Tapered

Copy Section

Source Section:

Section Specifications **Section Draw**

Section Dimensions

Equivalent Diameter (mm)

Width (mm)

Depth (mm)

Internal Width (mm)

Internal Depth (mm)

Section Properties

Perimeter (mm)

Area (mm²)

Inertia zz (mm⁴)

Inertia yy (mm⁴)

* Polar Inertia xx (mm⁴)

Material Properties

Young Modulus (kN/m²)

* Shear Modulus (kN/m²)

GJ (Tors. Stiffness) (kN-m²)

Calculate

☐ Calculate Section Properties Automatically

☐ Consider Section as Spec. w/ Mom. Capacity

Design Parameters (Use for LRFD)

Bend. Mom. Capacity zz (kN-m)

Bend. Mom. Capacity yy (kN-m)

Shear Capacity y (kN)

Shear Capacity z (kN)

Ilustración 35: Detalle de la sección rectangular del pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Ya que se ha especificado la sección rectangular del pilote, se procederá a ingresar las dimensiones y propiedades de estos elementos como se indica en la siguiente Ilustración 36.

Pile Properties

Prop. Type	Sections	Increments	Total Length (m)	Method of Installation
1	1: Pile Sections	100	20	Driven Piles

Add Row Insert Row Delete Row

Pile Sections 1

Section	Top (m)	Bottom (m)	Cross Section Index
1	0	20	1

Add Row Insert Row Delete Row

Ilustración 36: Detalle de la sección rectangular del pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para dar por terminado el diseño de la pila se ingresan las coordenadas de los pilotes y viga cabezal teniendo en cuenta que esta sección se encuentra en la coordenada $Y = 0$ y $Z = 0$, como se indica en la Ilustración 37.

Pile-Head Coordinates (3-D)							
Pile #	Pile-Top Vertical	Pile-Top Horizontal	Pile-Top Horizontal	Angle Alpha* (use 0	Angle Beta** (use 90	Angle Theta	Vert. Dist. from Pile Top
	X-Coordinates, (m)	Y-Coordinates, (m)	Z-Coordinates, (m)	for vertical pile) (DEG)	for vertical pile) (DEG)	(section rotation) (DEG)	to Ground Line ***, (m)
1	0	-4	0	0	90	0	4.16
2	0	-2	0	0	90	0	4.16
3	0	0	0	0	90	0	4.16
4	0	2	0	0	90	0	4.16
5	0	4	0	0	90	0	4.16

Add Row Insert Row Delete Row

* Angle Alpha, angle from Y(+) Axis to the projection of pile on the Y-Z plane (use 0 for vertical pile)
 ** Angle Beta, angle from the projection of pile on the Y-Z plane to the pile axis (use 90 for vertical pile)
 *** Distance from pile top to ground line
 (+) positive if soil ground line is below the pile top
 (-) negative if soil ground line is above the pile top

Ilustración 37: Coordenadas de pilotes con respecto al eje de viga cabezal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Ya definido en su totalidad la pila, se incorpora los diversos tipos de suelos con sus respectivos espesores que están en contacto con el pilote como se indica en la Ilustración 38, sumando un parámetro adicional previo a la obtención de las curvas P-y.

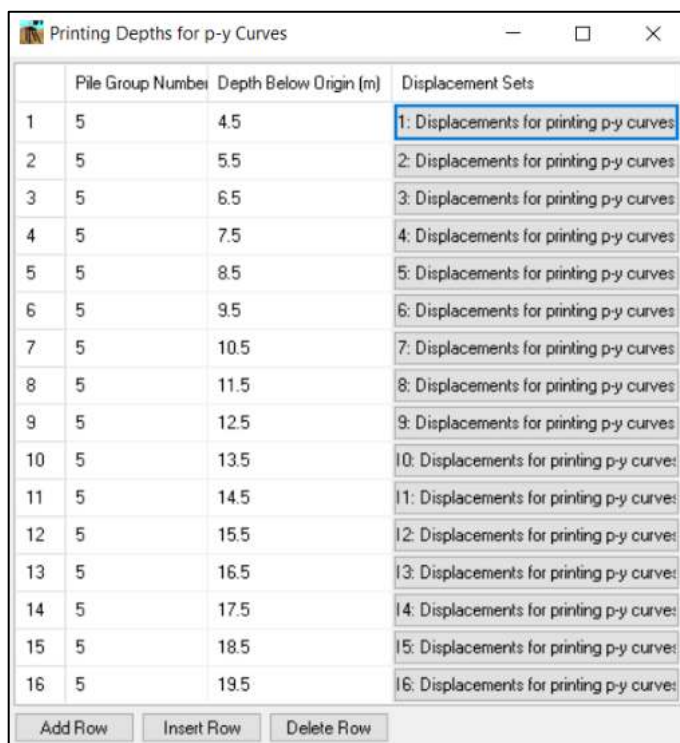
Soil Layers				
Layer	Soil Type	Depth for Top of Soil Layer (m)	Depth for Bottom of Soil Layer (m)	Properties of Layer
1	Stiff Clay with Free Water (Reese)	4.113	5.19	1: Stiff Clay with Free Water
2	Sand (Reese)	5.19	5.659	2: Sand (Reese, et al.)
3	Soft Clay (Matlock)	5.659	13.118	3: Soft Clay
4	Soft Clay (Matlock)	13.118	14.381	4: Soft Clay
5	Sand (Reese)	14.381	22.428	5: Sand (Reese, et al.)
6	Stiff Clay with Free Water (Reese)	22.428	24.071	6: Stiff Clay with Free Water

Add Row Insert Row Delete Row

Ilustración 38: Estratigrafía de la zona de estudio

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se debe considerar la longitud de contacto del pilote con el suelo, debido a que las pilas del puente se encuentran sobre el estero Ñauza, esto quiere decir que no todo el pilote estará enterrado ya que para obtener las curvas P-y se las definirá cada metro. Tener presente que este proceso se lo debe de considerar por cada pilote de la pila.



	Pile Group Number	Depth Below Origin (m)	Displacement Sets
1	5	4.5	1: Displacements for printing p-y curves
2	5	5.5	2: Displacements for printing p-y curves
3	5	6.5	3: Displacements for printing p-y curves
4	5	7.5	4: Displacements for printing p-y curves
5	5	8.5	5: Displacements for printing p-y curves
6	5	9.5	6: Displacements for printing p-y curves
7	5	10.5	7: Displacements for printing p-y curves
8	5	11.5	8: Displacements for printing p-y curves
9	5	12.5	9: Displacements for printing p-y curves
10	5	13.5	10: Displacements for printing p-y curves
11	5	14.5	11: Displacements for printing p-y curves
12	5	15.5	12: Displacements for printing p-y curves
13	5	16.5	13: Displacements for printing p-y curves
14	5	17.5	14: Displacements for printing p-y curves
15	5	18.5	15: Displacements for printing p-y curves
16	5	19.5	16: Displacements for printing p-y curves

Buttons: Add Row, Insert Row, Delete Row

Ilustración 39: Profundidades para la obtención de las curvas P-Y

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como último paso se debe ingresar al “Ensoft Group” las cargas que se obtuvieron del CSIBridge como se detalló en la Ilustración 68, como un primer modelo, donde se consideró una longitud de empotramiento de 8,16 metros.

En la siguiente Ilustración 40 se presentará la manera correcta de ingresar estas cargas.

Loading Definition

Load Cases Definition

Load Case	Load Case Type	Load Case Name	Scale Factor	Run
Edit Load Case 1	Seismic, EQ	SISMO X	1	<input checked="" type="checkbox"/> yes
Edit Load Case 2	Seismic, EQ	SISMO Y	1	<input checked="" type="checkbox"/> yes

Buttons: Add Load Case, Insert Load Case, Delete Load Case, ☒ Confirm Deletion

Print Envelopes Options

☐ Calculate Load Cases Envelopes

☐ Only at pile cap
☐ At pile cap and at pile heads
☐ Pile cap, pile heads and along piles

Print pile response every: 1 node(s)

Output Variables

Gen. Incr. Load Cases

Cases to generate: 1

Force to Vary: All

Generate

Load Combinations Definition

Load Combinations

Close

Ilustración 40: Cargas que actúan en la interacción

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Loading for Load Case: 1 (SISMO X)

Concentrated Loads on Pile Cap

Concentrated	Fx	Fy	Mz	Fz	My	Mx	Xc	Yc	Zc
Load	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(m)	(m)	(m)
Edit Load 1	-14.619	5.509	15.3462	4.076	27.9614	0	0	-4	0
Edit Load 2	-6.69	5.464	15.5748	4.159	27.7884	0	0	-2	0
Edit Load 3	-5.463	5.419	15.6374	4.182	27.6031	0	0	0	0
Edit Load 4	-6.451	5.367	15.5756	4.16	27.3823	0	0	2	0
Edit Load 5	-15.344	5.31	15.3607	4.087	27.13	0	0	4	0

Buttons: Add Load, Insert Load, Delete Load, ☒ Confirm Del., Equiv. Load, Paste Values (Clipboard)

Ilustración 41: Sismo en X que interactúa con los pilotes

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Loading for Load Case: 2 (SISMO Y)

Concentrated Loads on Pile Cap

Concentrated	Fx	Fy	Mz	Fz	My	Mx	Xc	Yc	Zc
Load	(kN)	(kN)	(kN-m)	(kN)	(kN-m)	(kN-m)	(m)	(m)	(m)
Edit Load 1	-24.438	1.703	51.0526	13.545	8.5151	0	0	-4	0
Edit Load 2	-4.561	1.657	51.8252	13.834	8.3726	0	0	-2	0
Edit Load 3	-3.495	1.632	52.0355	13.913	8.2887	0	0	0	0
Edit Load 4	-4.233	1.628	51.8216	13.8235	8.2559	0	0	2	0
Edit Load 5	-25.198	1.646	51.073	13.573	8.2837	0	0	4	0

Buttons: Add Load, Insert Load, Delete Load, ☒ Confirm Del., Equiv. Load, Paste Values (Clipboard)

Ilustración 42: Sismo en Y que interactúa con los pilotes

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Finalmente considerando el diseño en sí de la pila, los tipos de suelos con sus respectivos espesores y cargas que interactúan con los pilotes, se obtuvo las curvas P-y.

A continuación, se presentará el modelo completo que se ha diseñado en el “Ensoft Group” como se indica en la Ilustración 43.

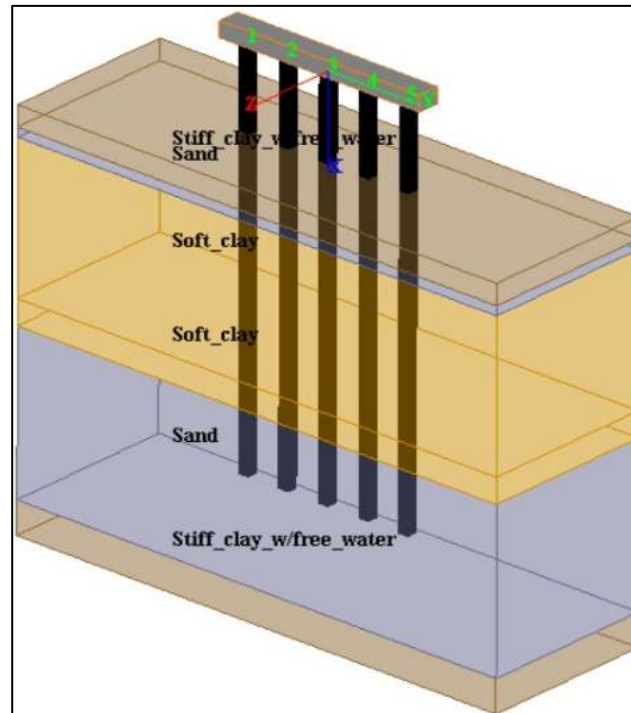


Ilustración 43: Perfil obtenido del Ensoft Group

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Las tablas que generó el software serán presentadas en el Anexo 3 y 4.

4.6.1. Curvas de Transferencia de Carga Lateral (P-y)

4.6.1.1. Pila #2.

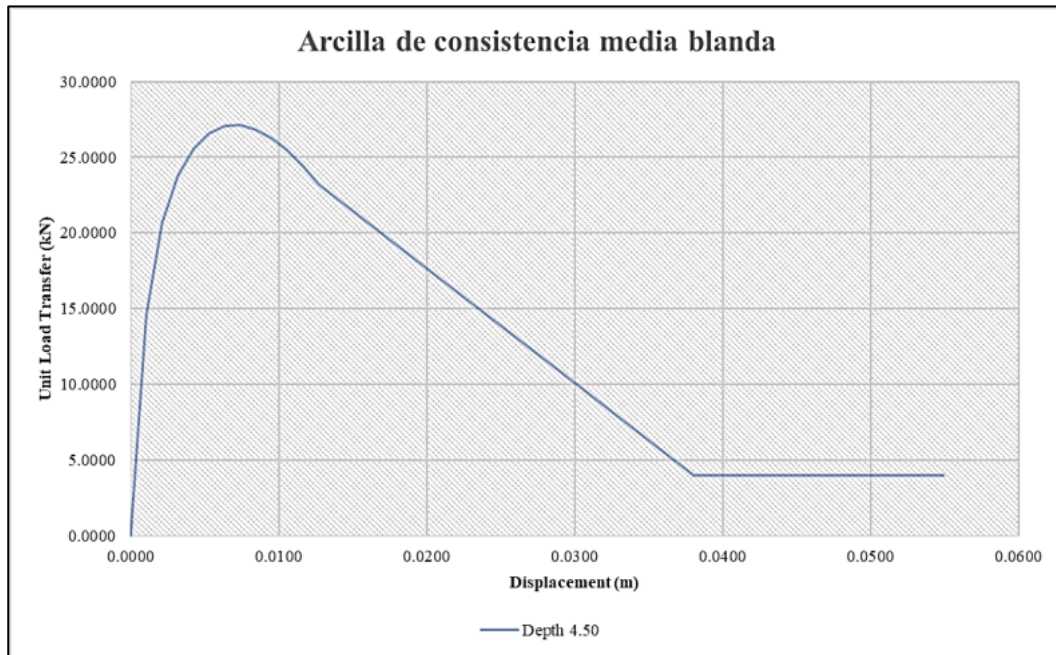


Ilustración 44: Curvas (p-y) para arcilla de consistencia media blanda

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

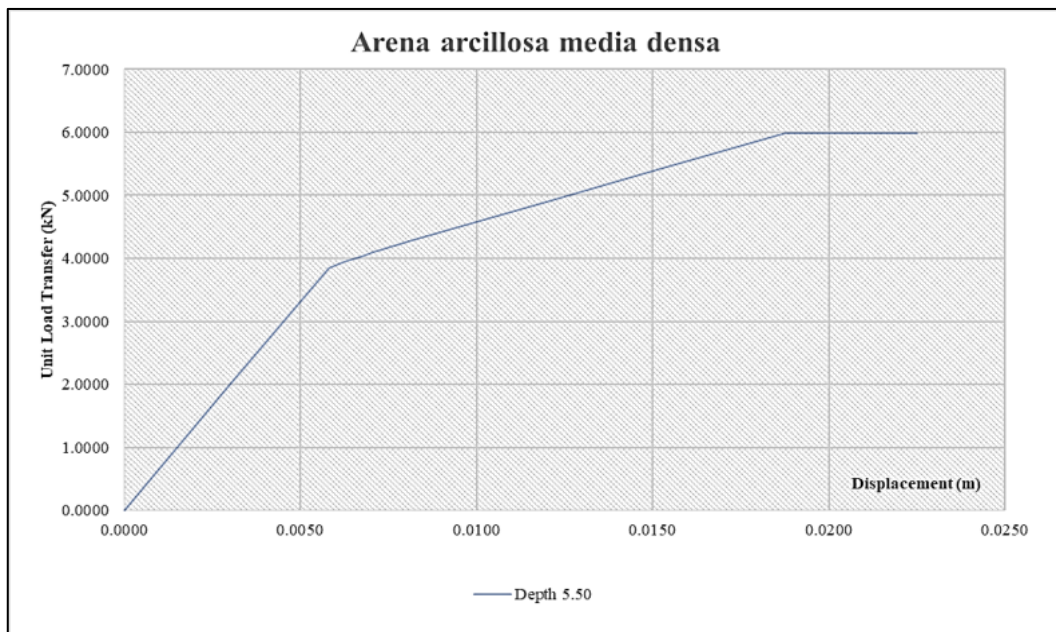


Ilustración 45: Curvas (p-y) para arena arcillosa media densa

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

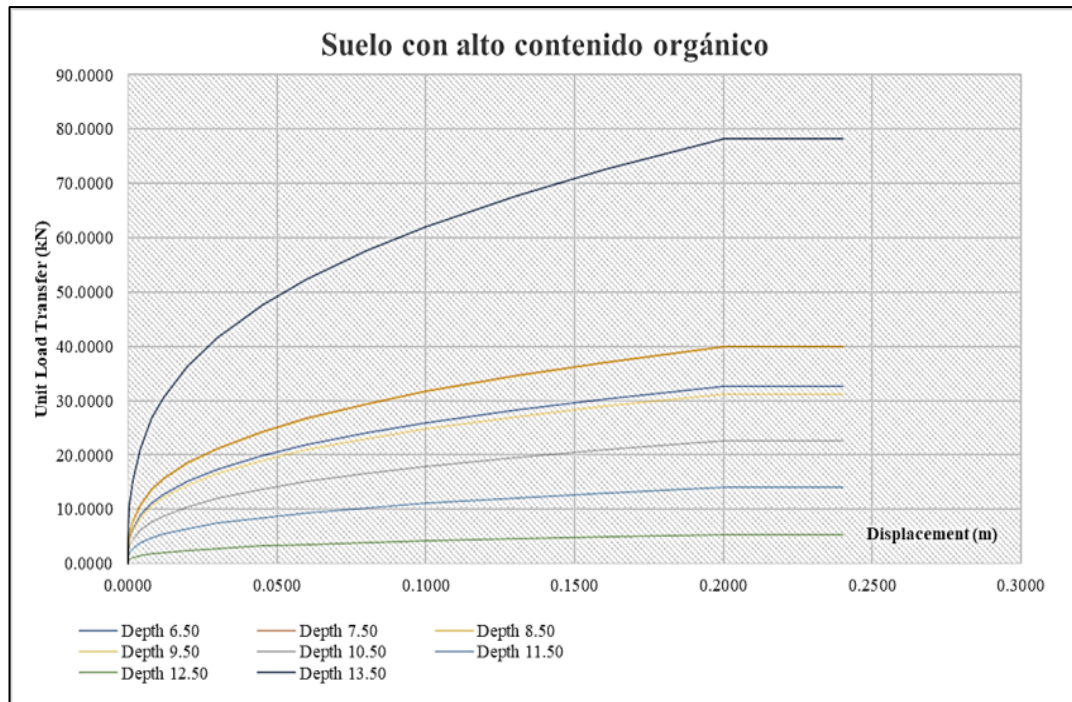


Ilustración 46: Curvas (p-y) para suelo con alto contenido orgánico

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

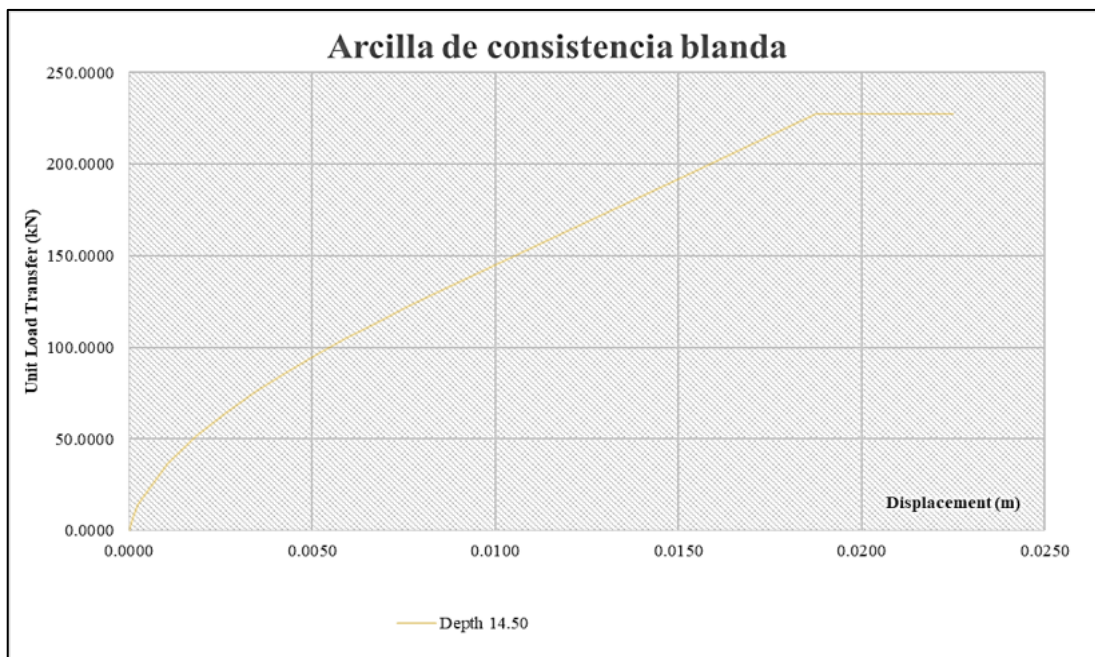


Ilustración 47: Curvas (p-y) para arcilla de consistencia blanda

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

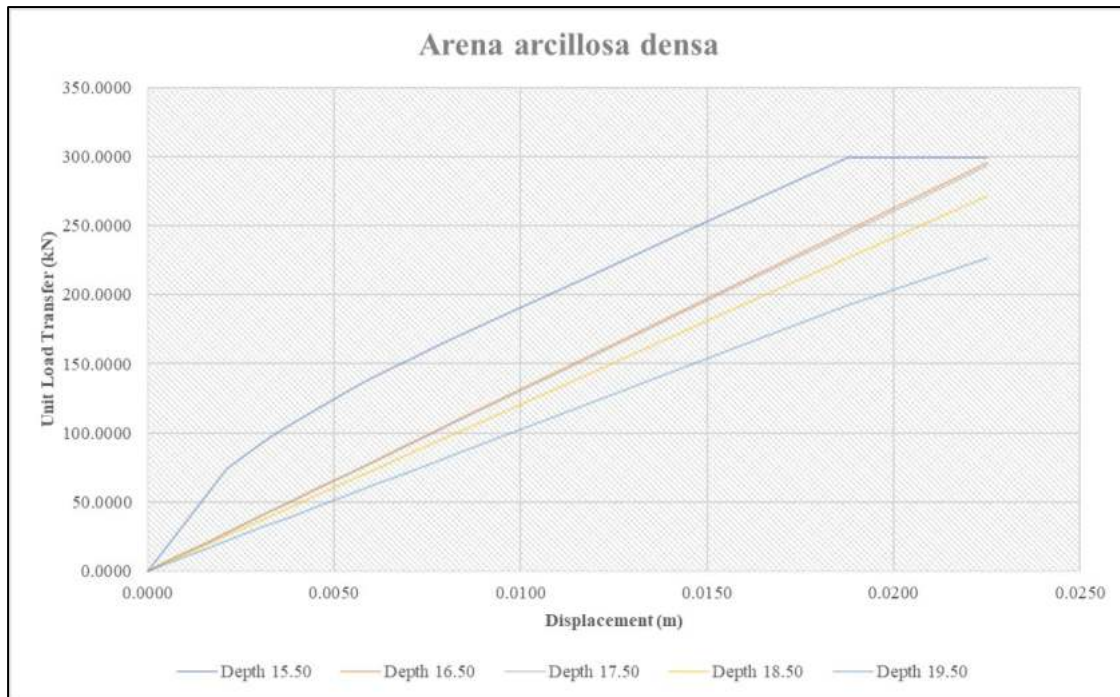


Ilustración 48: Curvas (p-y) para arena arcillosa densa

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.7. Curvas de Transferencia de Carga Axial (t-z y q-z)

Para obtener las curvas de capacidad axial, se trabajará en el software “Ensoft Apile”, lo cual para el análisis del comportamiento de un pilote hincado considera varios aspectos como la profundidad del pilote y los diversos tipos de suelos que interactúan con dicho elemento.

Lo primero que se debe especificar el tipo de pilote y su material, en este caso es un pilote cuadrado de hormigón prefabricado y con módulo de elasticidad de 27703309 kN/m² considerando que se tiene un hormigón de 350 Kg/cm², como se indica en la siguiente Ilustración 49.

Pile Material

Select Pile Type

☐ Steel pipe piles and non-tapered portion of monotube piles

☒ Open-Ended File

☐ Close-Ended File

☐ H-Piles/Steel Piles

☒ Precast concrete piles

☐ Circular/Tubular

☒ Open-Ended File

☐ Close-Ended File

☒ Square/Rectangular/Orthogonal

☐ Tapered portion of Monotube piles

☐ Raymond step-taper piles

☐ Raymond Uniform taper piles

☐ Timber piles

Angle of taper for a tapered pile (degrees)

(Only used by the FHWA Method for Pile Capacity)

Data for Axial Stiffness
(These entries are only used for computations of elastic deformation)

Modulus of Elasticity, E (kN/m²)

Cross Section Area

☒ Calculate from Pile Section (m²)

☐ Constant Cross Section Area (m²)

☐ Non-constant Cross Section Area
(enter the area as a function of depth.)

Data Button

Close

Ilustración 49: Tipo de pilote y material

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se ingresarán las propiedades geométricas del pilote que se va a analizar, como se indica en la siguiente Ilustración 50. Adicionalmente se debe considerar la longitud libre del pilote (PSL) como se indica en la Ilustración 51.

Noncircular Pile Properties

Total Length, TL (m)

Batter Angle (Deg)

Pile Stickup Length, PSL (m)

Zero-Friction from Length Ground, ZFL (m)

Perimeter for Noncircular Section (mm)

Tip Area for Noncircular Section (m²)

Examples:

L-shaped section:
 $P = 2(L_1 + L_2)$
 $A = L_1 \times L_2$
 For very soft clays, use:
 $A = 2(L_1 \times w_1) + (L_2 - 2 \times w_1) \times w_2$

Rectangular section:
 $P = 2(L_1 + L_2)$
 $A = L_1 \times L_2$

Close

Ilustración 50: Propiedades geométricas del pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

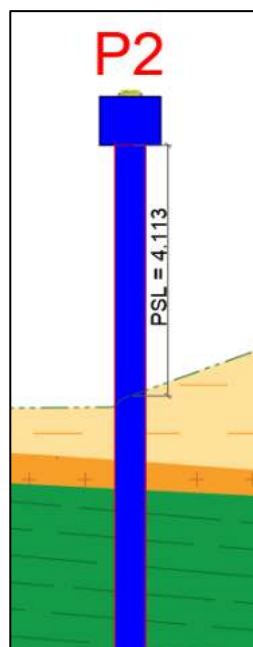


Ilustración 51. Longitud libre del pilote (PSL)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

El software “Ensoft Apile” plantea cuatro métodos principales para el cálculo de la capacidad de pilotes, de los cuales se ha seleccionado el (Federal Highway Administration – FHWA), con respecto a la segunda opción se utilizará la fricción lateral y la resistencia de punto no factorizadas, cómo se indica en la Ilustración 52.

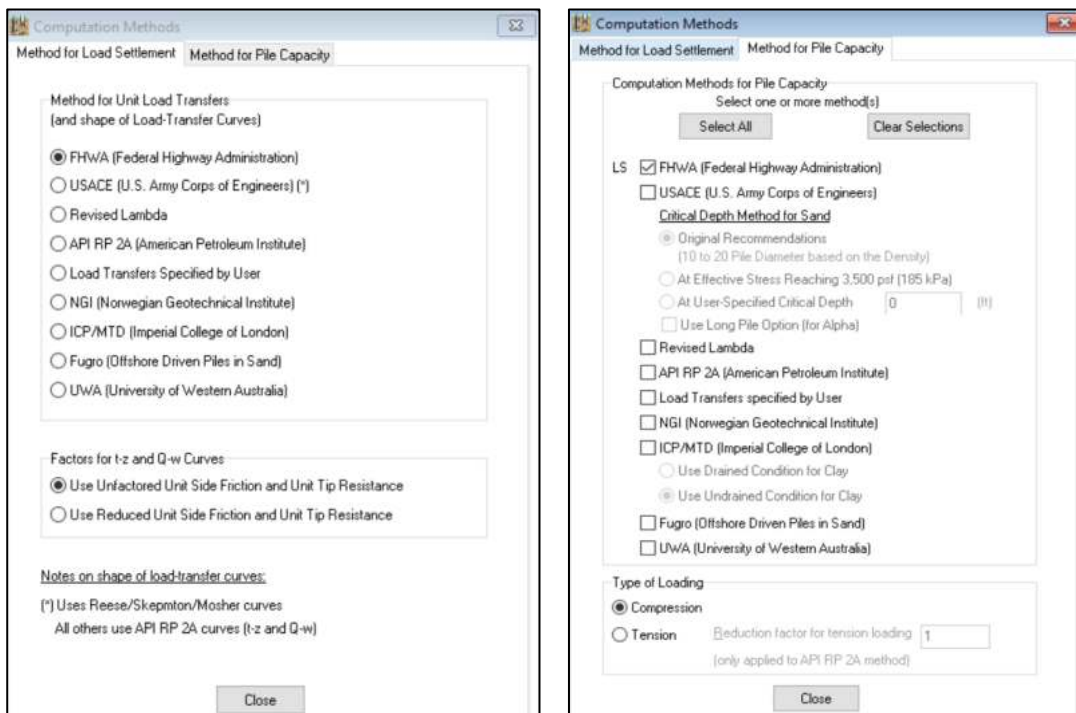


Ilustración 52: Método para el diseño de las curvas (tz-qz)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se procederá a modelar la estratigrafía de la zona de estudio, donde se debe de especificar los diferentes tipos de suelos y propiedades de cada material.

La norma (AASHTO, 2017), establece factores de resistencia para pilotes hincados como lo estipula la siguiente tabla 68.

Condición/Método de determinación de la resistencia		Factor de resistencia
Capacidad de carga del pilote individual-Métodos de análisis dinámico y prueba con carga estática ϕ_{dyn}	Criterios de hincado establecidos mediante las pruebas con carga dinámica*, control de calidad mediante pruebas con carga dinámica* en por lo menos dos pilotes por condición de sitio, pero no menos del 2% de los pilotes de producción.	0.65

Tabla 68: Factores de resistencia para pilotes hincados.

Fuente: (AASHTO, 2017)

The screenshot shows a software window titled 'Soil Layers' with a 'Layers Definition' section. It contains a table with the following data:

Layer	Soil Type	Depth at Bottom * of each layer (m)	Max. Side Friction ** (kN/m ²)	Max. End Bearing ** (kN/m ²)	Reduction/Resistance *** Factors on Side Friction	Reduction/Resistance *** Factors on End Bearing
Edit Layer 1	Clay	1.077	0	0	0.65	0.65
Edit Layer 2	Sand	1.546	0	0	0.65	0.65
Edit Layer 3	Clay	9.005	0	0	0.65	0.65
Edit Layer 4	Clay	10.268	0	0	0.65	0.65
Edit Layer 5	Sand	18.315	0	0	0.65	0.65

Below the table are buttons for 'Add Layer', 'Insert Layer', 'Delete Layer', and a checked 'Confirm Deletion' checkbox. At the bottom, there is a 'Close' button and a 'Notes' section with the following text:

Notes:
 * Bottom of last layer must be deeper than the pile tip plus two pile diameters.
 ** If entries are left as zero, the program assumes no limits in Side/End Transfers.
 *** Use a very small number (e.g. 0.001) for layers where load transfer should be ignored.
 **** Reduction factors can be specified for LRFD requirement or for other design considerations such as driving strength loss.

Ilustración 53: Estratigrafía de la zona de estudio

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Teniendo presente todas estas consideraciones que plantea el Apile se determinó el siguiente perfil geotécnico con su respectivo pilote.

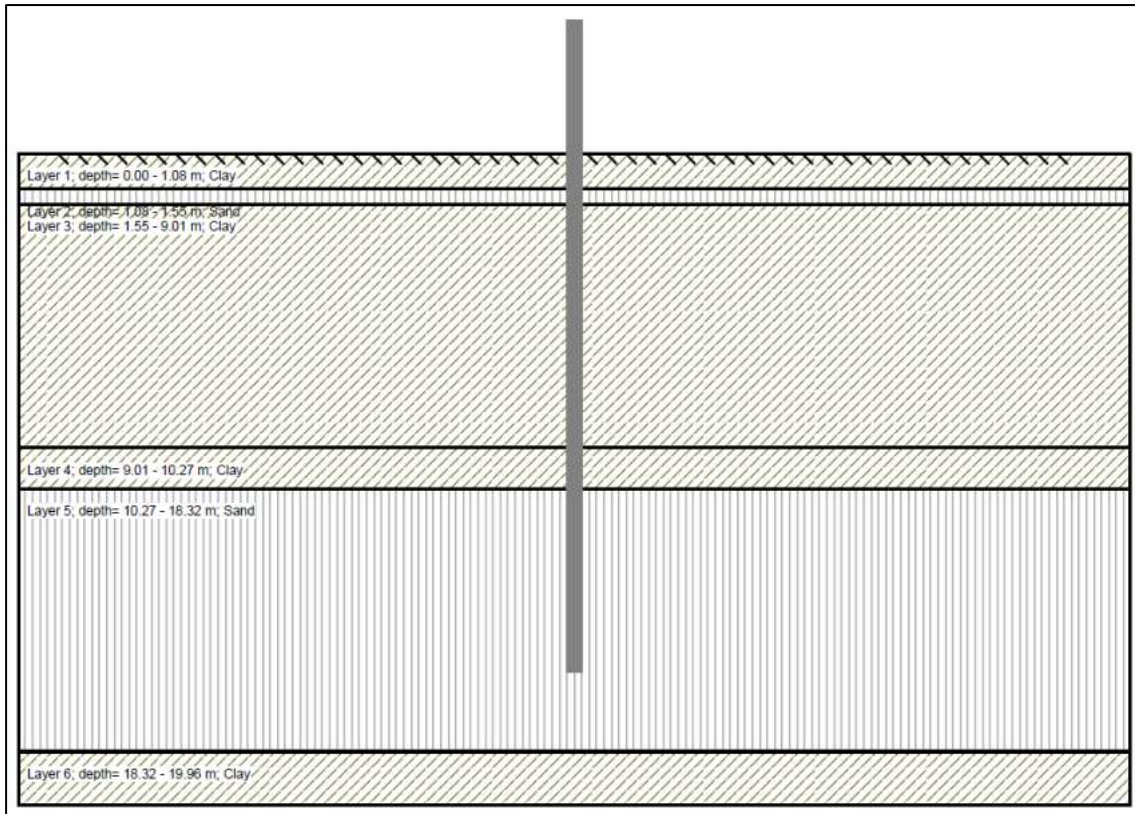


Ilustración 54: Perfil estratigráfico y pila

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para las curvas de capacidad axial se ha considerado que las genere cada metro desde la zona de contacto del suelo con el pilote.

4.7.1. Curvas de Transferencia de Carga Axial (Q-z)

4.7.1.1. Pila #2.

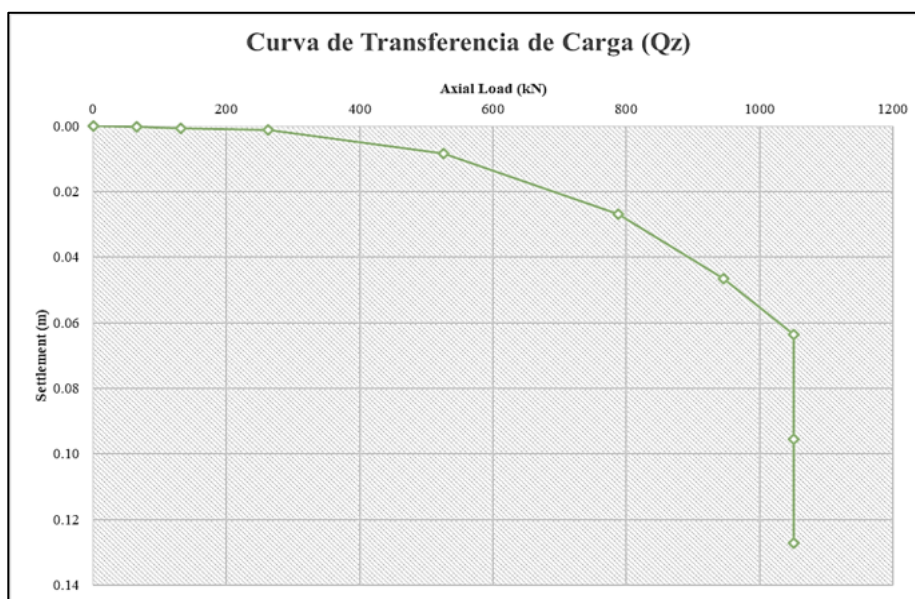


Ilustración 55: Curva (Q-z)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.7.2. Curvas de Transferencia de Carga Axial (T-z).

4.7.2.1. Pila #2.

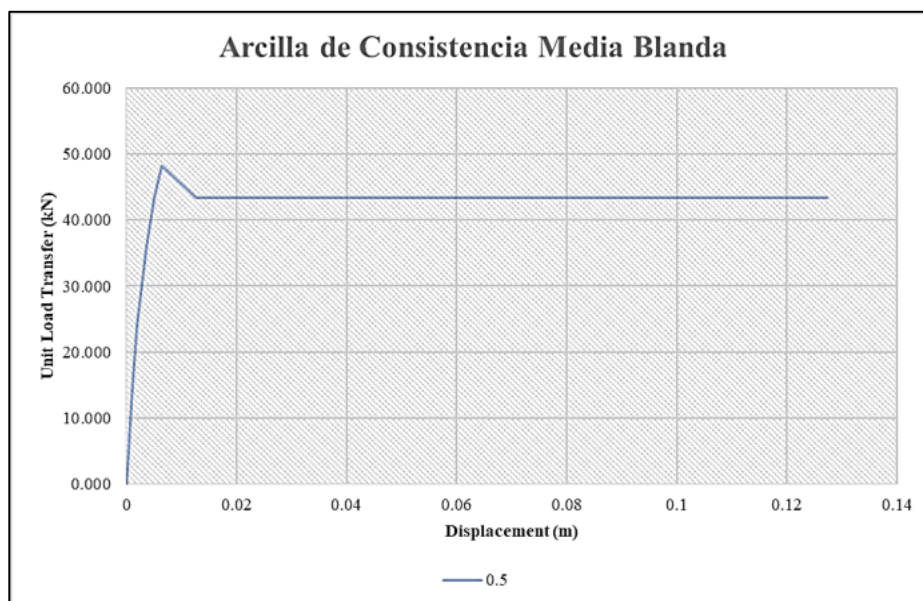


Ilustración 56: Curva (T-z) Arcilla de consistencia media blanda

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

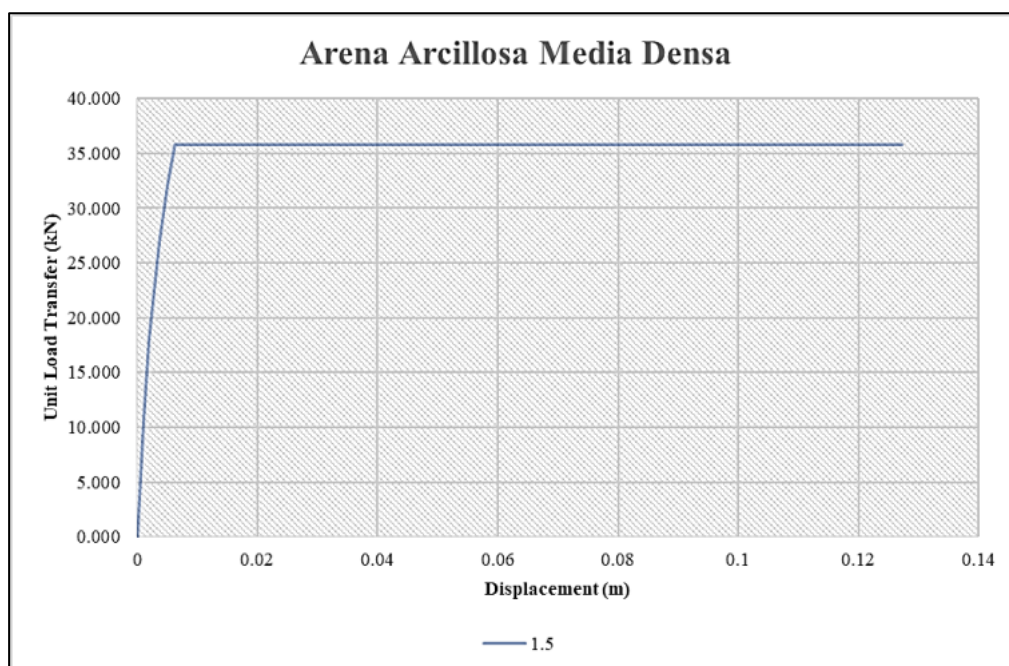


Ilustración 57: Curva (T-z) - Arena arcillosa media densa

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

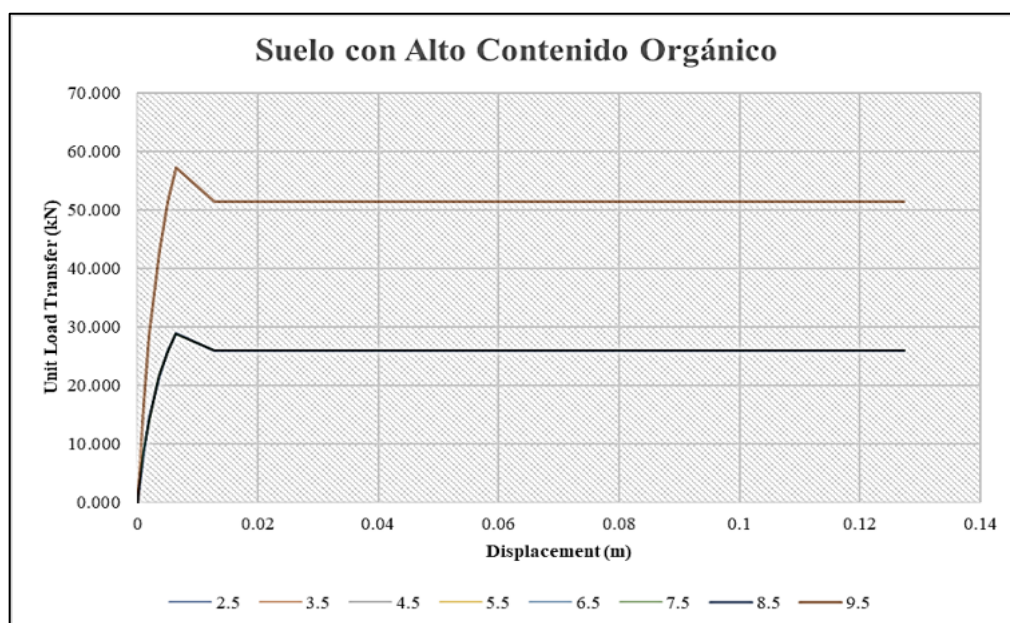


Ilustración 58: Curva (T-z) - Suelo con alto contenido orgánico

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

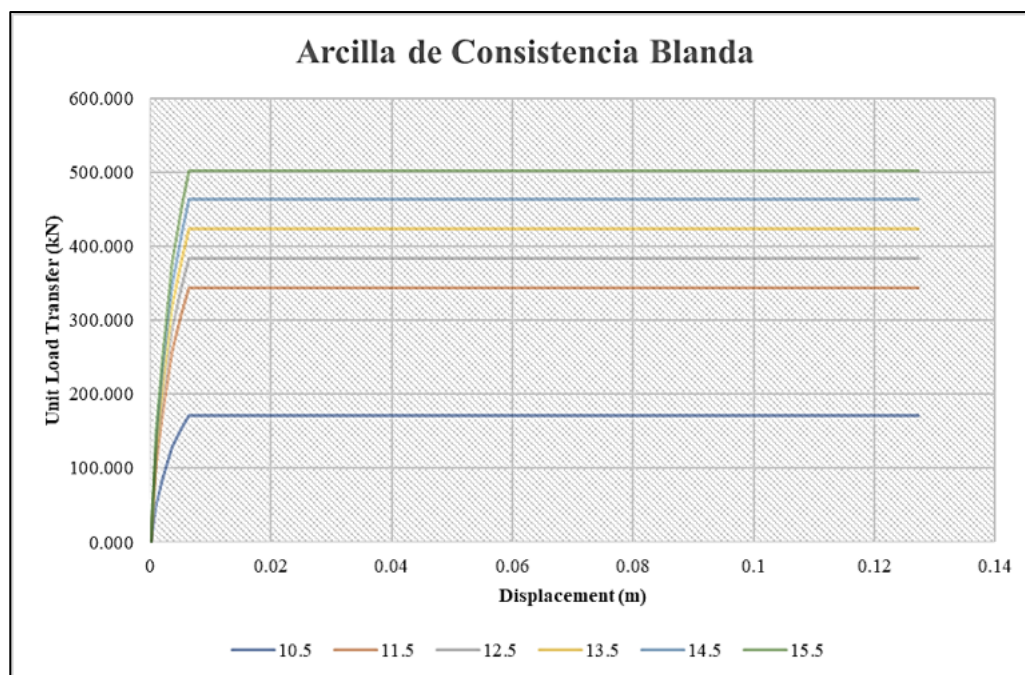


Ilustración 59: Curva (T-z)- Arcilla de consistencia blanda

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.8. Modelo Estructural Considerando las Curvas de Transferencia

Para un segundo modelo y análisis ya considerando la longitud real del pilote de 20 metros, se incorporan las curvas de transferencia con su respectiva discretización que es de cada metro.

El objetivo de estas discretizaciones en los pilotes es para ir ingresando las curvas de transferencia que se las obtuvo del “Group” y “Apile”, como se indica en la Ilustración 60.

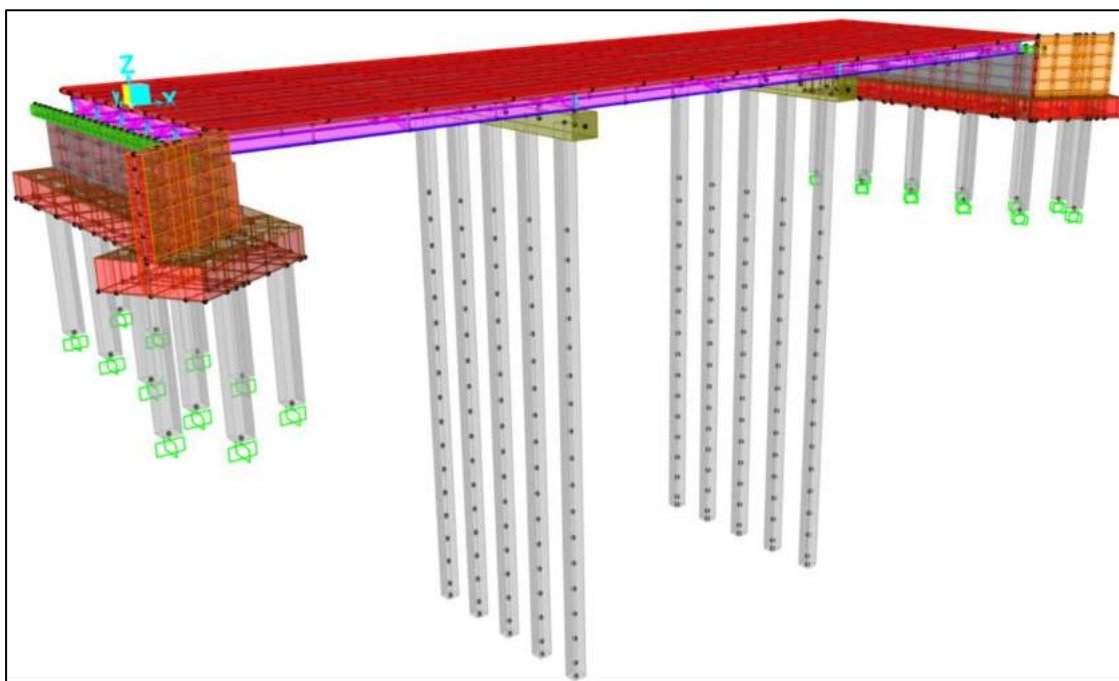


Ilustración 60: Discretizaciones en pilotes

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se tendrá que crear elementos link tipo multilinear-elastic, como se presenta en la siguiente Ilustración 61.

The screenshot shows the 'Link/Support Property Data' dialog box. It contains the following fields and options:

- Link/Support Type:** MultiLinear Elastic (dropdown menu)
- Property Name:** P2 (0.5 m) (text input)
- Property Notes:** (empty text area)
- Buttons:** Set Default Name, Modify/Show...
- P-Delta Parameters:**
 - ☒ Shear Couple
 - ☐ Equal End Moments
 - ☐ Advanced
 - Modify/Show button
- Total Mass and Weight:**
 - Mass: 0. (text input)
 - Weight: 0. (text input)
- Rotational Inertia:**
 - Rotational Inertia 1: 0. (text input)
 - Rotational Inertia 2: 0. (text input)
 - Rotational Inertia 3: 0. (text input)

Ilustración 61: Creación de links

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se debe tener presente que los resultados que proporciona el “Apile” con respecto a las curvas (t-z), los valores de las ordenadas deben de multiplicarse por el perímetro del pilote y por la longitud tributaria que se ha considerado 1m.

Mientras que los puntos de las curvas (P-y y Q-z) en sus ordenadas deben solo multiplicarse por la longitud tributaria de 1m. Haber afectado estos puntos es por la razón que los links al momento de ingresarlos en el CSIBridge están en unidades de fuerza.

Otra de las consideraciones que se debe tener en cuenta es que los links toman como referencia el sistema de coordenadas del CSIBridge.

El pilote en su sección longitudinal tomará en cuenta las curvas (t-z y p-y), donde los valores de t-z se los asignará al eje local U1 y P-y al eje local U2 y U3, como se indica en la Ilustración 62.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Elastic

Property Name: P2 (0.5 m)

Property Notes:

P-Delta Parameters:

- ☒ Shear Couple
- ☐ Equal End Moments
- ☐ Advanced

Total Mass and Weight:

Mass: 0

Weight: 0

Rotational Inertia 1: 0

Rotational Inertia 2: 0

Rotational Inertia 3: 0

Factors For Line, Area and Solid Springs:

Property is Defined for This Length in a Line Spring: 1

Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs: 1

Directional Properties:

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...

Stiffness Options:

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Nonlinear Stiffness

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Ilustración 62: Ejes de curvas t-z y p-y

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Los valores de q-z irán solo en la punta del pilote donde solo se lo asignará como U1, se lo indica en la siguiente Ilustración 63.

Link/Support Property Data

Link/Support Type: MultiLinear Elastic

Property Name: P2 (QZ)

Property Notes:

P-Delta Parameters:

- ☒ Shear Couple
- ☐ Equal End Moments
- ☐ Advanced

Total Mass and Weight:

Mass: 0

Weight: 0

Rotational Inertia 1: 0

Rotational Inertia 2: 0

Rotational Inertia 3: 0

Factors For Line, Area and Solid Springs:

Property is Defined for This Length in a Line Spring: 1

Property is Defined for This Area in Area and Solid Springs: 1

Directional Properties:

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...

Stiffness Options:

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Ilustración 63: Eje de curvas q-z

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Finalmente, se ingresarán los valores de las curvas (qz, tz y py), como se indica en la Ilustración 64.

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification

Property Name: P2 (QZ)

Direction: U1

Type: MultiLinear Elastic

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 0.

Effective Damping: 0.

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Displ	Force
1	-0.1273	-107172.2
2	-0.0955	-107172.2
3	-0.0637	-107172.2
4	-0.0465	-96465.2

Order Rows Delete Row Add Row 20

Ilustración 64: Curvas de carga axial de Q-z

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification

Property Name: P2 (0.5 m)

Direction: U1

Type: MultiLinear Elastic

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 0.

Effective Damping: 0.

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Displ	Force
1	-0.1273	-4423.53
2	-0.0318	-4423.53
3	-0.0191	-4423.53
4	-0.0127	-4423.53

Order Rows Delete Row Add Row 20

OK Cancel

Ilustración 65: Curvas de carga axial de t-z

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Link/Support Directional Properties

Edit

Identification

Property Name: P2 (0.5 m)

Direction: U2

Type: MultiLinear Elastic

NonLinear: Yes

Properties Used For Linear Analysis Cases

Effective Stiffness: 0.

Effective Damping: 0.

Shear Deformation Location

Distance from End-J: 0.

Multi-Linear Force-Deformation Definition

	Displ	Force
1	-0.0549	-407.8151
2	-0.038	-407.8151
3	-0.0296	-1060.75
4	-0.0211	-1713.684

Order Rows Delete Row Add Row 34

OK Cancel

Ilustración 66: Curvas de cargas laterales y axiales de P-y

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como modelo final con las Curvas (t-z, q-z y p-y) incorporadas en el CSIBridge se presenta en la siguiente Ilustración 67.

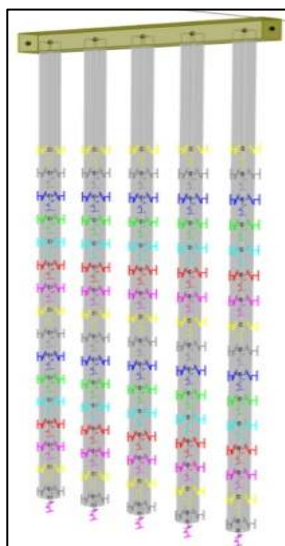


Ilustración 67: Curvas de transferencia de carga en CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.9. Determinación de Longitud de Empotramiento según CSIBridge

Considerando el modelo que se generó con la Interacción suelo-pilote-estructura se obtuvo una longitud de empotramiento, diferente a la que se asumió sin considerar la interacción que fue de 8 veces el lado del pilote. Teniendo presente esto a continuación se hará una comparación entre la longitud aparente según CSIBridge y la longitud asumida de 8 veces la longitud del pilote.

En la siguiente tabla se obtuvo las longitudes de los pilotes donde se generaban los máximos momentos, esto con la finalidad de restar con la longitud libre y obtener la Longitud de empotramiento aparente, que es de 2,44 metros.

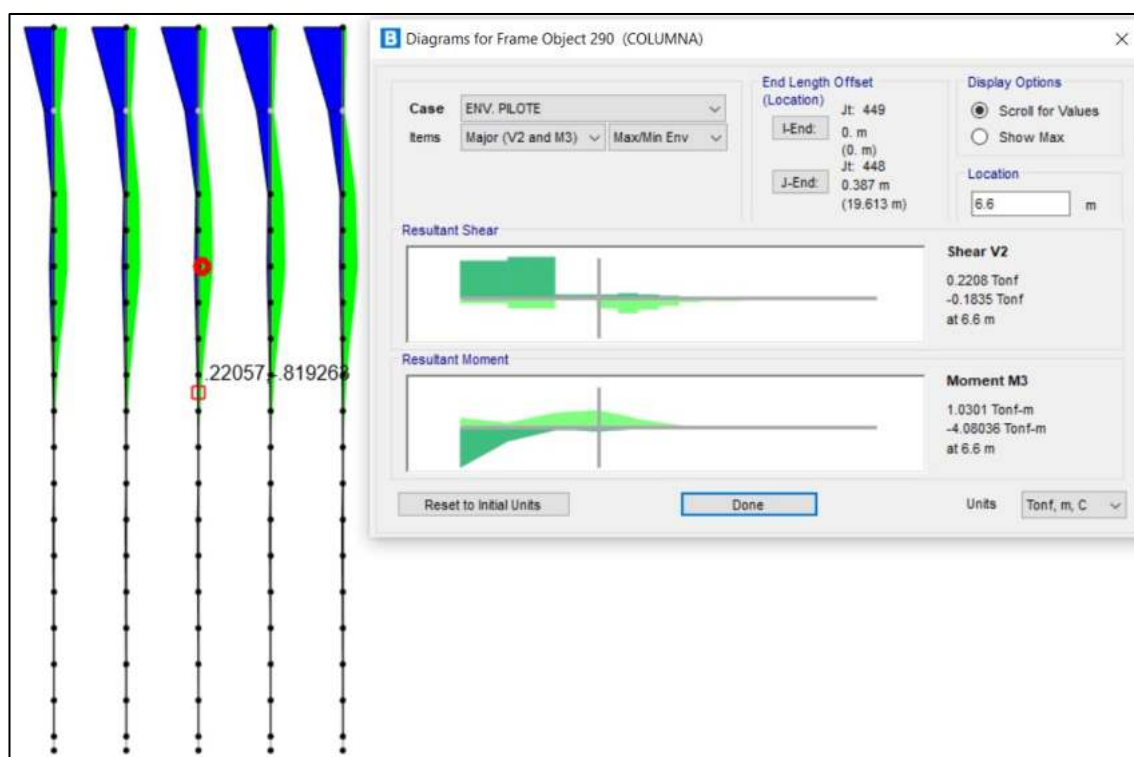


Ilustración 68: Longitud de empotramiento aparente considerando la interacción suelo-pilote-estructura

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

#PILOTE	PILA #2				
	CSIBridge				8 * lado del pilote
	Long. (Max. Momento)	Long. Libre	Empotramiento aparente (INTERACCIÓN)	Long. Total	Long. Total
	m	m	m	m	m
1	6.6	4.16	2.44	4.88	8.16
2	6.6		2.44	4.88	8.16
3	6.6		2.44	4.88	8.16
4	6.6		2.44	4.88	8.16
5	6.6		2.44	4.88	8.16

Tabla 69: Cálculo de longitud de empotramiento aparente

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10. Desempeño Sísmico mediante el Análisis no Lineal (Pushover)

4.10.1. Análisis de la Sección de la Pila del Puente.

4.10.1.1. Cargas que Influyen a la Pila.

Para el análisis no lineal (pushover) se considera sola la sección que influye a la pila que es el objeto de estudio, como se indica en la Ilustración.

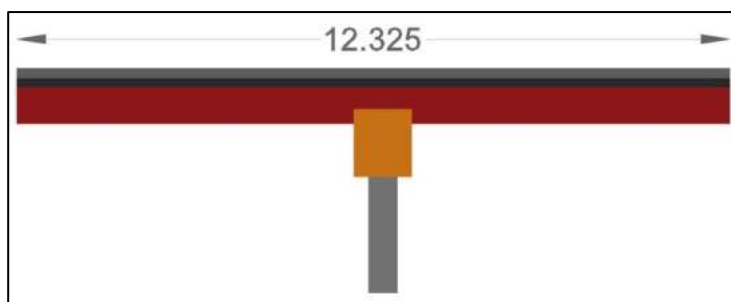


Ilustración 69: Bosquejo de la sección que se analizará

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

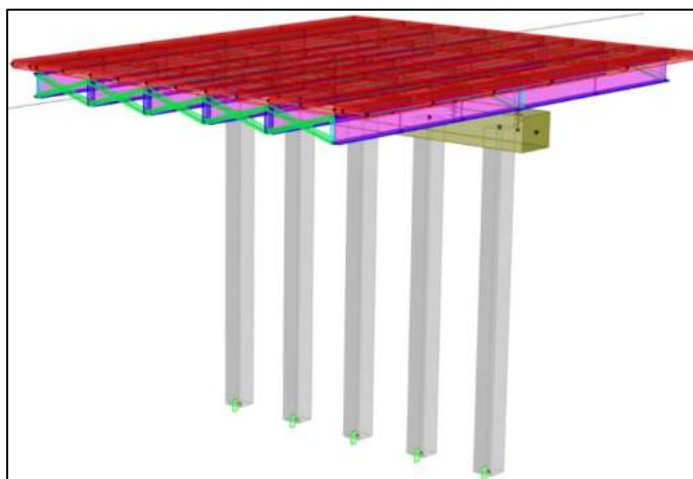


Ilustración 70: Bosquejo de la sección en 3D

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se presentará las cargas que influyen en la sección de estudio ya que será solo para un tramo de 12.325 metros.

CARGA MUERTA (DC)		
VIGAS METALICAS	10.54	ton
DIAFRAGMAS	32.05	ton
CONECTORES DE CORTE	0.00	ton
RIGIDIZADORES	0.17	ton
LOSA DE HORMIGON	56.97	ton
ACERA	4.97	ton
BARRERA NJ	0.009	ton
POSTES	0.48	ton
TUBOS	0.00017	ton
PESO TOTAL	105.19	ton
DESCARGA		
Descarga/viga	17.53	ton

Tabla 70: Carga Muerta

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

CARGA SOBREIMPUESTA (DW)		
PAVIMENTO	12.47	ton
PESO TOTAL	12.47	ton
DESCARGA		
Descarga/viga	2.08	ton

Tabla 71. Carga Sobreimpuesta (DW)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Entre una de las cargas que actúan en el tablero del puente es la carga viva vehicular (HL-93), donde se considera el camión de diseño, tándem de diseño y dos camiones de diseño para momento negativo entre puntos de contra flexión, como lo propone la (AASHTO, 2017).

Mediante el modelo CSI Bridge (Modelo Simplificado), se logró obtener las descargas que genera esta carga vehicular HL-93 en cada viga como lo presenta la siguiente tabla:

#	HL-93		
	CORTANTE		TOTAL
V1	8.4854	9.4826	17.97
V2	16.4796	16.6928	33.17
V3	19.7146	20.3281	40.04
V4	19.7149	20.3283	40.04
V5	16.4808	16.6946	33.18
V6	8.484	9.4805	17.96

Tabla 72: Descarga de HL-93

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10.1.2. Asignación de Materiales y Elementos.

De acuerdo a los planos que se ha otorgado para este análisis del comportamiento de la Pila del puente, se ha considerado las siguientes secciones con su respectivo diseño.

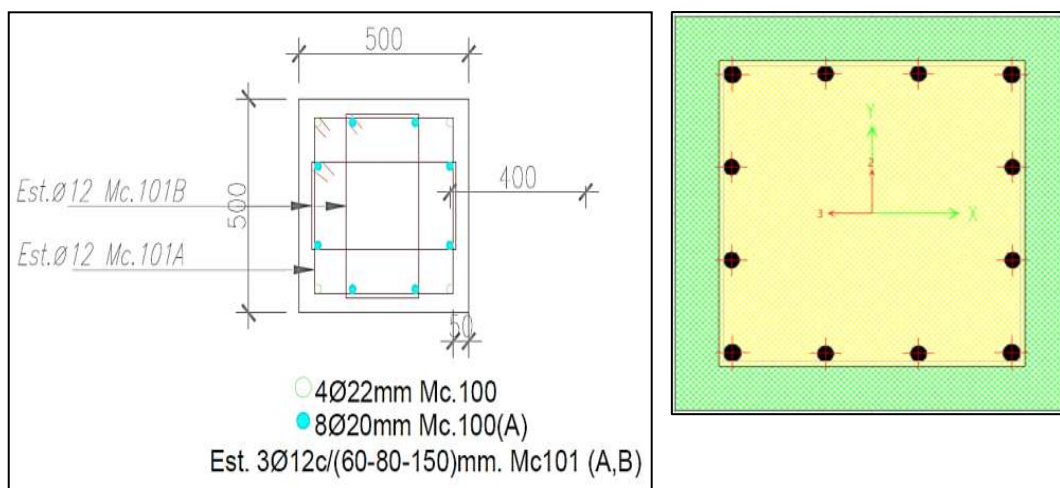


Ilustración 71: Columna con su respectiva cantidad de acero

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

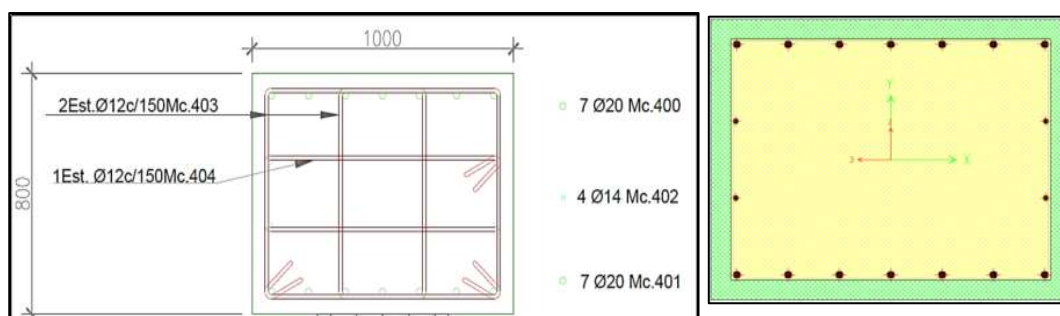


Ilustración 72: Viga con su respectiva cantidad de acero

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

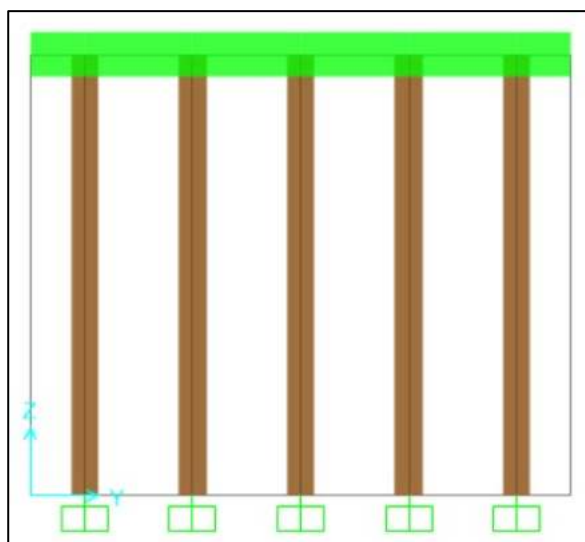


Ilustración 73. Pila tipo pórtico

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10.1.3. Definir Casos de Cargas no Lineales.

Se ha considerado una carga gravitacional no lineal, con la finalidad de ser conservadores en el análisis que se va amplificar mayorando las cargas que se va a tener en cuenta, como se presenta a continuación.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: CGNL **Set Def Name** **Modify/Show...**

Initial Conditions:
☒ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☐ Continue from State at End of Nonlinear Case
 Important Note: Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case:
 All Modal Loads Applied Use Modes from Case **MODAL**

Loads Applied

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	VEHICULOS	1.5
Load Pattern	DEAD	1.25
Load Pattern	SC PUENTE	1.25
Load Pattern	ASFALTO	1.5
Load Pattern	VEHICULOS	1.5

Other Parameters:
 Load Application: Full Load **Modify/Show...**
 Results Saved: Final State Only **Modify/Show...**
 Nonlinear Parameters: Default **Modify/Show...**

Load Case Type: Static **Design...**

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:
☒ None
☐ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: Previous

OK **Cancel**

Ilustración 74: Carga gravitacional no lineal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10.1.4. Definición de Caso Pushover.

Para este caso se planteará el procedimiento del análisis pushover multimodo, lo cual indica que se basa en las definiciones de la dinámica estructural, diferente de otros métodos, el que se utilizará toma en cuenta el efecto de varios modos de vibración y del modo principal considerando la respuesta dinámica inelástica de sistemas de un solo grado de libertad que protagoniza a cada modo de vibración.

Load Case Data - Nonlinear Static

Load Case Name: PUSH Y **Set Def Name** **Notes:** Modify/Show...

Initial Conditions:
☐ Zero Initial Conditions - Start from Unstressed State
☒ Continue from State at End of Nonlinear Case **CGNL** **Important Note:** Loads from this previous case are included in the current case

Modal Load Case: All Modal Loads Applied Use Modes from Case **MODAL**

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Scale Factor
Mode	1	1.
Mode	1	1.

Add **Modify** **Delete**

Load Case Type: Static **Design...**

Analysis Type:
☐ Linear
☒ Nonlinear

Geometric Nonlinearity Parameters:
☒ None
☐ P-Delta
☐ P-Delta plus Large Displacements

Mass Source: MSSSRC1

Other Parameters:
Load Application: Displ Control **Modify/Show...**
Results Saved: Multiple States **Modify/Show...**
Nonlinear Parameters: Default **Modify/Show...**

OK **Cancel**

Ilustración 75: Análisis pushover multimodo

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10.1.5. Asignación de Rótulas Plásticas.

La (ASCE/SEI 41-13, 2014) especifica factores, para la ubicación de rotulas tanto en columnas como en vigas.

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
						Performance Level		
			a	b	c	IO	LS	CP
Condition i. Beams controlled by flexure ^b								
$\rho - \rho'$	Transverse reinforcement ^c	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$ ^d						
ρ_{bal}								
≤ 0.0	C	≤ 3 (0.25)	0.025	0.05	0.2	0.010	0.025	0.05
≤ 0.0	C	≥ 6 (0.5)	0.02	0.04	0.2	0.005	0.02	0.04
≥ 0.5	C	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≥ 0.5	C	≥ 6 (0.5)	0.015	0.02	0.2	0.005	0.015	0.02
≤ 0.0	NC	≤ 3 (0.25)	0.02	0.03	0.2	0.005	0.02	0.03
≤ 0.0	NC	≥ 6 (0.5)	0.01	0.015	0.2	0.0015	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≤ 3 (0.25)	0.01	0.015	0.2	0.005	0.01	0.015
≥ 0.5	NC	≥ 6 (0.5)	0.005	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition ii. Beams controlled by shear ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.2	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.2	0.0015	0.005	0.01
Condition iii. Beams controlled by inadequate development or splicing along the span ^b								
Stirrup spacing $\leq d/2$			0.0030	0.02	0.0	0.0015	0.01	0.02
Stirrup spacing $> d/2$			0.0030	0.01	0.0	0.0015	0.005	0.01
Condition iv. Beams controlled by inadequate embedment into beam-column joint ^b								
			0.015	0.03	0.2	0.01	0.02	0.03
NOTE: f'_c in lb/in. ² (MPa) units.								
^a Values between those listed in the table should be determined by linear interpolation.								
^b Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occur for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.								
^c "C" and "NC" are abbreviations for conforming and nonconforming transverse reinforcement, respectively. Transverse reinforcement is conforming if, within the flexural plastic hinge region, hoops are spaced at $\leq d/3$, and if, for components of moderate and high ductility demand, the strength provided by the hoops (V_s) is at least 3/4 of the design shear. Otherwise, the transverse reinforcement is considered nonconforming.								
^d V is the design shear force from NSP or NDP.								

Tabla 73: Parámetros para rótulas plásticas en vigas

Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014)

Conditions			Modeling Parameters ^a			Acceptance Criteria ^a		
			Plastic Rotations Angle (radians)		Residual Strength Ratio	Plastic Rotations Angle (radians)		
						Performance Level		
a	b	c	IO	LS	CP			
Condition i. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.035	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≤ 0.1	≤ 0.002		0.027	0.034	0.2	0.005	0.027	0.034
≥ 0.6	≤ 0.002		0.005	0.005	0.0	0.002	0.004	0.005
Condition ii. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f'_c}}$						
≤ 0.1	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.032	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≤ 0.1	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.025	0.060	0.2	0.005	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006	$\leq 3 (0.25)$	0.010	0.010	0.0	0.003	0.009	0.010
≥ 0.6	≥ 0.006	$\geq 6 (0.5)$	0.008	0.008	0.0	0.003	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.012	0.012	0.2	0.005	0.010	0.012
≤ 0.1	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.006	0.006	0.2	0.004	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\leq 3 (0.25)$	0.004	0.004	0.0	0.002	0.003	0.004
≥ 0.6	≤ 0.0005	$\geq 6 (0.5)$	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iii. ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.0	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.0	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.0	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Condition iv. Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height ^b								
$\frac{P}{A_g f'_c}$	$\rho = \frac{A_v}{b_w s}$							
≤ 0.1	≥ 0.006		0.0	0.060	0.4	0.0	0.045	0.060
≥ 0.6	≥ 0.006		0.0	0.008	0.4	0.0	0.007	0.008
≤ 0.1	≤ 0.0005		0.0	0.006	0.2	0.0	0.005	0.006
≥ 0.6	≤ 0.0005		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NOTE: f'_c is in lb/in.² (MPa) units.

^aValues between those listed in the table should be determined by linear interpolation.

^bRefer to Section 10.4.2.2.2 for definition of conditions i, ii, and iii. Columns are considered to be controlled by inadequate development or splices where the calculated steel stress at the splice exceeds the steel stress specified by Eq. (10-2). Where more than one of conditions i, ii, iii, and iv occurs for a given component, use the minimum appropriate numerical value from the table.

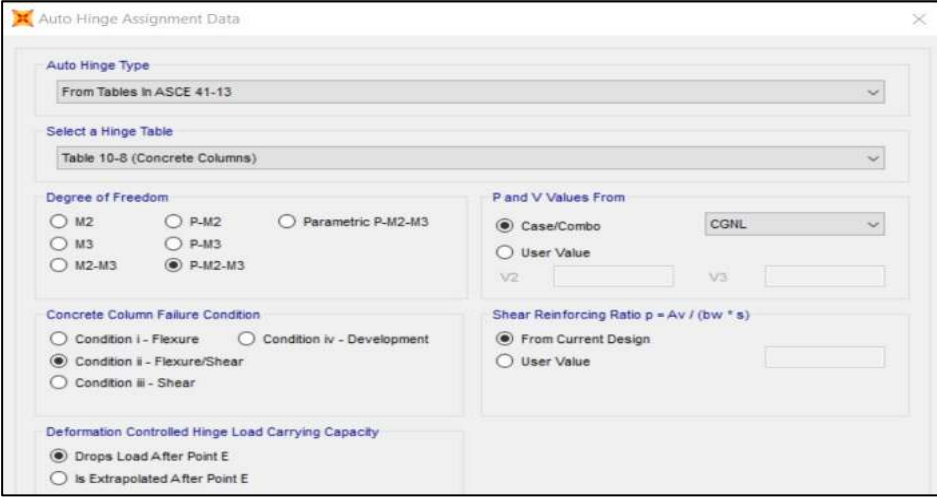
^cWhere $P > 0.7A_g f'_c$, the plastic rotation angles should be taken as zero for all performance levels unless the column has transverse reinforcement consisting of hoops with 135-degree hooks spaced at $\leq d/3$ and the strength provided by the hoops (V_t) is at least 3/4 of the design shear. Axial load P should be based on the maximum expected axial loads caused by gravity and earthquake loads.

^d V is the design shear force from NSP or NDP.

Tabla 74: Parámetros para rótulas plásticas en columnas

Fuente: (ASCE/SEI 41-13, 2014)

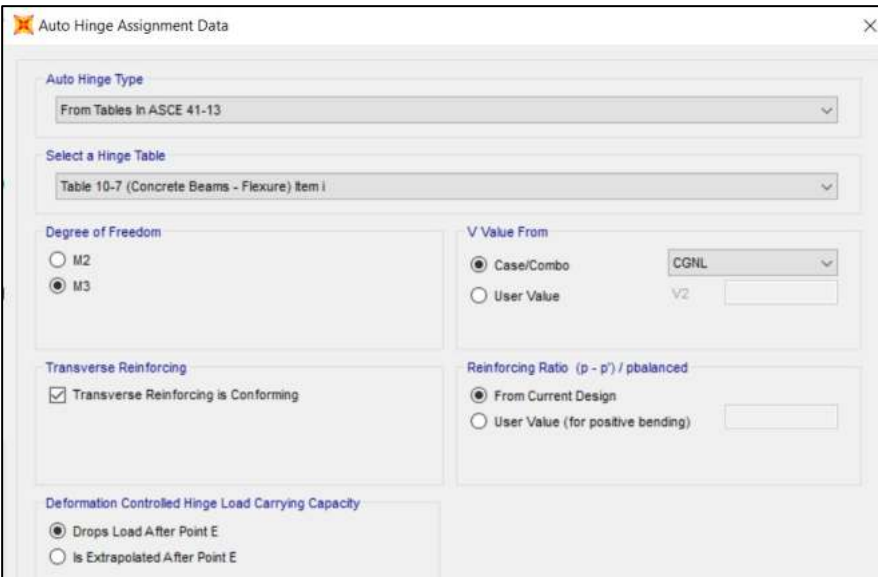
Teniendo presente estos criterios se crearon y se asignar las rotulas plásticas en vigas y en columnas.



The screenshot shows the 'Auto Hinge Assignment Data' dialog box. The 'Auto Hinge Type' is set to 'From Tables In ASCE 41-13'. The 'Select a Hinge Table' is set to 'Table 10-8 (Concrete Columns)'. Under 'Degree of Freedom', 'P-M2-M3' is selected. Under 'Concrete Column Failure Condition', 'Condition ii - Flexure/Shear' is selected. Under 'P and V Values From', 'Case/Combo' is selected with 'CGNL' in the dropdown. Under 'Shear Reinforcing Ratio $p = A_v / (b_w * s)$ ', 'From Current Design' is selected. Under 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity', 'Drops Load After Point E' is selected.

Ilustración 76: Rótulas plásticas en columnas

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega



The screenshot shows the 'Auto Hinge Assignment Data' dialog box. The 'Auto Hinge Type' is set to 'From Tables In ASCE 41-13'. The 'Select a Hinge Table' is set to 'Table 10-7 (Concrete Beams - Flexure) Item i'. Under 'Degree of Freedom', 'M3' is selected. Under 'V Value From', 'Case/Combo' is selected with 'CGNL' in the dropdown. Under 'Transverse Reinforcing', 'Transverse Reinforcing is Conforming' is checked. Under 'Reinforcing Ratio $(p - p') / p_{balanced}$ ', 'From Current Design' is selected. Under 'Deformation Controlled Hinge Load Carrying Capacity', 'Drops Load After Point E' is selected.

Ilustración 77: Rótulas plásticas en vigas

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

4.10.1.6. Resultados del Análisis (Formación de Rótulas Plásticas).

A continuación, presentamos la secuencia de formación de rotulas plásticas debido al incremento monotonico de las cargas laterales.

El análisis presenta 44 pasos de los cuales presentaremos el estado de las rotulas plásticas de los pasos 13, 25 y 44 para observar el Nivel de daño que provoca cada rótula y conocer su desplazamiento.

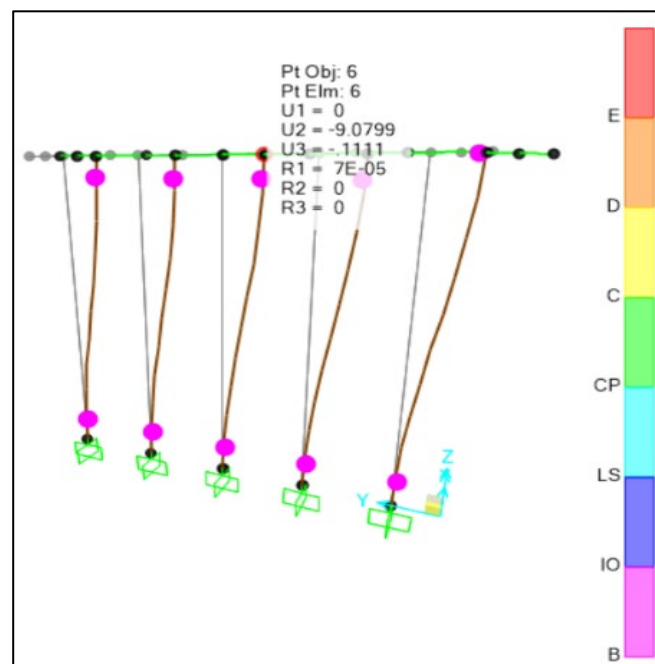


Ilustración 78: Paso 13. Nivel de ocupación inmediata

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con un desplazamiento de 9,08 cm la estructura ha entrado al punto de fluencia, es decir recién empezó a ceder, donde las rótulas plásticas se comenzaron a formar tanto en pilotes como en vigas.

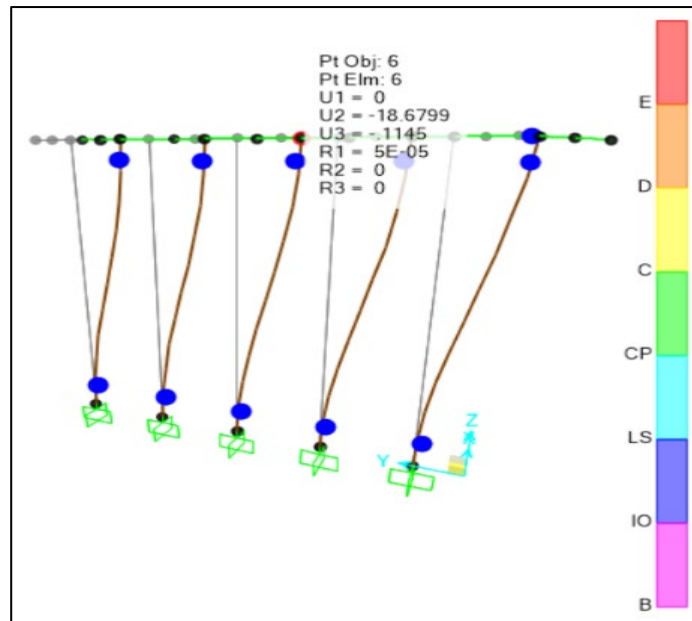


Ilustración 79: Paso 25. Rango de seguridad limitada (Columna)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con una deformación de 18,68 cm podemos apreciar que la estructura, ha entrado en su totalidad en el rango inelástico, es decir, el sismo afectó algo leve a la estructura.

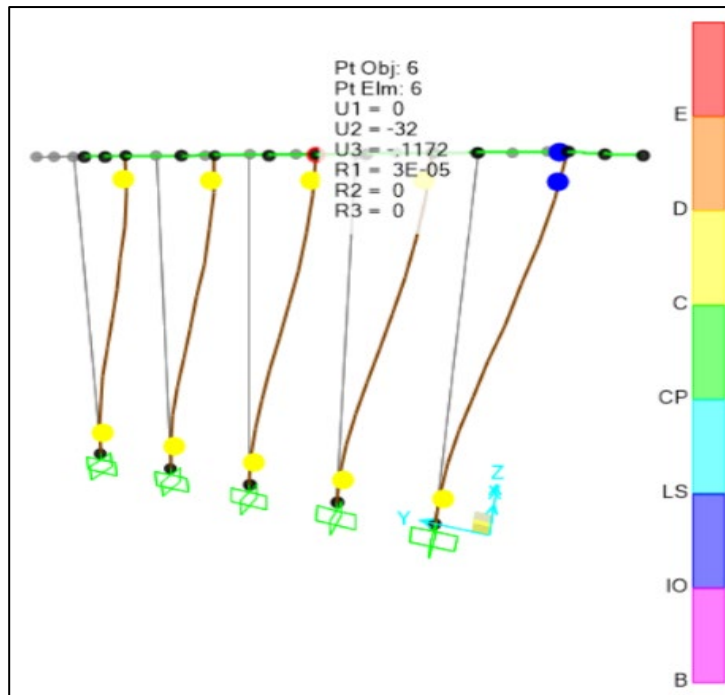


Ilustración 80: Paso 44. Rango de seguridad limitada (Viga)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con una deformación de 32 cm la estructura ha llegado a su nivel de daño en el rango de seguridad limitada lo que significa que esta previo al colapso.

4.10.1.7. Curva de Capacidad de la Estructura.

Se presenta la curva de capacidad del sistema pilote-viga cabezal, obtenida por el análisis no lineal estático por el método pushover.

Esta curva representa la relación entre el desplazamiento y la fuerza cortante máxima, que puede resistir, en la cual podemos verificar con el punto de desempeño el nivel de aceptación del sistema.

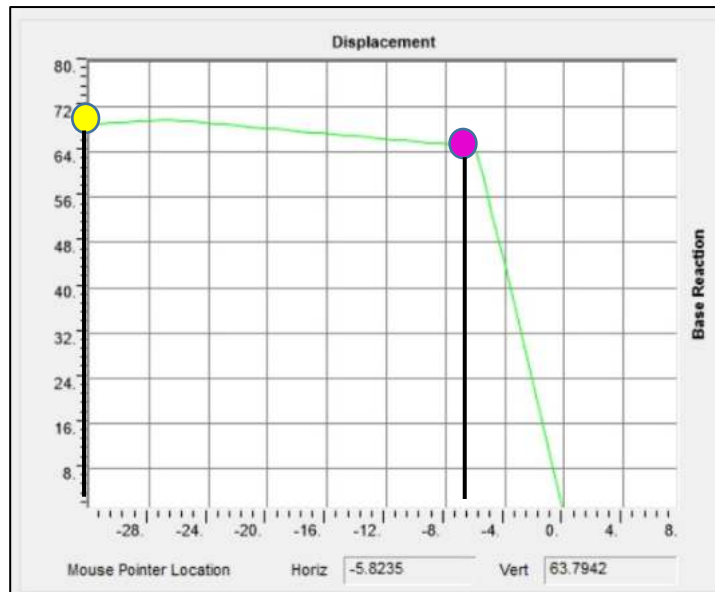


Ilustración 81: Curva de capacidad

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

PARAMETROS PARA DETERMINAR LA DUCTILIDAD DE LA CAPACIDAD		
PUNTO	DESPLAZAMIENTO (cm)	CORTANTE (cm)
DESPLAZAMIENTO CECENTE	5.82	63,79
DESPLAZAMIENTO ULTIMO	32	68,94

Tabla 75: Valores obtenidos de la curva

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Considerando los valores obtenidos de la curva podemos calcular la ductilidad de la Pila. La ductilidad es la capacidad que tiene un elemento o un sistema de deformarse sin sufrir daños permanentes o la capacidad de recuperar su estado inicial y de esta forma no presentar deformaciones remanentes.

$$\mu = \frac{32}{5,82} = 5.50 \quad (5)$$

Lo que podemos determinar es que la ductilidad del pórtico (pilote-viga cabezal) es de 5.50.

4.10.1.8. Punto de Desempeño.

Según la (FEMA 440 – Displacement Modification), tenemos:

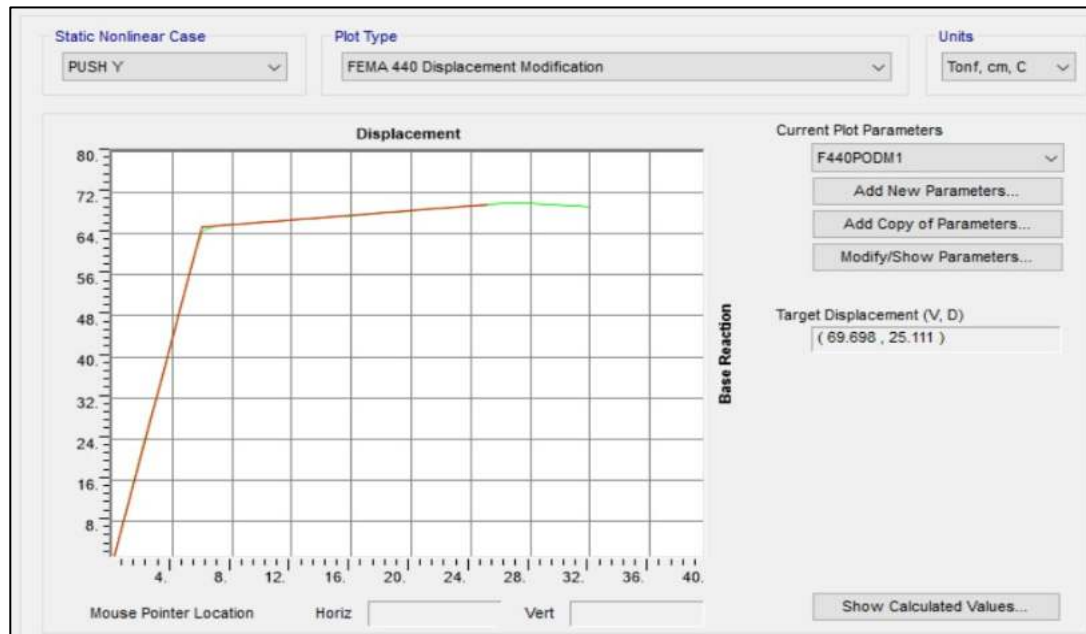


Ilustración 82: Punto de Desempeño

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para un nivel de amenaza sísmica de (7%) de probabilidad de ser excedidos en 75 años y un periodo de retorno aproximado a mil años, el punto de desempeño por la metodología del FEMA 440 (Displacement Modification) es: **25,11 cm** y un cortante máximo de **69,69 ton**, esto representa a la demanda tanto en desplazamiento como en fuerza impuesta por el sismo que tiene que ser disipada por el sistema pilote-viga cabezal.

4.11. Chequear Secciones Estructurales

4.11.1. Pilotes (Modelo Interacción).

Se deberá obtener las demandas por cada pila, en este caso será la numero dos, para eso se ha creado una envolvente donde se ha considerado el estado límite de Resistencia I, Evento Extremo I en ambas direcciones, teniendo en cuenta su respectivo R de diseño para pilotes que sería $R=3$.

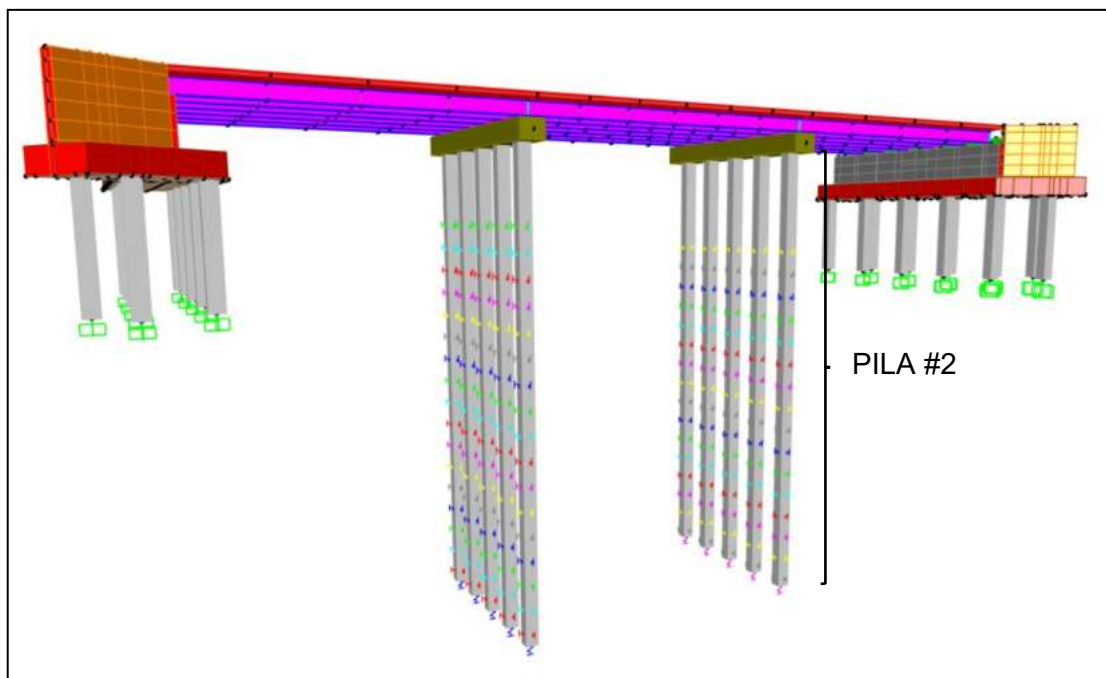


Ilustración 83: Modelo con interacción en CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el diseño del pilote se ha considerado el modelo con la interacción suelo-pilote-estructura, la cual se va a considerar solo la segunda pila que es el objeto de estudio.

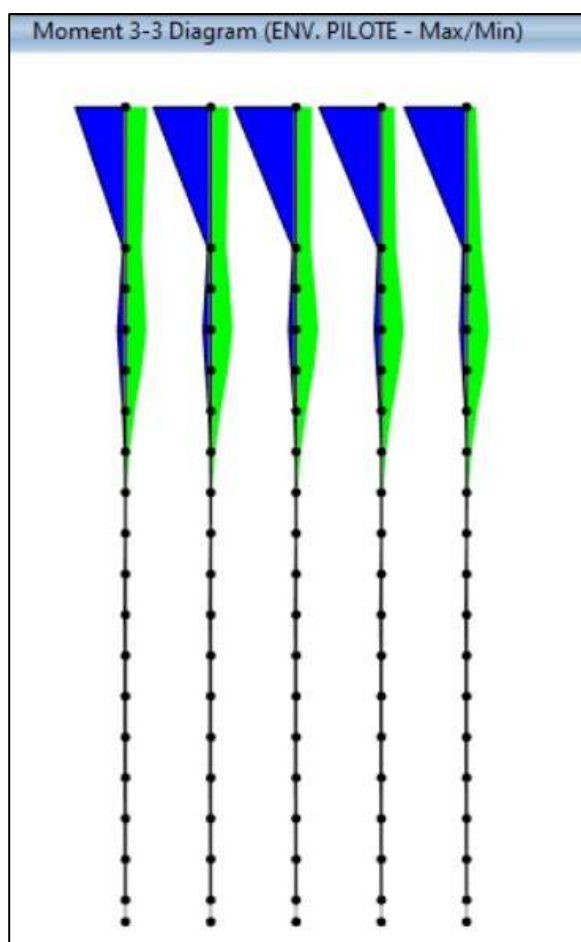


Ilustración 84: Diagrama de momento (Envolvente Pilote)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Debido a que son varios valores los que presenta como resultado el CSI Bridge se a optado por presentar una tabla resumen:

Demandas Obtenidas del CSI Bridge			
Valores Máximos			
Nº Pilote	Cominaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
1	RESISTENCIA I	20.09	14.72
		21.43	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	75.70	2.41
		0.10	0.14
2	RESISTENCIA I	0.04	0.05
		18.10	14.64
	EVENTO EXTREMO I X	19.76	0.07
		71.41	3.09
3	RESISTENCIA I	64.52	0.13
		19.06	0.05
	EVENTO EXTREMO I X	17.60	14.45
		19.35	0.07
4	RESISTENCIA I	74.59	3.73
		67.09	0.13
	EVENTO EXTREMO I X	19.29	0.05
		21.48	13.47
5	RESISTENCIA I	22.56	0.06
		74.08	4.25
	EVENTO EXTREMO I X	66.74	0.12
		19.81	0.05
5	RESISTENCIA I	30.08	11.85
		29.70	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	87.24	5.19
		77.67	0.11
5	EVENTO EXTREMO I Y	23.91	0.05

Tabla 76: Demandas presentadas por el CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se presentará también las curvas de interacción que genera el programa debido a la sección que se tomó en cuenta.

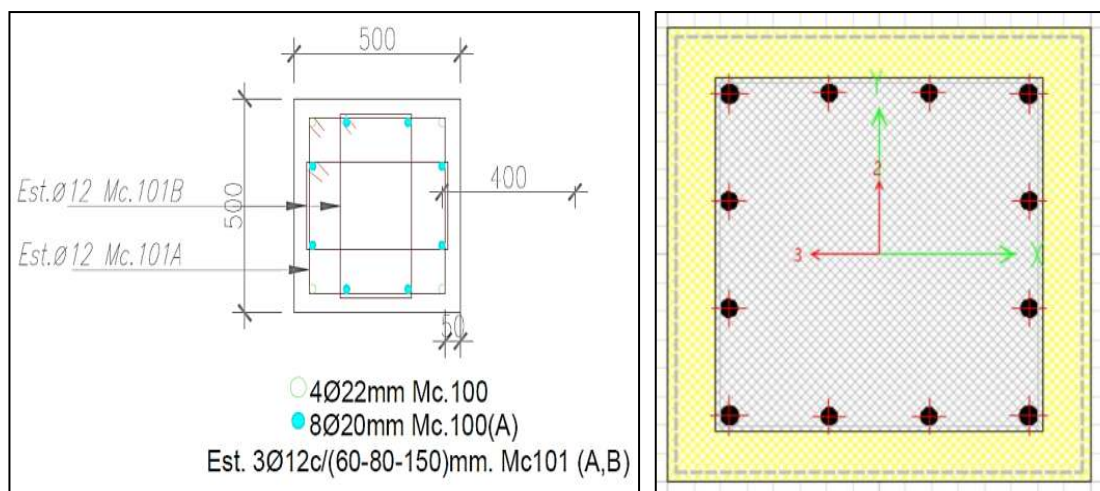


Ilustración 85: Sección del pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

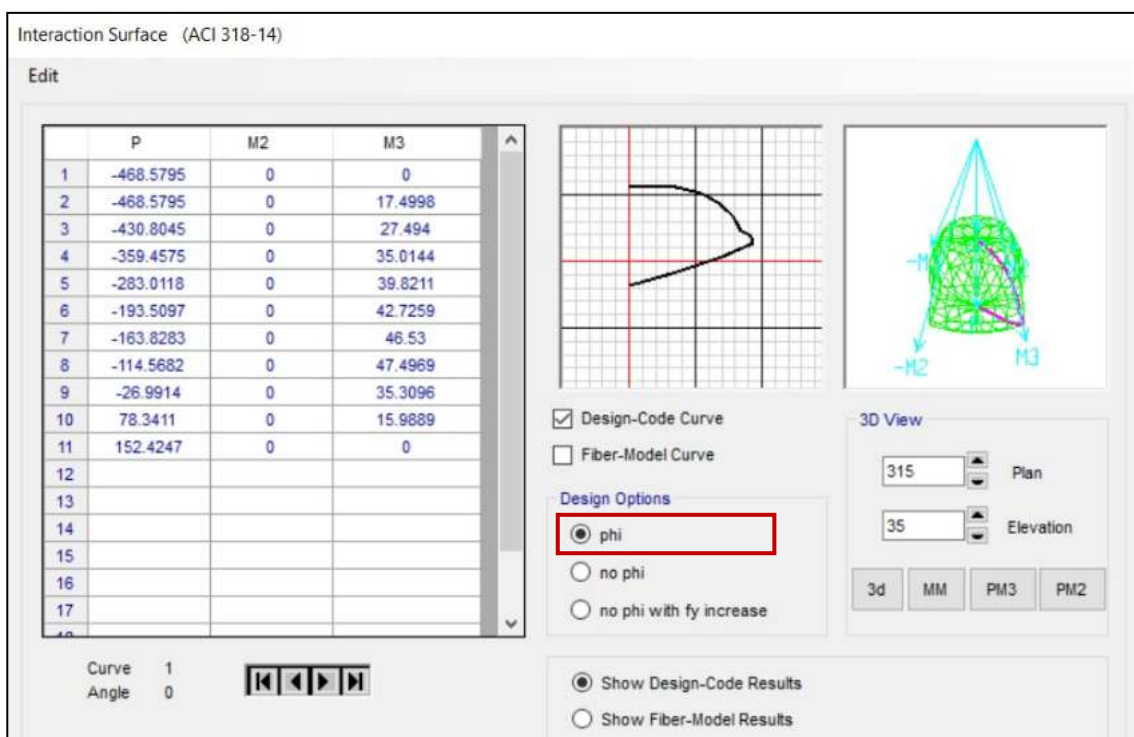


Ilustración 86: Curvas que genera la sección del pilote

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se ha tomado en cuenta el diagrama de interacción que propone el CSI Bridge lo cual lo ha generado, considerando los valores de diseño como se indica en la Ilustración 85.

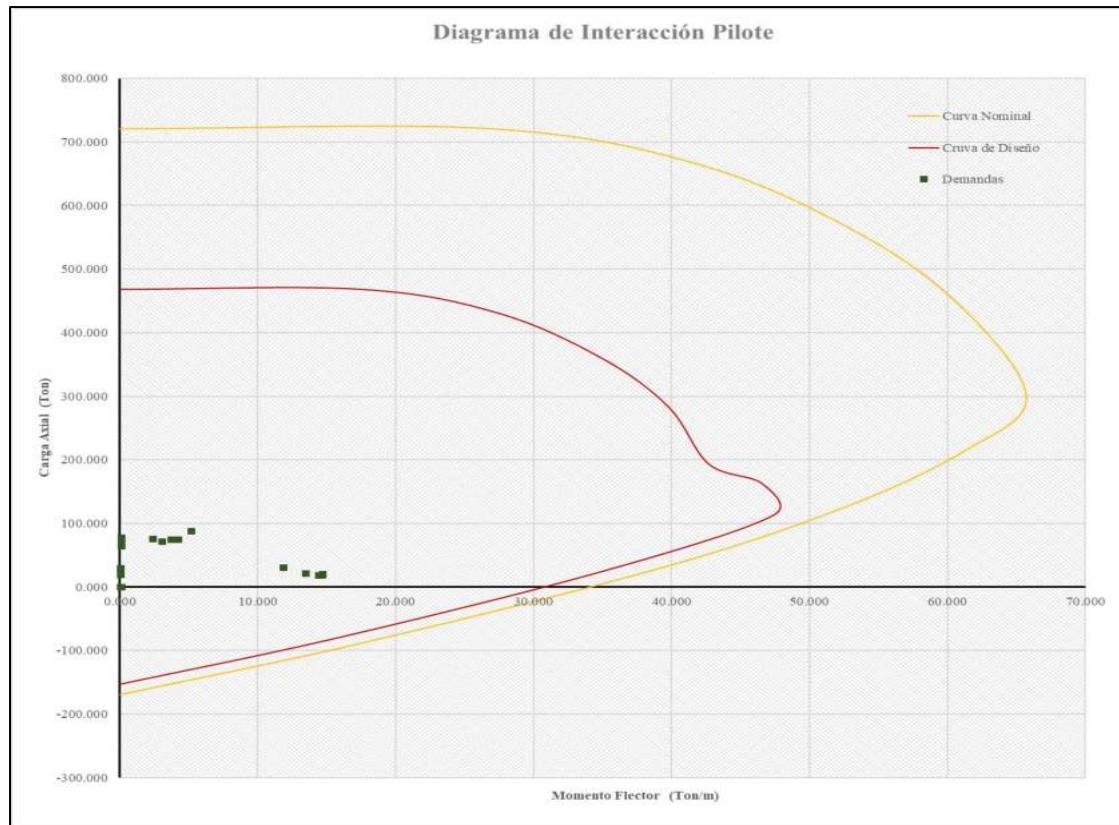


Ilustración 87: Diagrama de interacción (P-M3)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como se puede observar en el diagrama de interacción las demandas se encuentran dentro de la curva de diseño, esto quiere decir que el pilote y su armado cumplen los requisitos para las cargas a flexo-compresión.

4.11.2. Viga Cabezal (Modelo Interacción).

Como se detalló anteriormente, ahora para el diseño de la viga cabezal, se presentarán las demandas de este elemento con su respectiva envolvente de viga cabezal, que toma en cuenta el estado límite de Resistencia I, Evento Extremo I en ambas direcciones y considerando un $R=1$.

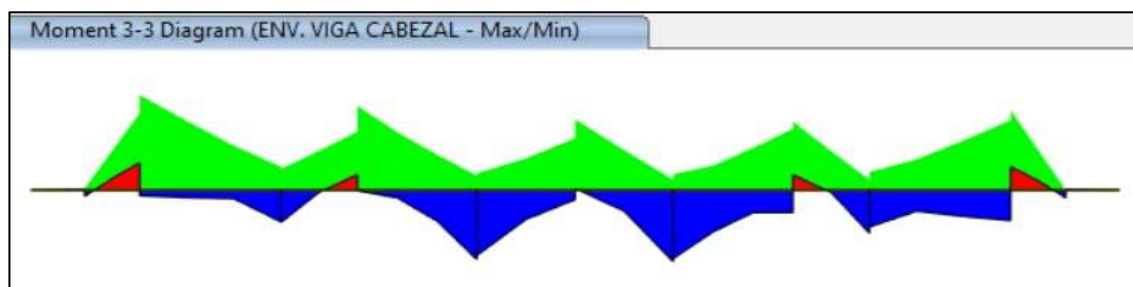


Ilustración 87: Diagrama de momento en Viga cabezal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Demandas Obtenidas del CSI Bridge			
Valores Máximos			
Sección	Cominaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
VIGA CABEZAL	RESISTENCIA I	0.15	0.00
	EVENTO EXTREMO I X	0.15	0.24
	EVENTO EXTREMO I Y	-1.10	2.82
	EVENTO EXTREMO I Y	1.57	3.72
	EVENTO EXTREMO I Y	3.13	8.92
	RESISTENCIA I	2.66	17.73
	EVENTO EXTREMO I X	0.74	19.93
	EVENTO EXTREMO I X	0.74	12.33
	EVENTO EXTREMO I Y	0.74	14.53
	EVENTO EXTREMO I Y	4.46	12.83
	RESISTENCIA I	1.22	17.14
	EVENTO EXTREMO I X	1.22	15.60
	EVENTO EXTREMO I X	4.97	14.67
	EVENTO EXTREMO I Y	4.97	18.72
	EVENTO EXTREMO I Y	4.97	27.21
	RESISTENCIA I	-0.95	14.14
	EVENTO EXTREMO I X	2.73	14.23
	EVENTO EXTREMO I X	2.73	12.09
	EVENTO EXTREMO I Y	2.73	15.76
	EVENTO EXTREMO I Y	-1.59	15.95
	RESISTENCIA I	3.06	15.76
	EVENTO EXTREMO I X	1.53	4.67
	EVENTO EXTREMO I X	0.07	5.39
	EVENTO EXTREMO I Y	0.07	0.23
	EVENTO EXTREMO I Y	0.00	0.04

Tabla 77: Demandas presentadas por CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

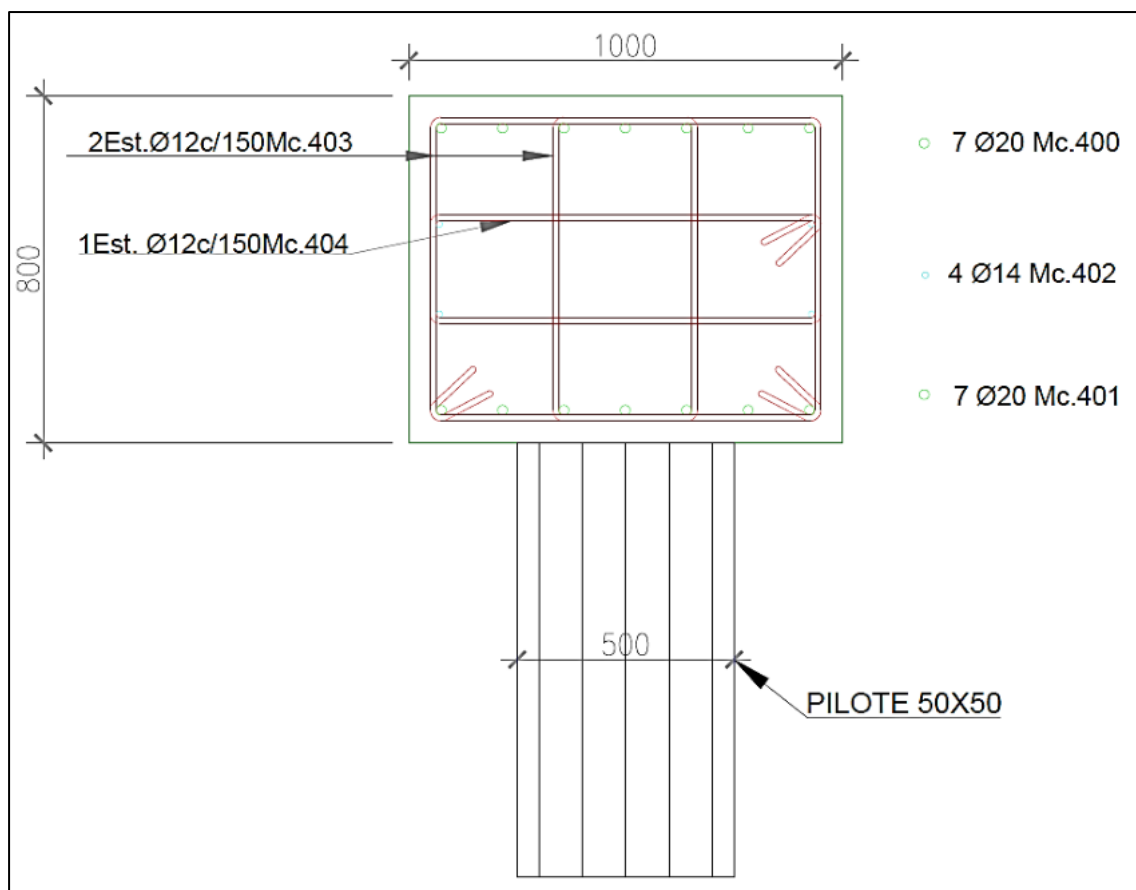


Ilustración 88: Sección de viga cabezal
Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Con las demandas que se obtuvo del CSI Bridge y la cantidad de acero necesario se pudo chequear la flexión y cortante de la viga cabezal, obteniendo las siguientes gráficas.

Para un acero máximo a flexión:

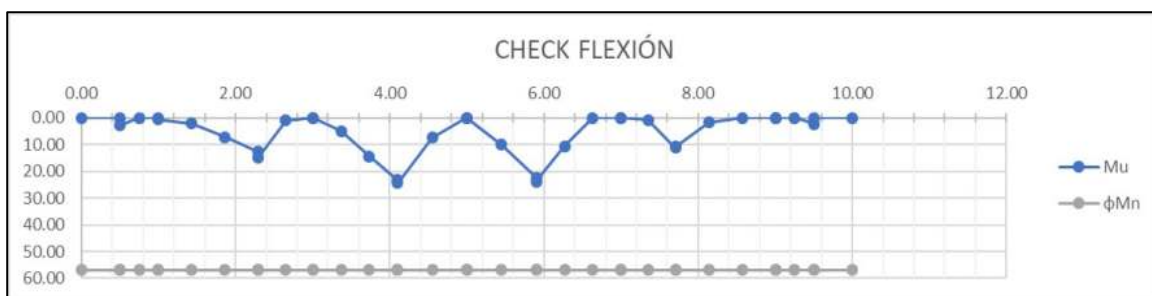


Ilustración 89: Flexión (acero máximo positivo)
Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para un acero máximo a cortante:

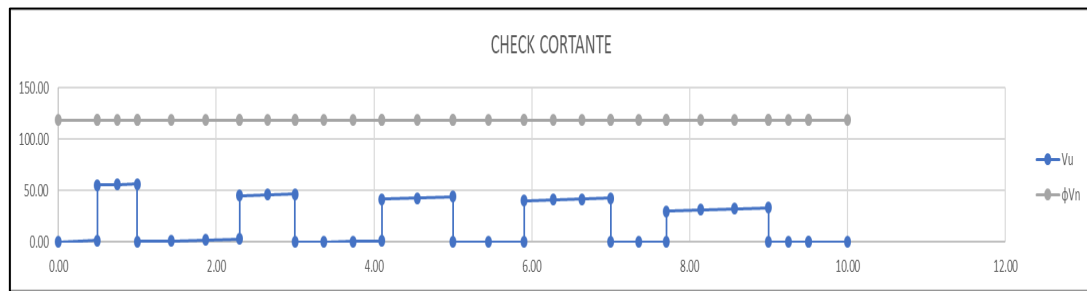


Ilustración 90: Cortante (acero máximo positivo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Considerando estas dos graficas se ha determinado que para su verificación y chequeo cumple con los requerimientos ya que $\phi M_n > M_u$ y $\phi V_n > V_u$.

A continuación, se presentará:

Para un acero negativo

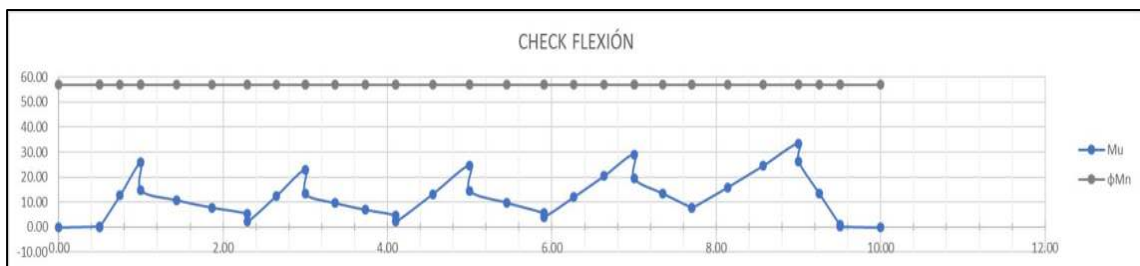


Ilustración 91: Flexión (acero mínimo negativo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para un acero mínimo a cortante:

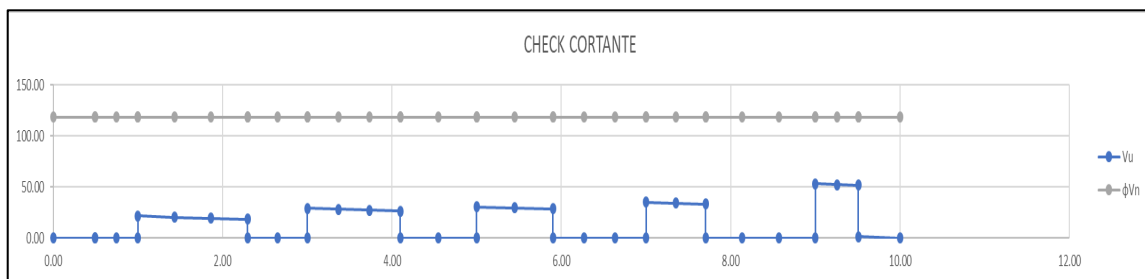


Ilustración 92: Cortante (acero mínimo negativo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como se puede observar en las gráficas la viga cabezal cumple con todos los requerimientos con su acero positivo y negativo como corresponde.

4.11.3. Pilotes (Modelo Simplificado).

Para el modelo simplificado se tomó en cuenta una longitud de empotramiento de 8 veces la sección del pilote, es decir que el pilote tendrá una longitud total de 8.16 metros.

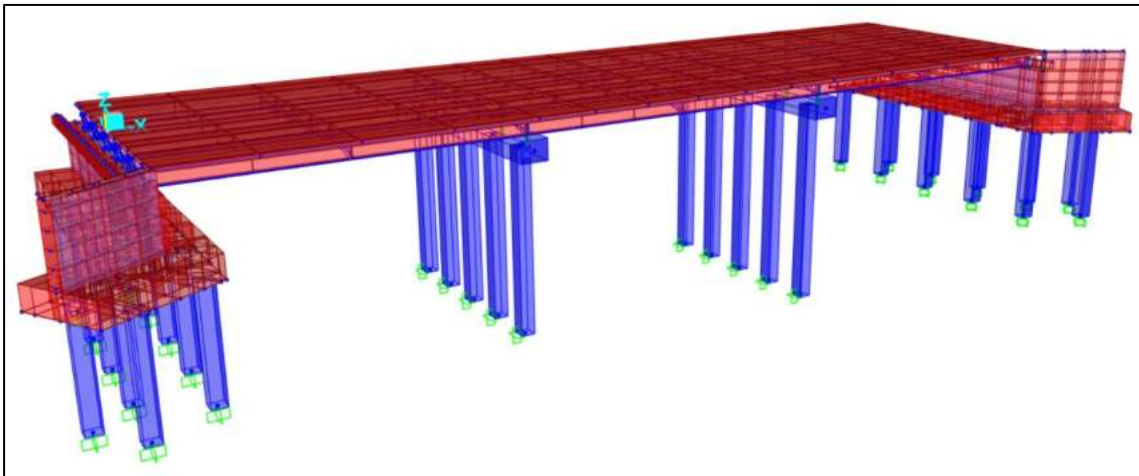


Ilustración 88: Modelo Simplificado

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Considerando este modelo simplificado, se hará el respectivo análisis del pilote.

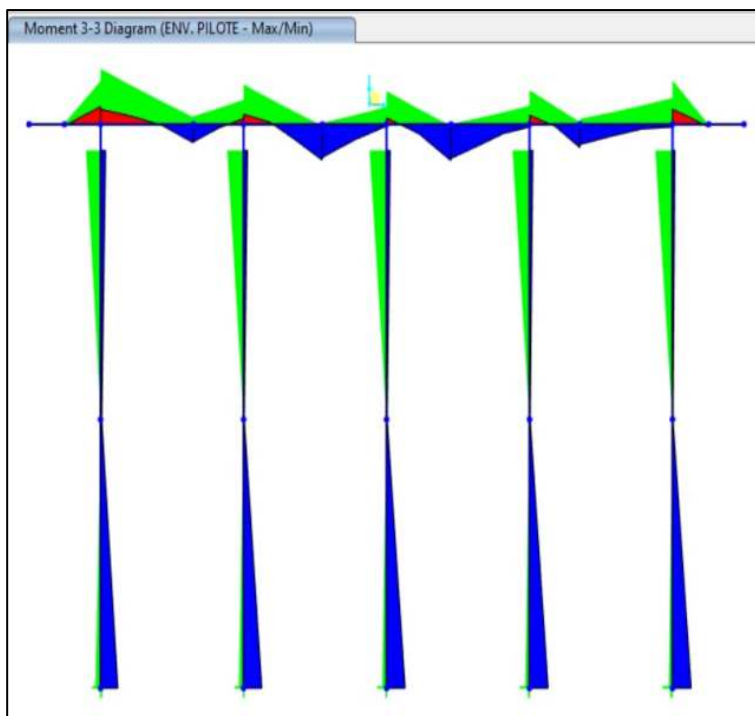


Ilustración 89: Diagrama de momento (Pila#2)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para el chequeo a flexo-compresión de los pilotes se evaluará con las demandas máximas que se han generado en el CSI Bridge.

Demandas Obtenidas del CSI Bridge			
Valores Máximos			
Nº Pilote	Combinaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
1	RESISTENCIA I	27.38	14.10
	EVENTO EXTREMO X	84.25	4.61
	EVENTO EXTREMO Y	79.27	12.07
2	RESISTENCIA I	21.83	14.05
	EVENTO EXTREMO X	77.65	4.78
	EVENTO EXTREMO Y	72.67	11.89
3	RESISTENCIA I	19.82	14.04
	EVENTO EXTREMO X	83.32	4.87
	EVENTO EXTREMO Y	78.34	11.85
4	RESISTENCIA I	22.42	13.81
	EVENTO EXTREMO X	77.21	4.89
	EVENTO EXTREMO Y	72.23	11.43
5	RESISTENCIA I	38.12	13.18
	EVENTO EXTREMO X	95.16	5.12
	EVENTO EXTREMO Y	90.17	10.22

Tabla 78: Demandas máximas para evaluar pilotes

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

A continuación, se presentará el diagrama de interacción que se a generado con la sección de los pilotes.

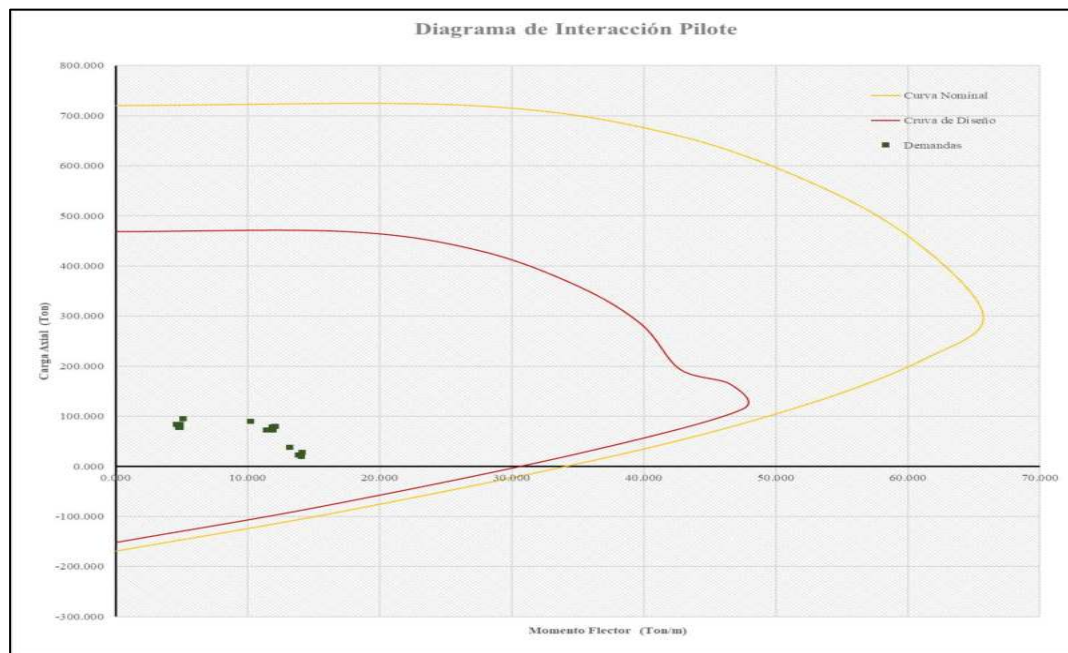


Ilustración 90: Diagrama de Interacción

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Como se puede observar en el diagrama de interacción, con respecto a las combinaciones de carga que se utilizó quedaron dentro de la curva por lo tanto satisface los requerimientos.

4.11.3. Viga Cabezal (Modelo Simplificado).

Para este modelo se analizará la viga cabezal de la Pila:

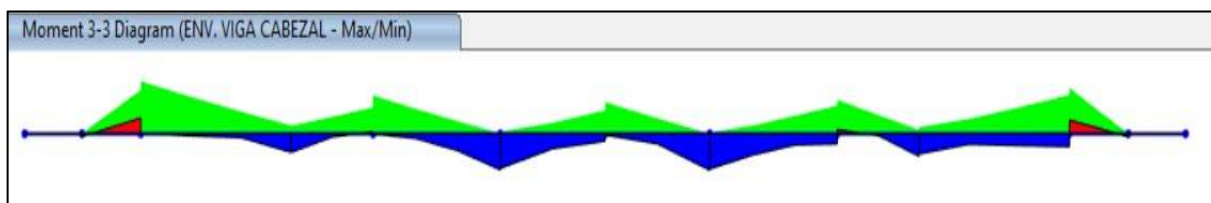


Ilustración 91: Diagrama de momentos de viga cabezal

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Se ha obtenido las máximas demandas del CSI Bridge:

Demandas Obtenidas del CSI Bridge				
Valores Máximos				
N°	Pilote	Combinaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
VIGA CABEZAL		RESISTENCIA I	0.47	0.00
			0.47	0.24
		EVENTO EXTREMO I X	0.81	2.82
		EVENTO EXTREMO I Y	1.57	3.72
			3.13	8.92
		RESISTENCIA I	0.87	17.73
			0.87	19.93
		EVENTO EXTREMO I X	0.87	12.33
		EVENTO EXTREMO I Y	2.60	14.53
			2.60	12.83
		RESISTENCIA I	0.47	17.14
			0.47	15.60
		EVENTO EXTREMO I X	0.47	14.67
		EVENTO EXTREMO I Y	0.47	18.72
			4.84	27.21
		RESISTENCIA I	10.24	14.14
			10.24	14.23
		EVENTO EXTREMO I X	8.51	12.09
		EVENTO EXTREMO I Y	8.51	15.76
			8.51	15.95
		RESISTENCIA I	3.95	15.76
			3.95	4.67
		EVENTO EXTREMO I X	3.95	5.39
		EVENTO EXTREMO I Y	0.47	0.23
			0.47	0.04

Tabla 79: Demandas Obtenidas en CSI Bridge

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Finalmente se presentarán de flexión y corte:

Acero máximo a flexión:

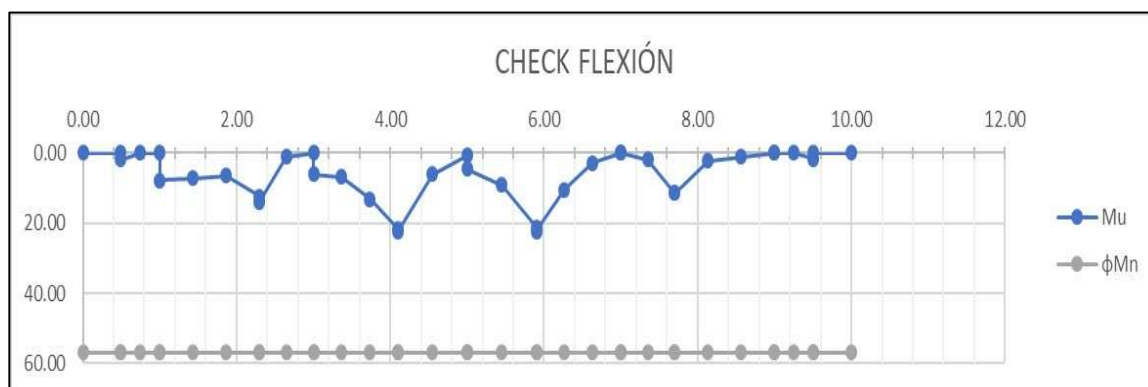


Ilustración 92: Flexión (acero máximo positivo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Acero máximo a cortante:

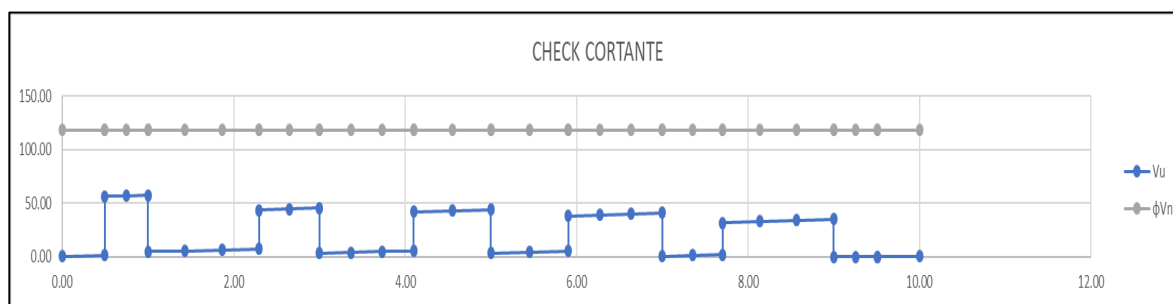


Ilustración 93: Cortante (acero máximo positivo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

A continuación, se chequeará la viga cabzal para un acero negativo:

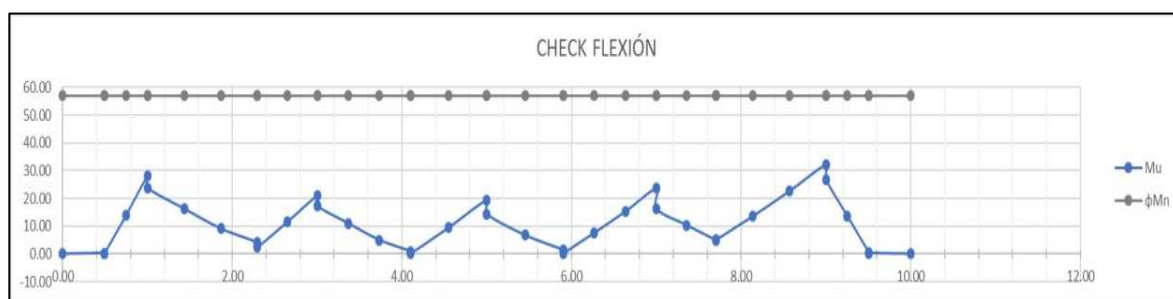


Ilustración 94: Flexión (acero mínimo negativo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

Para un acero mínimo a cortante:

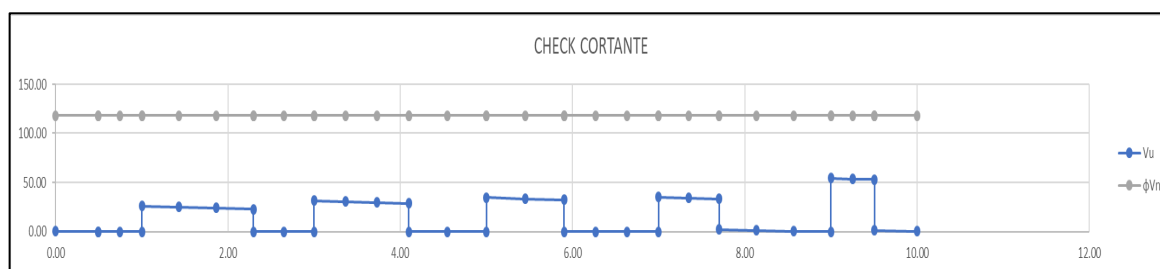


Ilustración 95: Cortante (acero mínimo negativo)

Elaborado por: Luis Espinoza – Andrés Ortega

CAPÍTULO V

Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Previo al análisis, en la modelación del puente se consideraron los estribos, donde se realizó un cálculo, en la cual se detallan todas las cargas horizontales que actúan sobre dicho elemento estructural, tanto para pantalla (Tabla 47) y para muro tipo ala (Tabla 67). Una vez obtenidos los datos antes mencionados, se procedió al análisis.

Para el análisis del comportamiento de la pila del puente se establecieron tres modelos, el primero donde se consideró una longitud de empotramiento de 8 veces la sección del pilote.

Teniendo presente la estratigrafía del terreno, los parámetros de diseño de cada estrato como se indica en la tabla 20, con sus respectivos espesores, la fuerza, el cortante y momento tanto para Sismo en X y Y, se procedió a modelar los estratos que representan al suelo, en el Ensoft (Group y Apile), que tienen como objetivo generar las curvas de transferencia de carga axial y lateral, tanto para curvas (t_z , q_z y p_y).

Se procedió a tener un segundo modelo, donde se ingresaron las curvas de carga axial y lateral (t_z , q_z y p_y), que mediante la función tipo link que tiene el programa CSI Bridge, se las considero cada metro como se indica en la Ilustración 67, con el objetivo de tener un modelo óptimo.

Por lo tanto, al ejecutar el programa del segundo modelo, incorporando la interacción suelo-pilote-estructura, en el análisis modal espectral tanto en dirección X

y Y, sea en el sentido longitudinal y transversal, se pudo observar en el modelo que en la dirección longitudinal tiene mayor incidencia, con su respectivo “response spectrum”, donde se trabajó con un $R=3$ para pilotes y donde se obtuvo las máximas demandas solicitadas de las que estará sometido la estructura.

Para finalizar con la interacción suelo-pilote-estructura, se pudo determinar en dicho modelo, la longitud de empotramiento que es de 2,44 m, que se la obtuvo donde se generaron los máximos momentos en los pilotes como se indica en la Ilustración 68, comparando con la asumida donde fue de 8 veces la sección del pilote que fue de 4 m, donde podemos observar que hay una gran diferencia.

Para el Análisis estático no lineal (Pushover), se consideró un tercer modelo, donde se lo realizó en el software SAP2000, así mismo con una longitud de empotramiento de 8 veces la sección del pilote, tipo pórtico, se lo ha considerado de esta manera ya que la pila en su momento no está totalmente rigidizada con el tablero del puente, entonces no es un sistema monolítico, por razones en que se apoyan a través de un aparato de neopreno. Teniendo presente esto, se diseñó el sistema pilote-viga cabezal, con sus respectivas secciones y armados.

Considerando las cargas que actúan sobre la pila, su respectivo material, el espectro de diseño con un $R=1$, el caso de carga gravitacional no lineal (CGNL), la carga Pushover, la cual esta pila se la analizó mediante el análisis pushover multimodo (MODE), la asignación de las rótulas plásticas, en el pilote y viga cabezal.

Se procedió a ejecutar este modelo en el que se obtuvo como resultado la formación de rotulas plásticas en el sistema pilote-viga cabezal. Primero con un desplazamiento de 9,08 cm, donde la estructura llega a su punto de fluencia.

Seguido de esto, con un desplazamiento de 18,68 cm, entra en el rango inelástico, conocido como nivel de ocupación inmediata, lo que significa que el sistema ya comenzará a tener daños, pero serán leves.

Finalmente, con un desplazamiento de 32 cm, los pilotes llegaron al rango de seguridad limitada, es decir, previo al colapso, teniendo presente que la viga cabezal, por ser un elemento robusto por sus dimensiones, entró al rango inelástico, pero no tuvo problemas de colapso, lo que significa que para determinar la capacidad máxima y poder observar posibles daños con un $R=1$, tuvo un excelente comportamiento.

Para concluir se chequeó la capacidad tanto para viga cabezal como pilote, con sus respectivos espectros de diseño considerando una envolvente tanto para pilote como para viga. La envolvente está conformada por el estado límite de Resistencia I y el Evento Extremo I en ambos sentidos.

Para este análisis se consideró el modelo donde se toma en cuenta la interacción suelo-pilote-estructura y el modelo simplificado, llegando a la conclusión que tanto para pilote como para viga cabezal y con la ayuda de los diagramas de interacción se verificó que ambos elementos resisten a flexo-compresión y cortante.

5.2. Recomendaciones

Con respecto a los parámetros geotécnicos, se recomienda obtenerlos mediante el mismo estudio de suelo con la finalidad de trabajar con valores más exacto y reales, ya que esto influye en su mayoría en la interacción.

Este sistema de interacción suelo-pilote-estructura, utilizando los Softwares Apile y Group es un mecanismo mucho más práctico ya que teniendo todos los parámetros



y tomando en cuenta todos los requerimientos que necesitan para poder ejecutarlos en este, prácticamente vendría a ser una simulación de lo que pasa en el programa con lo que puede pasar en la vida real, obtenido como resultados valores, que en su debido momento deberán ser comprobados in situ.



Bibliografía

- AASHTO, A. A. (2017). *Especificaciones AASHTO para el Diseño de Puentes por el Método LRFD*. Washington D.C., Estados Unidos de América: AASHTO.
- Alicante, G. (26 de 10 de 2018). *Glosario Alicante*. Obtenido de Glosario de Mecánica Industrial: <https://glosarios.servidor-alicante.com/mecanica-industrial/comportamiento-elastico-lineal>
- Arefi, M. J. (2008). *Effects of Soil-Structure Interaction on the Seismic Response of Existing R.C Frame Buildings*. Italia: Istituto Universitario di Studi di Pavia.
- ASCE/SEI 41-13, A. S. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. Reston, Virginia, Estados Unidos de América: American Society of Civil Engineers.
- Aviran, A., Mackie, K., & Stojadinović, B. (2008). *Guidelines for Nonlinear Analysis of Bridge Structures*. California, Estados Unidos de América: Pacific Earthquake Engineering.
- Awad, R. R. (2007). *Hormigón Reforzado*.
- Barroso, J., & Carrillo, J. L. (2020). *Análisis del Desempeño Sísmico Mediante Procedimiento sno Lineales del Puente Chamán Km 701, en el Distrito Chapén - Provincia de Chapén - La Libertad*. Trujillo, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Cabrera Venegas, R. (2018). *Desempeño Sísmico en Puentes de Hormigón Armado en Chile*. Valparaíso, Chile: Universidad Técnica Federico Santa María.
- CALTRANS, C. D. (2019). *Seismic Design Criteria*. California, Estados Unidos de América: California Department Of Transportation.
- Canales Galeana, A. (2005). *Programa didáctico de ayuda a la secuela del diseño de cimentaciones superficiales*. Cholula, Puebla, México.
- CEVACONSULT. (2022). *Estudio de suelos para la cimentación de la ampliación del puente sobre el estero Nauza, ubicado en la abscisa 39+197.60 de la vía Yaguachi-Jujan*. Guayaquil.
- Chancha Calderón, J. (2018). *Evaluación del Desempeño Estructural mediante Procedimientos No Lineales en Puentes de Concreto Reforzado*. Hancavelica, Perú: Universidad Nacional Huancavelica.
- CIC, C. d. (31 de 8 de 2022). *Cueva del Ingeniero Civil*. Obtenido de <https://www.cuevadecivil.com/2011/03/partes-de-un-puente.html>
- Das, B. (2012). *Fundamentos de la ingeniería de Cimentaciones, Séptima Edición*. México D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.
- Desai, C., & Zaman, M. (2014). *Advanced Geotechnical Engineering: Soil-Structure Interaction Using Computer and Material Models*. Boca Ratón, Florida, Estados Unidos de América: Taylor & Francis Group.
- FEMA 440, F. E. (2005). *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*. Redwood City, California, Estados Unidos de América: ATC (Applied Technology Council).
- García Núñez, M., & Bairán García, J. (2018). *Estudio sobre la efectividad del factor de sobre resistencia del criterio columna fuerte-- viga débil en el diseño sísmico de pórticos de hormigón mediante el análisis dinámico no lineal*. Barcelona: Escuela superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos. Universidad Politécnica de Cataluña.
- González Carballo, J. (2012). *Análisis Comparativo de la respuesta de puentes integrales con*. Costa Rica: Universidad de Costa Rica.
- Hernández Columbié, V. (2018). *Evaluación geotécnica de la vulnerabilidad sísmica en*. MOA: Instituto Superior Minero Metalúrgico "Dr. Antonio Núñez Jiménez".
- IGEPN, I. G. (31 de 8 de 2022). <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>. Obtenido de <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>: <https://www.igepn.edu.ec/peligro-sismico>
- Isakovic, T., & Fischinger, M. (2014). *Seismic Analysis and Design of Bridges with an Emphasis to Eurocode Standards*. En A. Atilla, *Perspectives on European Earthquake Engineering and Seismology* (págs. 195-225). Liubliana: Springer.
- Isenhowe, W., Tower Wang, S., & Vasquez, G. (2017). *Technical Manual for LPile 2018*

- (Using Data Format Version 10). Ensoft, Inc.
- Jaramillo, S. (2004). *Geotecnia y Cimientos: Cimentaciones, excavaciones y aplicaciones de la Geotécnia*. Madrid.
- Jia, J. (2018). *Soil Dynamics and Foundation Modeling: Offshore and Earthquake Engineering*. Bergen, Norway: Springer.
- Jurado, C. (2022). Cálculo de Puentes con CSi Bridge. En C. Jurado Cabañes, *Cálculo de Puentes con CSi Bridge* (pág. 91). Madrid: IngeOexpert.
- Manterola Armisen, J. (2006). *Puentes en Arco y Atirantados*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Miranda, E. (1995). *Conceptos Basicos sobre Interaccion Dinamica Suelo-Estructura*. México D.F.
- MTC, M. d. (2018). *Manual de Puentes*. Lima, Perú: MTC.
- NEC, N. E. (2015). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación*. Quito: Imprenta Activa.
- Ottazzi, G. (2004). *Material de Apoyo para la Enseñanza de los Cursos de Diseño y Comportamiento del Concreto Armado*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Peck, R., Hanson, W., & Thornburn, T. (1974). *Ingeniería de Cimentaciones*. México: Limusa Noriega Editores.
- RAING, R. A. (31 de 8 de 2022). *Diccionario Español de Ingeniería*. Obtenido de <https://diccionario.raing.es/es/lema/viga-cabecal>
- Reese, L. (2019). *A Program for the Analysis of a Piles Subject to Vertical and Lateral Loading*. ENSOFT.
- Reese, L., & Van Impe, W. (2001). *Single Piles and Pile Groups Under Lateral Loading*. Londres, Reino Unido: Taylor & Fraancis Groups plc.
- Reese, L., Tower Wang, S., Arrellaga, J., Hendrix, J., & Vásquez, L. (2022). *A Program for the Analysis of a Group of Piles Subjected to Vertical and Lateral Loading. Computer Program GROUP User's Manual*. Austin, Texas, Estados Unidos de América: ENSOFT, INC.
- Reinoso, E., Rodríguez, M., & Betancourt, R. (2000). *Manual de Diseño de Estructuras Prefabricadas y Presforzadas*.
- Rodríguez, I. L. (2013). *Cimentaciones Profundas. Ejecución de Pilotes por Extracción*. Murcia: Universidad Politécnica de Cartagena.
- Tower Wang, S., Arrellaga, J., & Vásquez, L. (2018). *A Program for the Study of Driven Piles under Axial Loads- APILE 2018 User's Manual*. Austin, Texas, Estados Unidos de América: Ensoft, INC.
- Viggiani, C., Mandolini, A., & Russo, G. (2014). *Piles and Pile Foundations*. CRC EXPRESS.
- Wiki, J. (31 de 8 de 2022). *Japan Wiki*. Obtenido de https://hmn.wiki/es/Plate_girder_bridge
- Xunta, X. d. (30 de 04 de 2014). *Consellería de Cultura, Educación e Ordenación Universitaria, Xunta de Galicia*. Obtenido de https://www.edu.xunta.gal/espazoAbalar/sites/espazoAbalar/files/datos/1464947489/contido/71_cimientos.html#:~:text=Cimentaci%C3%B3n%20superficial%20o%20directa.,importancia%20secundaria%20y%20relativamente%20livianas.
- Yepes, V. (9 de enero de 2019). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/09/concepto-y-clasificacion-de-las-cimentaciones/>
- Yepes, V. (2019). *Universidad Politécnica de Valencia*. Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2019/01/17/concepto-de-pilote-y-clasificaciones/>

ANEXO N°1
(Estudio de Suelo)

<div><div><div>Universidad de Guayaquil</div></div><div>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</div><div>Carrera de Ingeniería Civil</div></div> <div></div> <div>ANÁLISIS DE LA DATA DEL ENSAYO DE CAMPO SPT</div>					PROYECTO: Trabajo de Titulación previo a la obtención de título de Ingeniería Civil																								
					FECHA: 31-05-18				No. SONDEO				1		LOCALIZACIÓN: VÍA DURÁN - JUAN														
					NIVEL FREÁTICO: 3.20 m										COORDENADAS UTM WGS84 E 656789.00 N 9784234.00														
Profundidad en Metros	Numero de Golpes	N60	Perfil	Descripción del Material	% Pasante				Límites de Aterberg				Clasificación		Estado del Suelo	γ _{hum} (T/m3)	OCR	eo	Cc	Cr	Cv	v	E (T/m2)	qu (T/m2)	C (T/m2)	φ (deg)	Vs (m/s)		
					No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	W.N.	L.L.	L.P.	L.P.	SUCS	AASHTO															
0.00	0.50	-	-		Relleno fino arenoso arcilloso	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.50	1.00	5	4		Arcilla limosa café, con arena fina, baja plasticidad, consistencia blanda a dura	100	100	100	72	32.00	28.00	17.00	11.00	CL	A-2-6	(0)	Blanda	1.900	-	-	-	-	-	-	200.00	-	2.00	-	160.28
1.00	1.90	-	-		Arcilla limosa café, con arena fina, baja plasticidad, consistencia blanda a dura	100	100	100	87	12.00	44.00	20.00	24.00	CL	A-2-7	(0)	-	2.000	-	-	-	-	-	-	391.21	5.00	2.50	-	-
1.90	2.00	-	-		Arena limosa café de grano fino, compacidad suelta	100	100	100	11	9.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	-	2.300	-	-	-	-	-	0.35	-	-	-	-	-
2.00	3.00	9	7		Arena limosa café de grano fino, compacidad suelta	100	100	100	22	14.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Medio Denso	2.200	-	-	-	-	-	0.35	700.00	-	-	25.63	190.06
3.00	4.00	12	9		Arcilla café de alta plasticidad, consistencia dura	100	100	100	96	52.00	51.00	23.00	28.00	CH	A-7-6	(11)	Medio Firme	1.700	-	-	-	-	-	-	450.00	-	4.50	-	206.60
4.00	5.00	-	-		Arcilla café de alta plasticidad, consistencia dura	100	100	100	99	59.00	74.00	25.00	49.00	CH	A-7-6	(26)	-	1.700	-	-	-	-	-	-	315.80	12.00	6.00	-	-
5.00	6.50	-	-		Arcilla gris verdosa de alta plasticidad, consistencia dura a media	100	100	100	100	73.00	88.00	27.00	61.00	CH	A-7-6	(46)	-	1.600	-	-	-	-	-	-	137.50	11.00	5.50	-	-
6.50	8.00	-	-		Arcilla gris verdosa de alta plasticidad, consistencia dura a media	100	100	100	92	71.00	90.00	31.00	59.00	CH	A-7-5	(44)	-	1.500	-	-	-	-	-	-	153.13	9.80	4.90	-	-
8.00	9.50	-	-		Arcilla organica verdosa, de alta plasticidad, consistencia media	100	100	100	95	121.00	148.00	38.00	110.00	SO	A-7-5	(170)	-	1.300	-	-	-	-	-	-	124.07	6.70	3.35	-	-
9.50	11.00	-	-		Arcilla organica verdosa, de alta plasticidad, consistencia media a blanda	100	100	100	98	115.00	113.00	37.00	76.00	SO	A-7-5	(111)	-	1.400	-	-	-	-	-	-	83.33	4.00	2.00	-	-
11.00	12.50	-	-		Arcilla organica verdosa, de alta plasticidad, consistencia media a blanda	100	100	100	99	100.00	111.00	37.00	74.00	SO	A-7-5	(90)	-	1.300	-	-	-	-	-	-	104.17	5.00	2.50	-	-
12.50	14.00	-	-		Arcilla organica verdosa, de alta plasticidad, consistencia media a blanda	100	100	100	99	82.00	106.00	34.00	72.00	SO	A-7-5	(66)	-	1.400	-	-	-	-	-	-	156.30	7.50	3.75	-	-
14.00	15.50	3	2		Arcilla organica verdosa, de alta plasticidad, consistencia muy blanda	100	100	100	97	109.00	103.00	31.00	72.00	SO	A-7-5	(96)	Muy Blanda	1.400	-	-	-	-	-	-	100.00	-	1.00	-	138.21
15.50	17.00	77	58		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	61	61	61	13	14.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.200	-	-	-	-	-	0.35	8700.00	-	-	37.93	354.20
17.00	18.50	59	44		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	65	65	65	11	16.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.200	-	-	-	-	-	0.35	6600.00	-	-	35.37	327.88
18.50	20.00	60	45		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	82	82	82	17	19.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.100	-	-	-	-	-	0.35	6750.00	-	-	35.19	329.48
20.00	21.50	79	59		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	80	80	80	9	18.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.100	-	-	-	-	-	0.35	8850.00	-	-	36.75	356.84
21.50	23.00	72	54		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	90	90	90	12	17.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.100	-	-	-	-	-	0.35	8100.00	-	-	35.80	347.37
23.00	25.00	80	60		Arena limosa gris verdosa de grano medio con gravillas muy compacta	94	94	94	9	20.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.100	-	-	-	-	-	0.35	9000.00	-	-	36.18	358.15

<div><div></div><div>Universidad de Guayaquil</div><div>Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas</div><div>Carrera de Ingeniería Civil</div></div> <div></div>					ANÁLISIS DE LA DATA DEL ENSAYO DE CAMPO SPT										PROYECTO: Trabajo de Titulación previo a la obtención de título de Ingeniería Civil														
					FECHA: 31-05-18				No. SONDEO			2			LOCALIZACIÓN: VÍA DURÁN - JUJAN														
					NIVEL FREÁTICO: 2.90 m										COORDENADAS UTM WGS84 E 656787.00 N 9784290.00														
Profundidad en Metros	Numero de Golpes	N60	Perfil	Descripción del Material	% Pasante				Límites de Aterberg				Clasificación		Estado del Suelo	γ _{hum} (T/m3)	OCR	eo	Cc	Cr	Cv	v	E (T/m2)	qu (T/m2)	C (T/m2)	φ (deg)	Vs (m/s)		
					No. 4	No. 10	No. 40	No. 200	W.N.	L.L.	L.P.	L.P.	SUCS	AASHTO															
0.00	0.50	-	-		Releno fino arenoso arcilloso	-	-	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-	2.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
0.50	1.00	8	6.0		Arcilla café de baja plasticidad con arena fina, consistencia media	100	-	-	87	28.00	48.00	27.00	21.00	CL	A-2-7	(1)	Blanda	2.000	-	-	-	-	-	300.00	-	3.00	-	183.68	
1.00	2.00	5	4.0		Arcilla café de baja plasticidad con arena fina, consistencia media	95	-	-	77	27.00	31.00	21.00	10.00	CL	A-2-4	(0)	Blanda	2.000	-	-	-	-	-	200.00	-	2.00	-	160.28	
2.00	3.00	7	5.0		Arena fina limosa café, compactad suelta	96	-	-	26	18.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Medio Denso	2.100	-	-	-	-	0.35	500.00	-	-	24.41	176.70	
3.00	4.00	9	7.0		Arcilla arenosa café de baja plasticidad, consistencia muy dura	100	-	-	58	38.00	33.00	21.00	12.00	CL	A-6	(1)	Blanda	1.800	-	-	-	-	-	350.00	-	3.50	-	190.06	
4.00	5.00	18	14.0		Arena limosa gris verdosa de grano fino, compactad media	100	-	-	28	26.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-2-4	(0)	Denso	2.000	-	-	-	-	0.35	2100.00	-	-	30.62	232.38	
5.00	6.50	-	-		Turba	100	-	-	2	324.00	0.00	0.00	0.00	SO	A-4	(0)	-	1.000	-	-	-	-	0.35	-	-	-	-	-	
6.50	8.00	-	-		Arcilla gris verdosa, de alta plasticidad, consistencia media	100	-	-	97	68.00	82.00	28.00	54.00	SO	A-7-6	(37)	-	1.600	-	-	-	-	-	108.75	8.70	4.35	-	-	
8.00	9.50	-	-		Arcilla orgánica gris veroda, de alta plasticid, consistencia blanda	100	-	-	96	102.00	179.00	45.00	134.00	SO	A-7-5	(168)	-	1.400	-	-	-	-	-	45.35	3.90	1.95	-	-	
9.50	11.00	-	-		Arcilla organica gris verdosa, de alta plasticidad, consistencia blanda	100	-	-	98	108.00	112.00	35.00	77.00	SO	A-7-5	(103)	-	1.400	-	-	-	-	-	30.00	2.40	1.20	-	-	
11.00	12.50	-	-		Arcilla organica gris verdosa, de alta plasticidad, consistencia blanda	100	-	-	95	100.00	105.00	32.00	73.00	SO	A-7-5	(88)	-	1.500	-	-	-	-	-	45.00	3.60	1.80	-	-	
12.50	14.00	-	-		Arcilla limosa gris verdosa, de alta plasticidad, consistencia media a dura	100	-	-	93	45.00	64.00	24.00	40.00	CH	A-7-6	(12)	-	1.800	-	-	-	-	-	76.95	7.00	3.50	-	-	
14.00	15.50	-	-		Arcilla limosa gris verdosa, de alta plasticidad, consistencia media a dura	100	-	-	92	38.00	60.00	23.00	37.00	CH	A-7-6	(7)	-	1.800	-	-	-	-	-	225.00	18.00	9.00	-	-	
15.50	17.00	67	50.0		Arena limosa café de grano medio a fino con gravillas, compacta	56	-	-	10	13.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.200	-	-	-	-	0.35	7500.00	-	-	36.62	340.19	
17.00	18.50	52	39.0		Arena limosa café de grano medio a fino con gravillas, compacta	71	-	-	11	18.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Muy Denso	2.100	-	-	-	-	0.35	5850.00	-	-	34.62	316.09	
18.50	20.00	42	32.0		Arena limosa café de grano medio a fino con gravillas, compacta	97	-	-	13	30.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-2-4	(0)	Denso	1.900	-	-	-	-	0.35	4800.00	-	-	33.42	297.10	
20.00	21.50	49	37.0		Arena limosa café de grano medio a fino con gravillas, compacta	96	-	-	11	22.00	0.00	0.00	0.00	SC	A-1-b	(0)	Denso	2.000	-	-	-	-	0.35	5550.00	-	-	33.90	310.69	
21.50	23.00	53	40.0		Lino arcilloso café amarilloso de alta pasticidad, consistencia rígida	100	-	-	81	37.00	55.00	36.00	19.00	MH	A-7-5	(3)	Muy Firme	1.900	-	-	-	-	-	2000.00	-	20.00	-	317.84	
23.00	25.00	54	41.0		Lino arcilloso café amarilloso de alta pasticidad, consistencia rígida	100	-	-	78	46.00	51.00	31.00	20.00	MH	A-7-5	(6)	Muy Firme	1.800	-	-	-	-	-	2050.00	-	20.50	-	319.57	

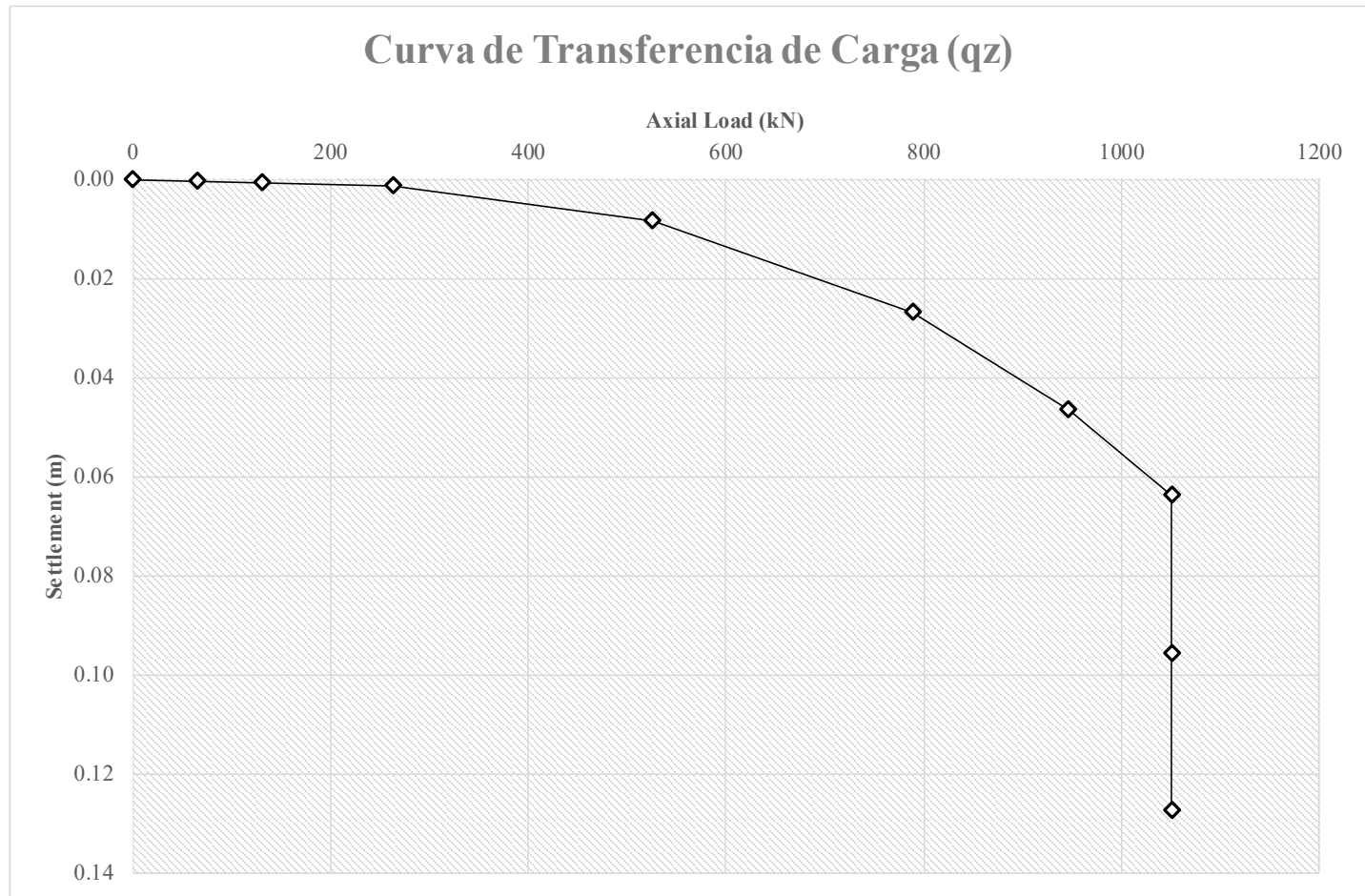
ANEXO N°2

(Curvas de transferencia de
carga axial q-z)

Curvas de Transferencia de Carga (qz) para Pila N°1

X Settlement, w (m)
Y Tip Resistance, Q (kN)

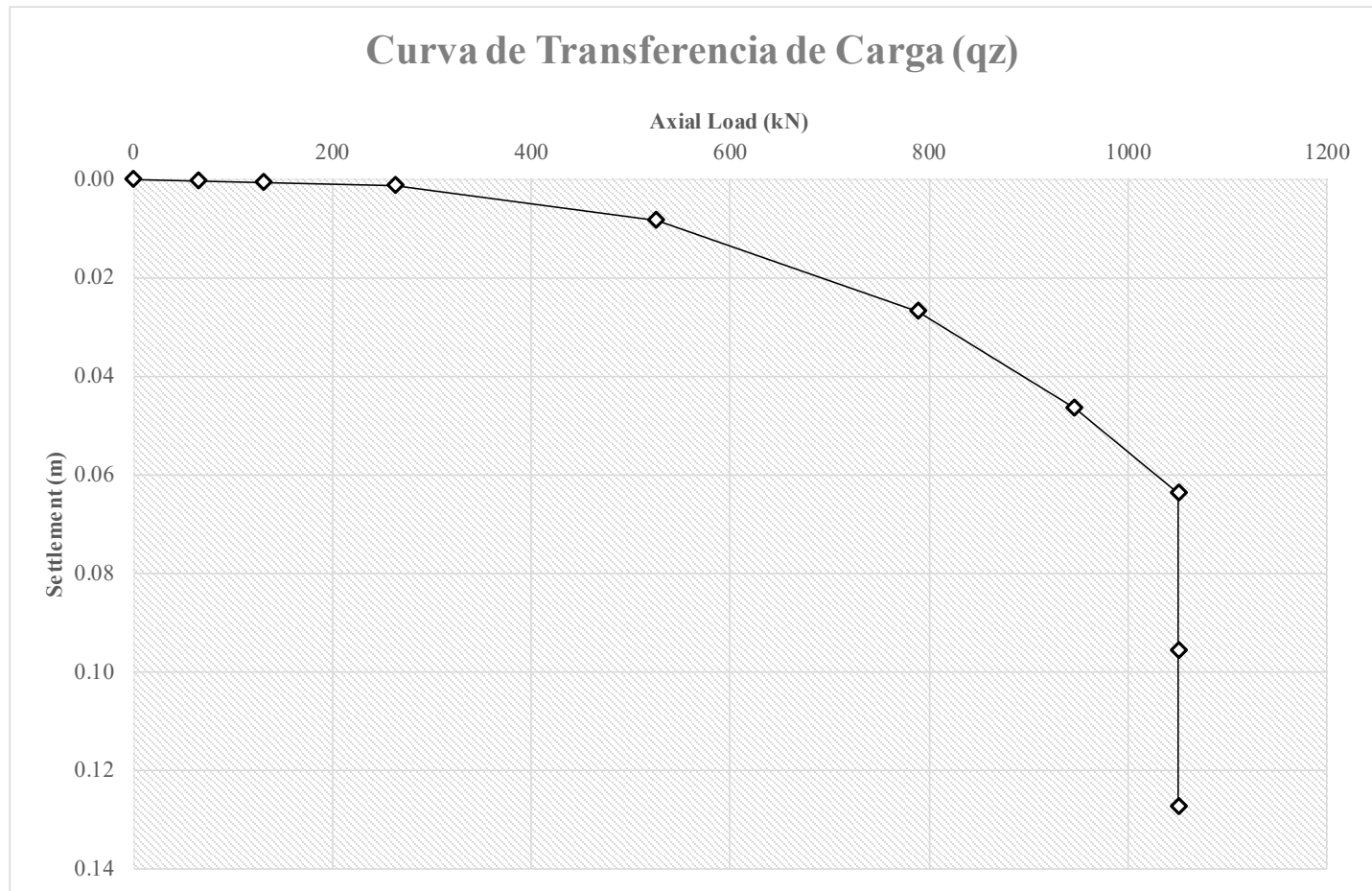
X	Y
-0.1273	-1051
-0.09549	-1051
-0.06366	-1051
-0.04647	-946
-0.02674	-789
-0.008276	-526
-0.001273	-263
-0.0006366	-131
-0.0003183	-65.7
0	0
0.0003183	65.7
0.0006366	131
0.001273	263
0.008276	526
0.02674	789
0.04647	946
0.06366	1051
0.09549	1051
0.1273	1051



Curvas de Transferencia de Carga (qz) para Pila N°2

X Settlement, w (m)
Y Tip Resistance, Q (kN)

X	Y
-0.1273	-1051
-0.09549	-1051
-0.06366	-1051
-0.04647	-946
-0.02674	-789
-0.008276	-526
-0.001273	-263
-0.0006366	-131
-0.0003183	-65.7
0	0
0.0003183	65.71
0.0006366	131.4
0.001273	262.8
0.008276	525.7
0.02674	788.5
0.04647	946.2
0.06366	1051
0.09549	1051
0.1273	1051



ANEXO N°3

(Curvas de transferencia de
carga axial t-z)

Curvas de Transferencia de Carga (tz) para Pila N°1

X	Displacement, z (m)		
Y	Unit Load Transfer, t (kN)	Perimetro	2.000 m

X	Displacement, z (m)		
Y	Unit Load Transfer, t (kN)	Perimetro	2.000 m

[illegible]

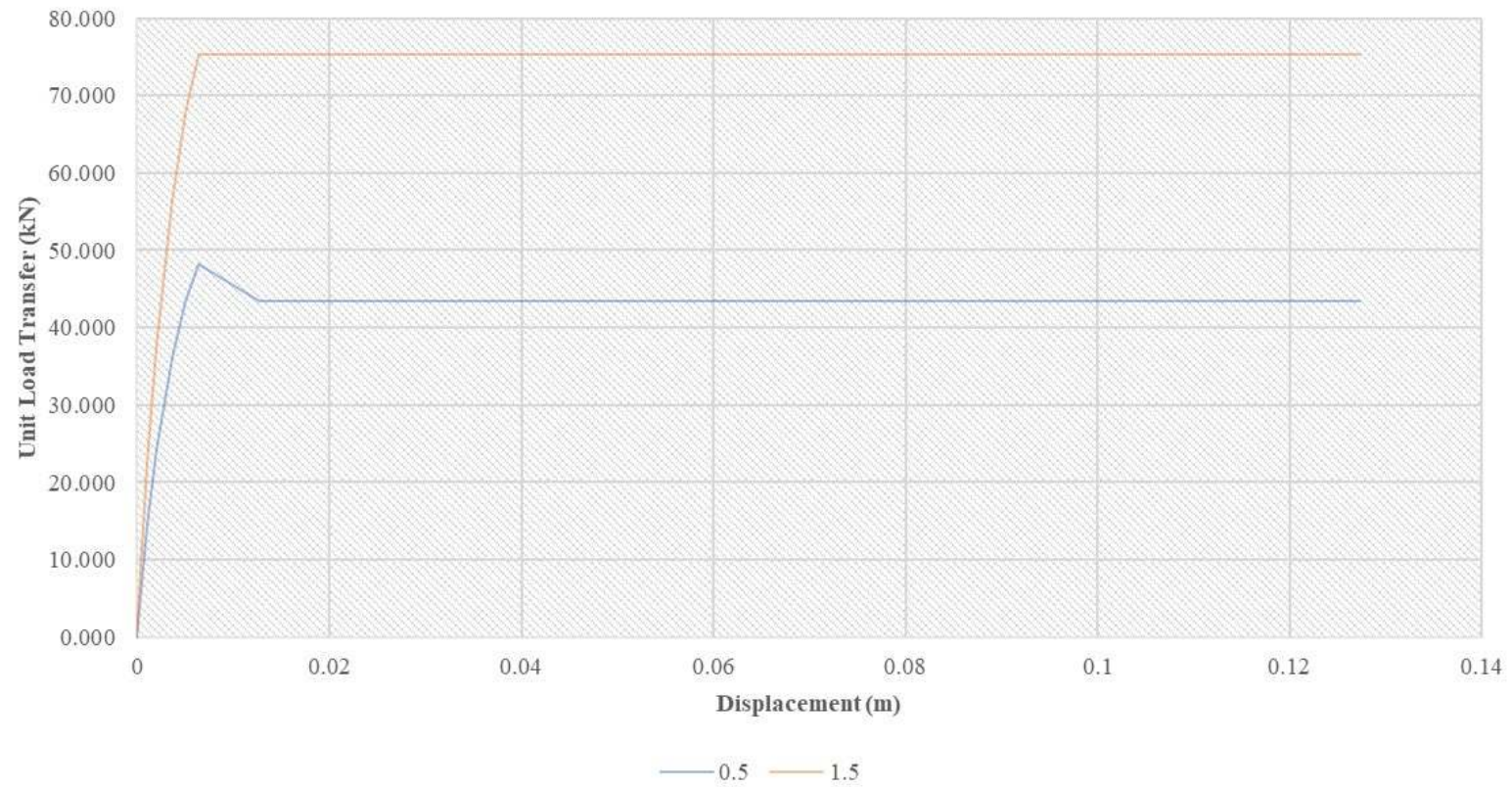
Curvas de Transferencia de Carga (tz) para Pila N°1

X Displacement, z (m)
Y Unit Load Transfer, t (kN/m²)

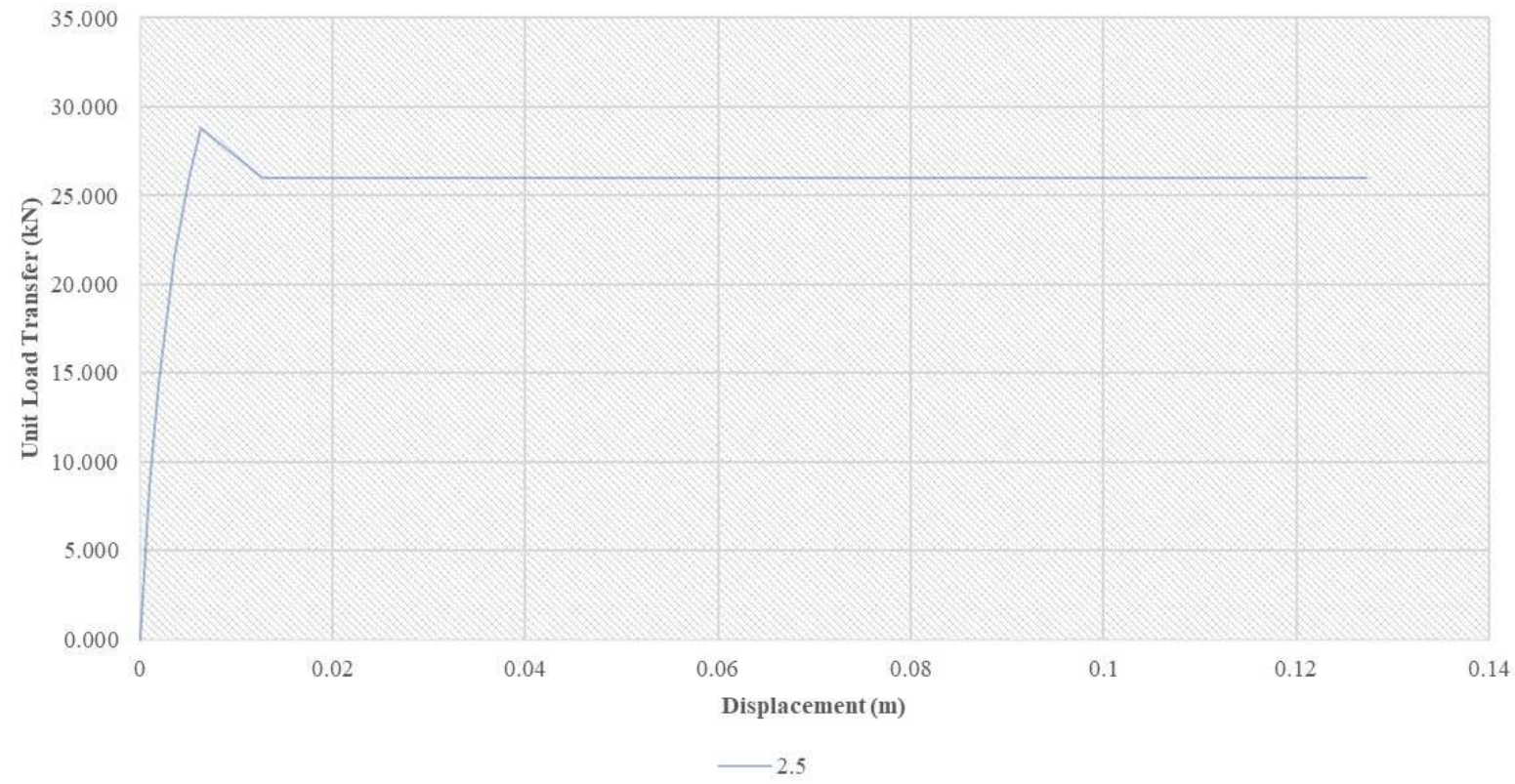
Perimetro 2.000 m

10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5	16.5
Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
-51.460	-57.160	-373.400	-412.800	-452.400	-491.800	-531.400
-51.460	-57.160	-373.400	-412.800	-452.400	-491.800	-531.400
-51.460	-57.160	-373.400	-412.800	-452.400	-491.800	-531.400
-51.460	-57.160	-373.400	-412.800	-452.400	-491.800	-531.400
-57.160	-57.160	-373.400	-412.800	-452.400	-491.800	-531.400
-51.460	-51.460	-336.000	-371.600	-407.200	-442.600	-478.200
-42.880	-42.880	-280.000	-309.600	-339.200	-368.800	-398.400
-28.580	-28.580	-186.700	-206.400	-226.200	-246.000	-265.600
-17.150	-17.150	-112.020	-123.860	-135.700	-147.540	-159.400
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
17.150	17.150	112.020	123.860	135.700	147.540	159.400
28.580	28.580	186.700	206.400	226.200	246.000	265.600
42.880	42.880	280.000	309.600	339.200	368.800	398.400
51.460	51.460	336.000	371.600	407.200	442.600	478.200
57.160	57.160	373.400	412.800	452.400	491.800	531.400
51.460	57.160	373.400	412.800	452.400	491.800	531.400
51.460	57.160	373.400	412.800	452.400	491.800	531.400
51.460	57.160	373.400	412.800	452.400	491.800	531.400
51.460	57.160	373.400	412.800	452.400	491.800	531.400

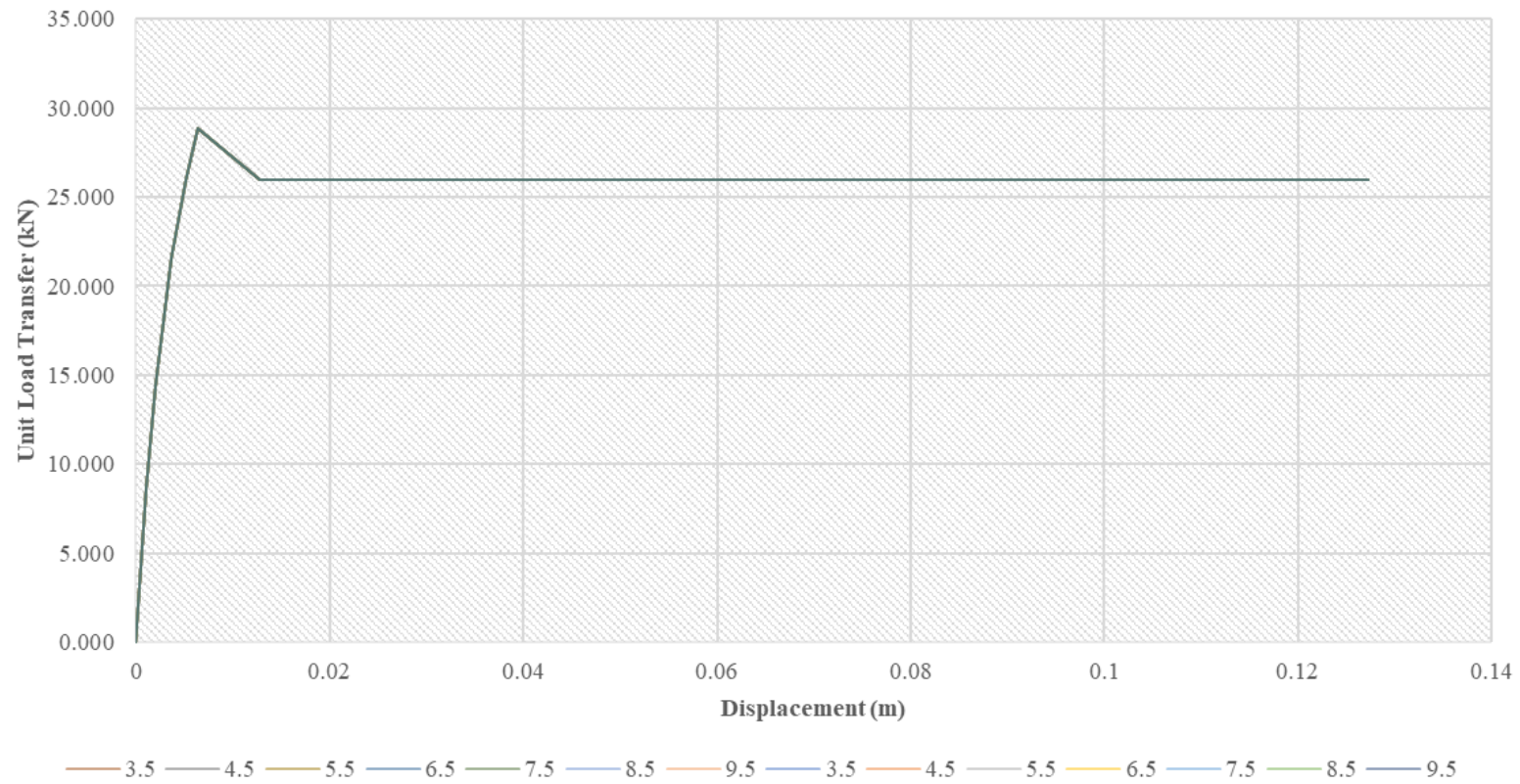
Arcilla de Consistencia Media Blanda



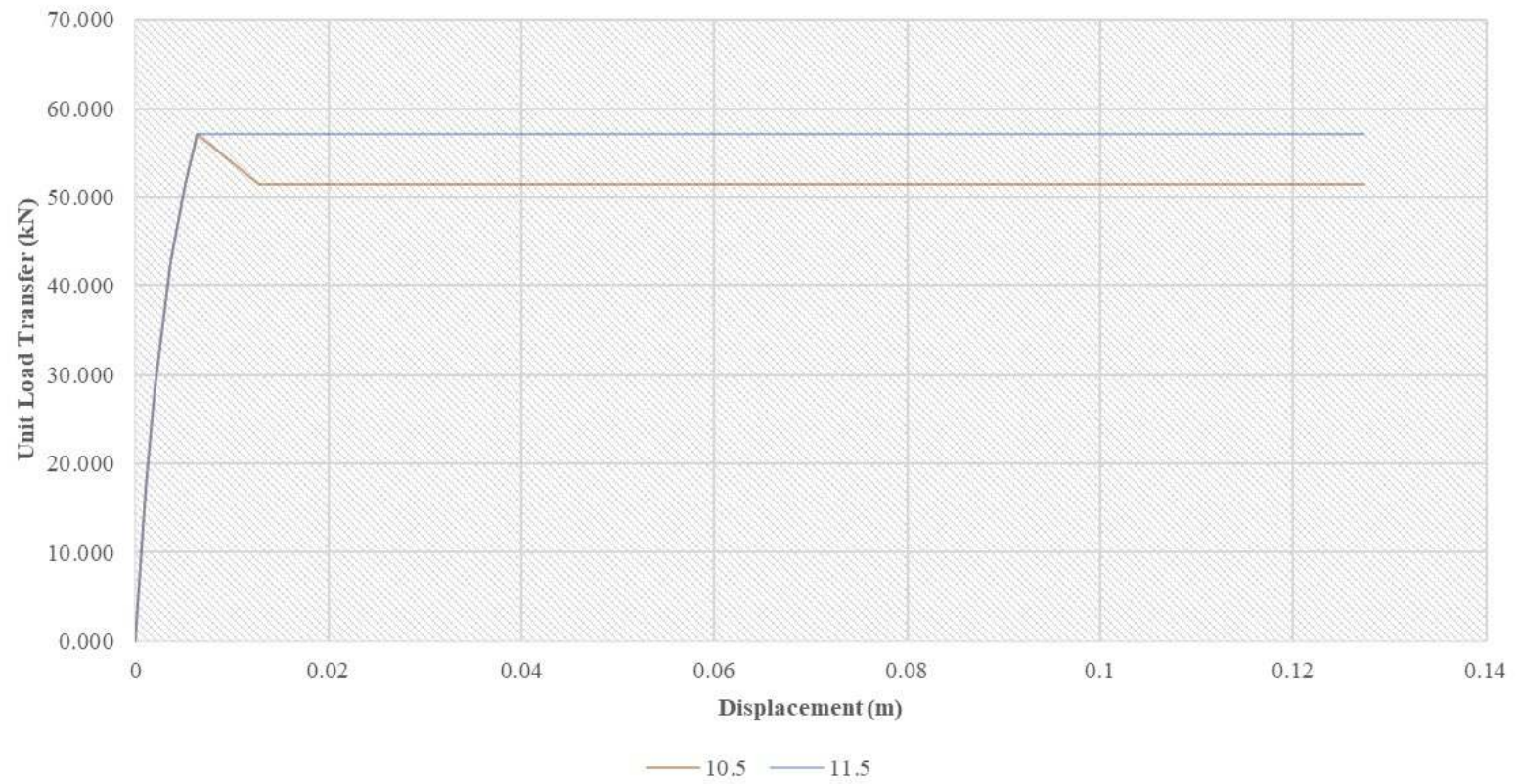
Arena Arcillosa Media Densa



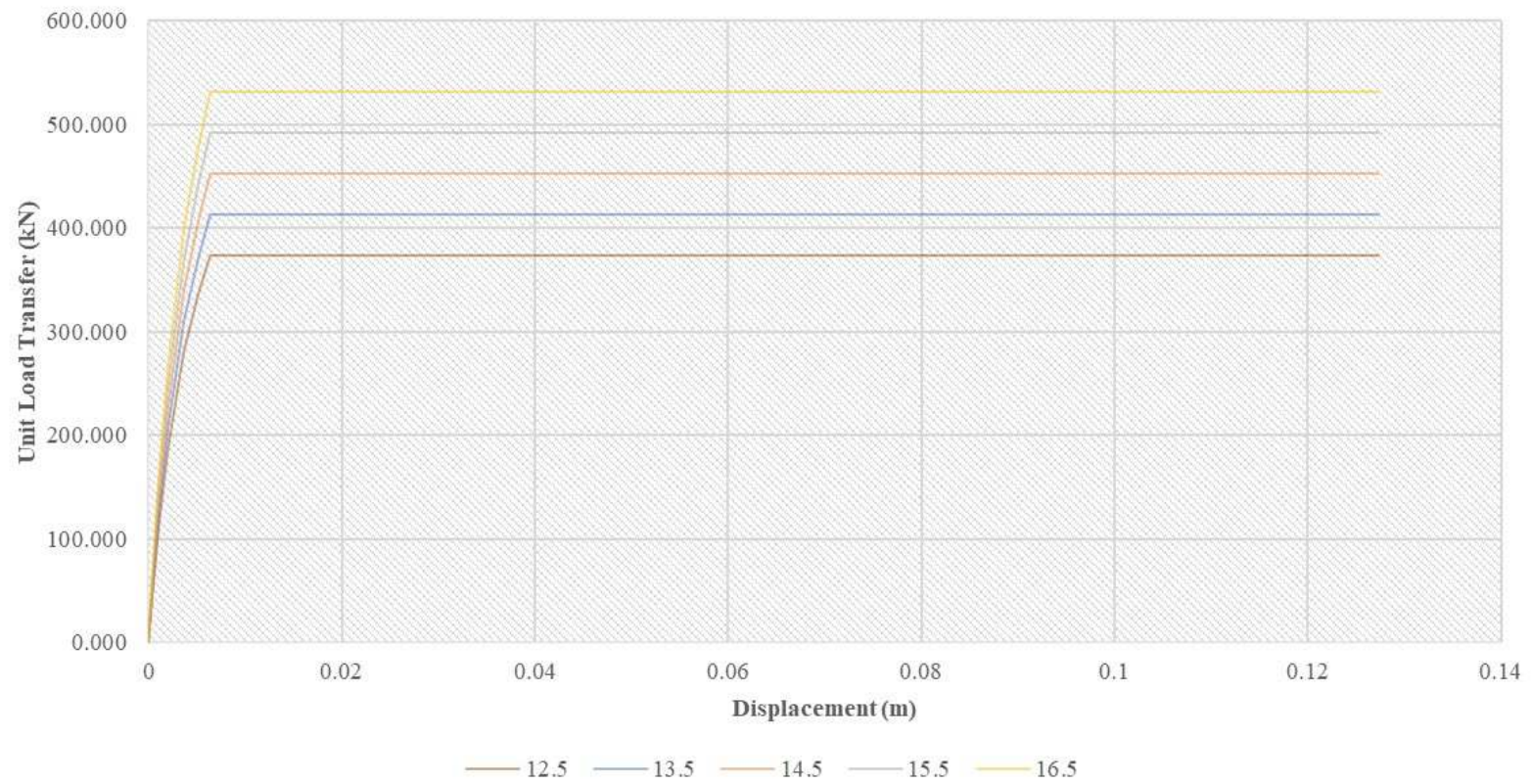
Suelo con Alto Contenido Orgánico



Arcilla de Consistencia Blanda



Arena Arcillosa Densa



Curvas de Transferencia de Carga (tz) para Pila N°2

X	Displacement, z (m)		
Y	Unit Load Transfer, t (kN)	Perimetro	2.000 m

X	Displacement, z (m)		
Y	Unit Load Transfer, t (kN)	Perimetro	2.000 m

[illegible]

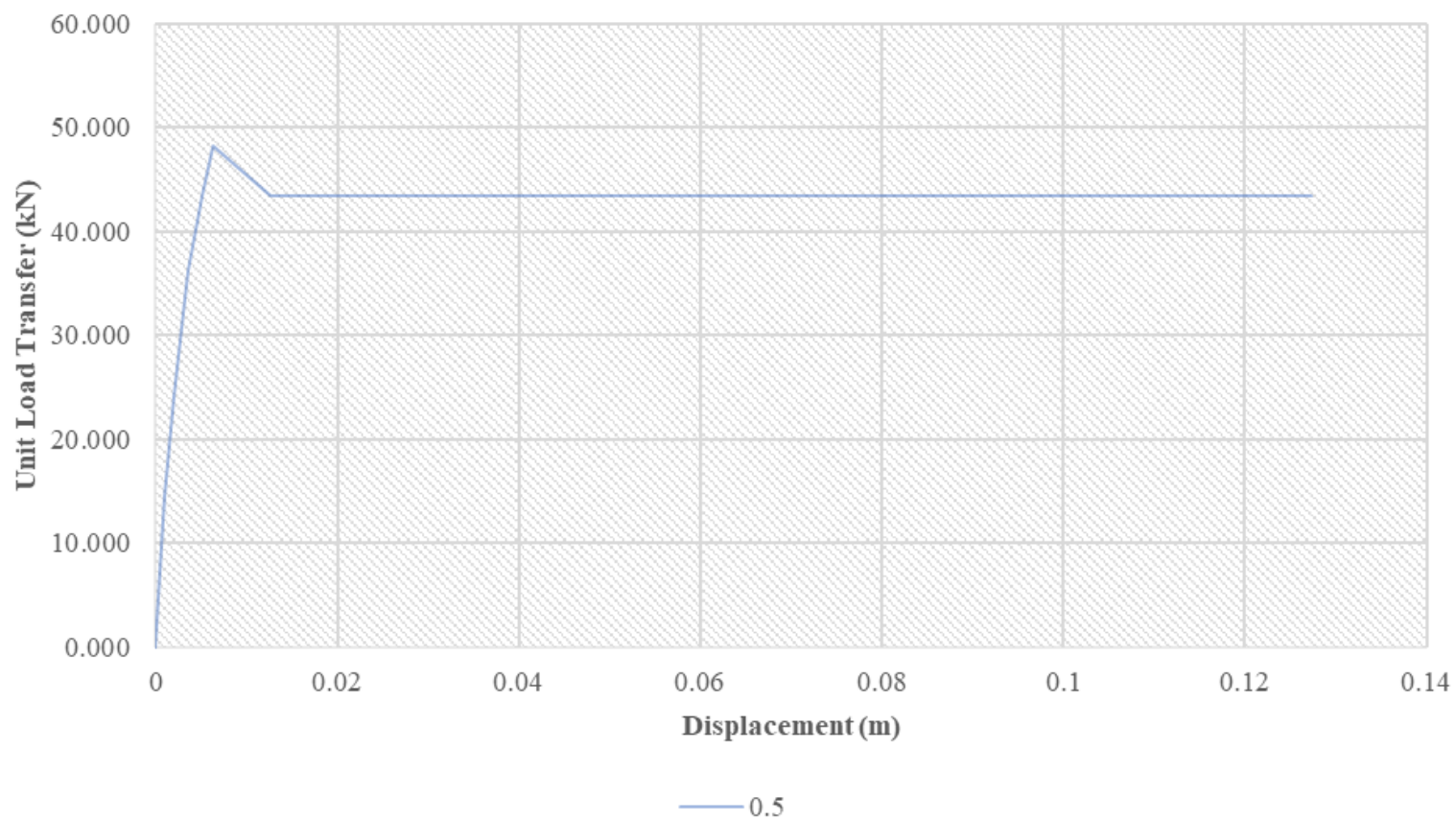
Curvas de Transferencia de Carga (tz) para Pila N°2

X Displacement, z (m)
Y Unit Load Transfer, t (kN/m²)

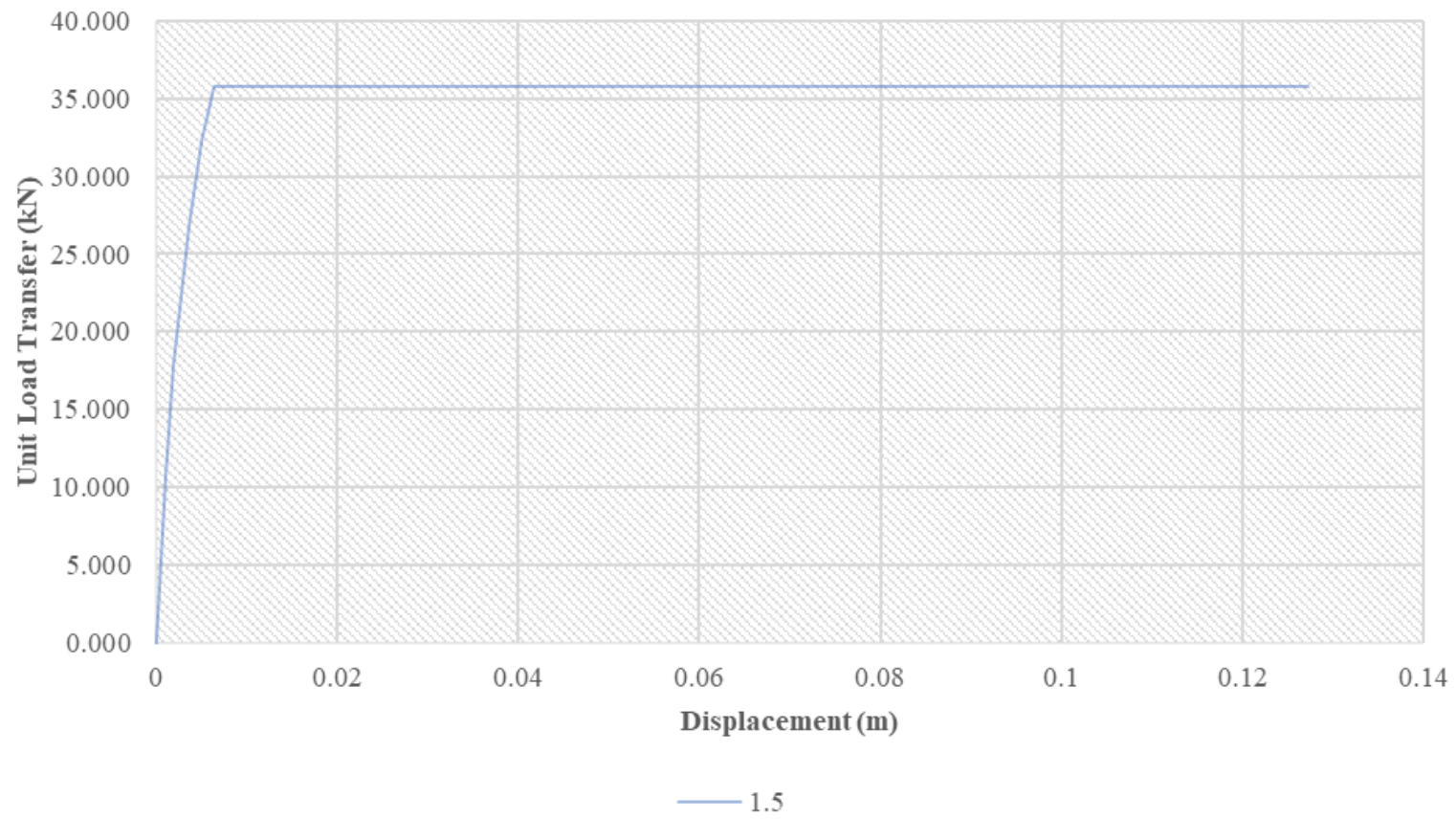
Perimetro 2.000 m

10.5	11.5	12.5	13.5	14.5	15.5
Y	Y	Y	Y	Y	Y
-171.260	-344.200	-383.600	-423.200	-462.600	-502.200
-171.260	-344.200	-383.600	-423.200	-462.600	-502.200
-171.260	-344.200	-383.600	-423.200	-462.600	-502.200
-171.260	-344.200	-383.600	-423.200	-462.600	-502.200
-171.260	-344.200	-383.600	-423.200	-462.600	-502.200
-154.120	-309.800	-345.400	-380.800	-416.400	-451.800
-128.440	-258.200	-287.800	-317.400	-347.000	-376.600
-85.620	-172.100	-191.840	-211.600	-231.400	-251.000
-51.380	-103.260	-115.100	-126.940	-138.780	-150.640
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
51.380	103.260	115.100	126.940	138.780	150.640
85.620	172.100	191.840	211.600	231.400	251.000
128.440	258.200	287.800	317.400	347.000	376.600
154.120	309.800	345.400	380.800	416.400	451.800
171.260	344.200	383.600	423.200	462.600	502.200
171.260	344.200	383.600	423.200	462.600	502.200
171.260	344.200	383.600	423.200	462.600	502.200
171.260	344.200	383.600	423.200	462.600	502.200
171.260	344.200	383.600	423.200	462.600	502.200

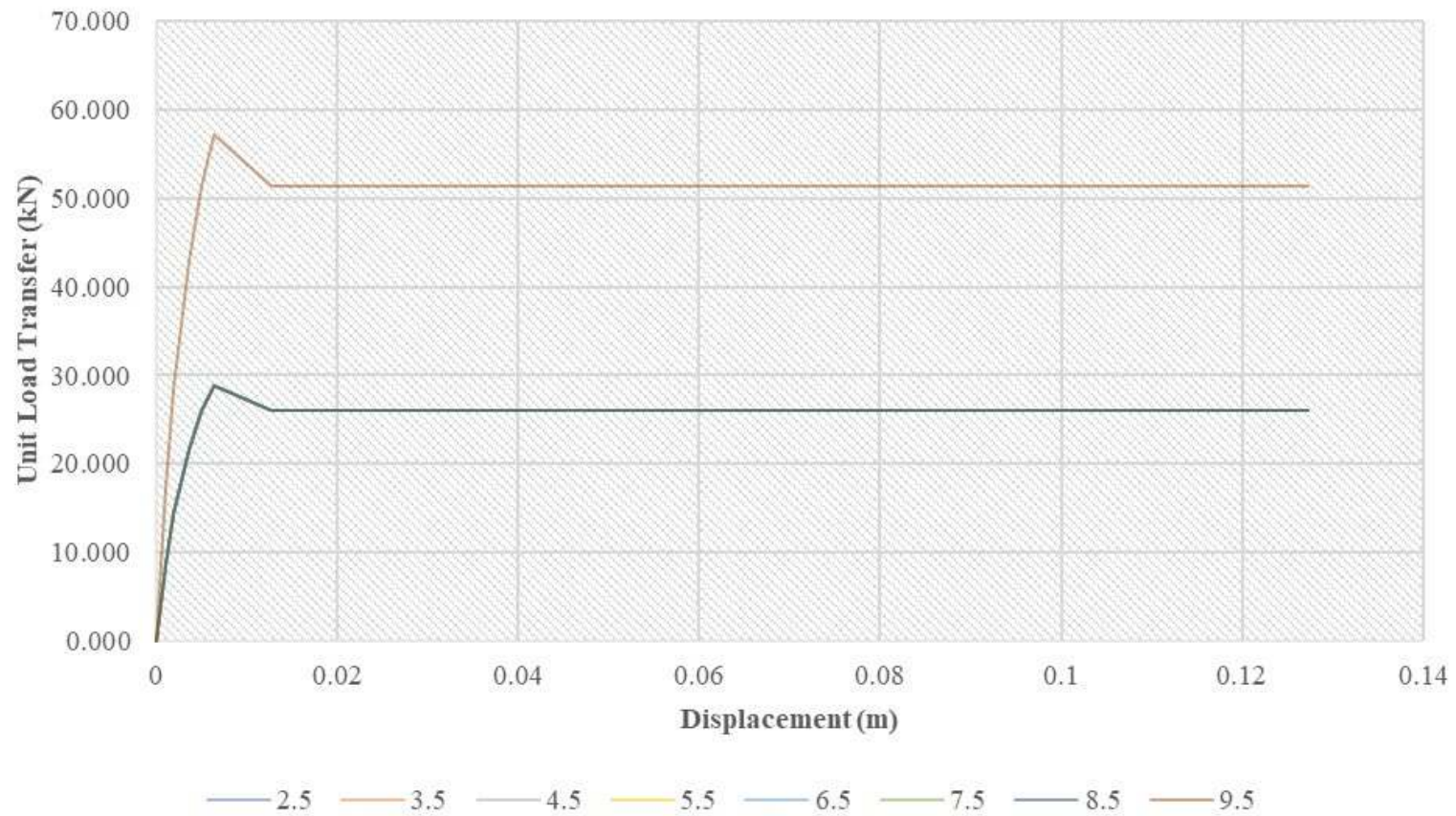
Arcilla de Consistencia Media Blanda



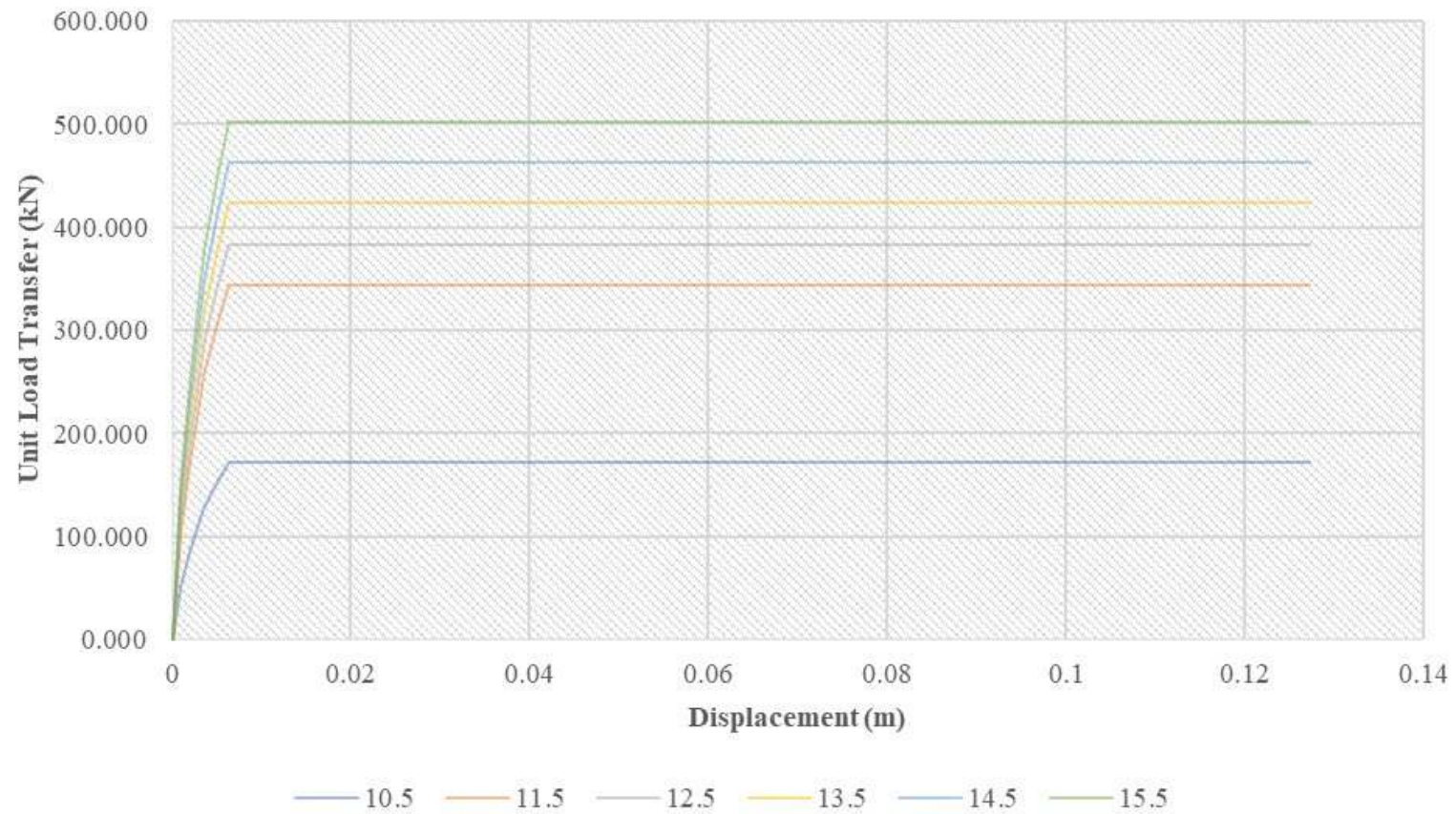
Arena Arcillosa Media Densa



Suelo con Alto Contenido Orgánico



Arcilla de Consistencia Blanda



ANEXO N°4

(Curvas de transferencia
lateral P-y)

Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°1 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

Depth 3.50		Depth 4.50		Depth 5.50		Depth 6.50		Depth 7.50		Depth 8.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.0666	-6.3432	-0.02250	-15.90569	-0.2400	-32.2332	-0.2400	-39.9490	-0.2400	-42.7588	-0.2400	-34.1346
-0.0461	-6.3432	-0.01875	-15.90569	-0.2000	-32.2332	-0.2000	-39.9490	-0.2000	-42.7588	-0.2000	-34.1346
-0.0358	-16.1221	-0.01528	-14.41791	-0.1600	-29.9227	-0.1600	-37.0853	-0.1600	-39.6937	-0.1600	-31.6877
-0.0256	-25.9011	-0.01181	-12.93014	-0.1300	-27.9217	-0.1300	-34.6053	-0.1300	-37.0393	-0.1300	-29.5687
-0.0154	-35.6652	-0.00833	-11.44236	-0.1000	-25.5835	-0.1000	-31.7075	-0.1000	-33.9377	-0.1000	-27.0926
-0.0141	-36.9356	-0.00827	-11.41327	-0.0800	-23.7496	-0.0800	-29.4346	-0.0800	-31.5049	-0.0800	-25.1506
-0.0128	-37.9535	-0.00820	-11.38401	-0.0600	-21.5780	-0.0600	-26.7431	-0.0600	-28.6241	-0.0600	-22.8508
-0.0115	-38.6828	-0.00813	-11.35458	-0.0450	-19.6049	-0.0450	-24.2978	-0.0450	-26.0068	-0.0450	-20.7613
-0.0102	-39.0823	-0.00806	-11.32498	-0.0300	-17.1264	-0.0300	-21.2261	-0.0300	-22.7190	-0.0300	-18.1367
-0.0090	-39.0980	-0.00799	-11.29521	-0.0200	-14.9613	-0.0200	-18.5427	-0.0200	-19.8469	-0.0200	-15.8439
-0.0077	-38.6559	-0.00793	-11.26527	-0.0120	-12.6189	-0.0120	-15.6395	-0.0120	-16.7395	-0.0120	-13.3632
-0.0064	-37.6498	-0.00786	-11.23515	-0.0080	-11.0236	-0.0080	-13.6624	-0.0080	-14.6233	-0.0080	-11.6739
-0.0051	-35.9151	-0.00779	-11.20485	-0.0040	-8.7494	-0.0040	-10.8438	-0.0040	-11.6065	-0.0040	-9.2656
-0.0038	-33.1623	-0.00772	-11.17437	-0.0015	-6.3094	-0.0015	-7.8197	-0.0015	-8.3697	-0.0015	-6.6816
-0.0026	-28.6632	-0.00766	-11.14371	-0.0005	-4.3747	-0.0005	-5.4219	-0.0005	-5.8033	-0.0005	-4.6328
-0.0013	-20.2679	-0.00383	-5.57185	-0.0001	-2.0306	-0.0001	-2.5166	-0.0001	-2.6936	-0.0001	-2.1503
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00128	20.26795	0.00383	5.57185	0.00005	2.03056	0.00005	2.51663	0.00005	2.69363	0.00005	2.15034
0.00256	28.66321	0.00766	11.14371	0.00050	4.37472	0.00050	5.42191	0.00050	5.80326	0.00050	4.63278
0.00384	33.16230	0.00772	11.17437	0.00150	6.30944	0.00150	7.81974	0.00150	8.36975	0.00150	6.68162
0.00512	35.91507	0.00779	11.20485	0.00400	8.74944	0.00400	10.84381	0.00400	11.60652	0.00400	9.26555
0.00640	37.64982	0.00786	11.23515	0.00800	11.02360	0.00800	13.66235	0.00800	14.62330	0.00800	11.67386
0.00768	38.65588	0.00793	11.26527	0.01200	12.61887	0.01200	15.63949	0.01200	16.73950	0.01200	13.36324
0.00896	39.09798	0.00799	11.29521	0.02000	14.96133	0.02000	18.54266	0.02000	19.84687	0.02000	15.84387
0.01024	39.08234	0.00806	11.32498	0.03000	17.12644	0.03000	21.22605	0.03000	22.71899	0.03000	18.13670
0.01152	38.68282	0.00813	11.35458	0.04500	19.60488	0.04500	24.29776	0.04500	26.00675	0.04500	20.76134
0.01280	37.95350	0.00820	11.38401	0.06000	21.57797	0.06000	26.74315	0.06000	28.62414	0.06000	22.85081
0.01408	36.93560	0.00827	11.41327	0.08000	23.74963	0.08000	29.43464	0.08000	31.50494	0.08000	25.15057
0.01536	35.66516	0.00833	11.44236	0.10000	25.58351	0.10000	31.70751	0.10000	33.93767	0.10000	27.09263
0.02561	25.90106	0.01181	12.93014	0.13000	27.92166	0.13000	34.60535	0.13000	37.03933	0.13000	29.56871
0.03585	16.12212	0.01528	14.41791	0.16000	29.92265	0.16000	37.08533	0.16000	39.69374	0.16000	31.68774
0.04609	6.34317	0.01875	15.90569	0.20000	32.23320	0.20000	39.94896	0.20000	42.75878	0.20000	34.13458
0.06658	6.34317	0.02250	15.90569	0.24000	32.23320	0.24000	39.94896	0.24000	42.75878	0.24000	34.13458

Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°1 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

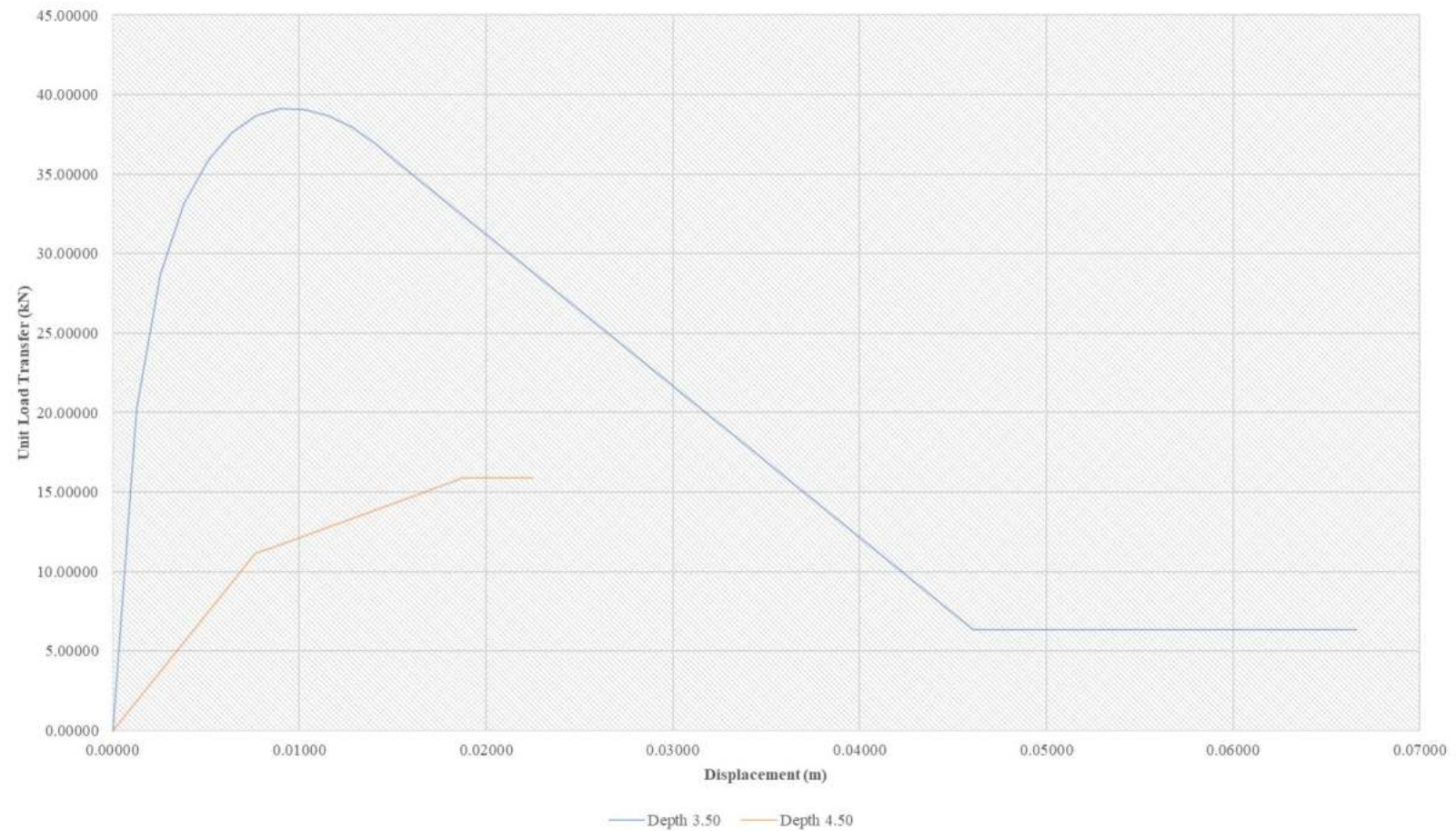
Depth 9.50		Depth 10.50		Depth 11.50		Depth 12.50		Depth 13.50		Depth 14.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.2400	-25.5104	-0.2400	-16.8862	-0.2400	-8.2620	-0.12000	-100.1212	-0.2400	-62.7352	-0.0225	-261.4463
-0.2000	-25.5104	-0.2000	-16.8862	-0.2000	-8.2620	-0.10000	-100.1212	-0.2000	-62.7352	-0.0188	-261.4463
-0.1600	-23.6817	-0.1600	-15.6757	-0.1600	-7.6697	-0.08000	-92.9443	-0.1600	-58.2382	-0.0153	-223.8139
-0.1300	-22.0981	-0.1300	-14.6275	-0.1300	-7.1569	-0.06500	-86.7289	-0.1300	-54.3437	-0.0118	-186.1815
-0.1000	-20.2476	-0.1000	-13.4026	-0.1000	-6.5575	-0.05000	-79.4663	-0.1000	-49.7930	-0.0083	-148.5490
-0.0800	-18.7962	-0.0800	-12.4418	-0.0800	-6.0875	-0.04000	-73.7700	-0.0800	-46.2237	-0.0075	-139.6145
-0.0600	-17.0775	-0.0600	-11.3042	-0.0600	-5.5308	-0.03000	-67.0245	-0.0600	-41.9970	-0.0067	-130.2948
-0.0450	-15.5159	-0.0450	-10.2705	-0.0450	-5.0251	-0.02250	-60.8958	-0.0450	-38.1568	-0.0059	-120.5236
-0.0300	-13.5544	-0.0300	-8.9721	-0.0300	-4.3898	-0.01500	-53.1974	-0.0300	-33.3331	-0.0051	-110.2121
-0.0200	-11.8409	-0.0200	-7.8379	-0.0200	-3.8349	-0.01000	-46.4722	-0.0200	-29.1191	-0.0043	-99.2362
-0.0120	-9.9870	-0.0120	-6.6107	-0.0120	-3.2345	-0.00600	-39.1961	-0.0120	-24.5600	-0.0035	-87.4132
-0.0080	-8.7244	-0.0080	-5.7750	-0.0080	-2.8256	-0.00400	-34.2410	-0.0080	-21.4551	-0.0027	-74.4515
-0.0040	-6.9246	-0.0040	-4.5836	-0.0040	-2.2426	-0.00200	-27.1771	-0.0040	-17.0290	-0.0019	-59.8273
-0.0015	-4.9935	-0.0015	-3.3054	-0.0015	-1.6172	-0.00075	-19.5981	-0.0015	-12.2800	-0.0011	-42.3779
-0.0005	-3.4623	-0.0005	-2.2918	-0.0005	-1.1213	-0.00025	-13.5885	-0.0005	-8.5145	-0.0003	-17.6480
-0.0001	-1.6071	-0.0001	-1.0638	-0.0001	-0.5205	-0.00003	-6.3072	-0.0001	-3.9521	-0.0001	-8.8240
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00005	1.60705	0.00005	1.06376	0.00005	0.52047	0.00003	6.30724	0.00005	3.95207	0.00013	8.82402
0.00050	3.46229	0.00050	2.29181	0.00050	1.12132	0.00025	13.58854	0.00050	8.51448	0.00025	17.64804
0.00150	4.99349	0.00150	3.30536	0.00150	1.61723	0.00075	19.59807	0.00150	12.28000	0.00106	42.37789
0.00400	6.92458	0.00400	4.58361	0.00400	2.24265	0.00200	27.17709	0.00400	17.02896	0.00187	59.82734
0.00800	8.72443	0.00800	5.77499	0.00800	2.82556	0.00400	34.24098	0.00800	21.45514	0.00268	74.45145
0.01200	9.98698	0.01200	6.61072	0.01200	3.23446	0.00600	39.19614	0.01200	24.56001	0.00348	87.41316
0.02000	11.84087	0.02000	7.83787	0.02000	3.83487	0.01000	46.47217	0.02000	29.11911	0.00429	99.23621
0.03000	13.55441	0.03000	8.97212	0.03000	4.38983	0.01500	53.19735	0.03000	33.33306	0.00510	110.21208
0.04500	15.51593	0.04500	10.27052	0.04500	5.02510	0.02250	60.89576	0.04500	38.15683	0.00591	120.52361
0.06000	17.07749	0.06000	11.30417	0.06000	5.53084	0.03000	67.02446	0.06000	41.99703	0.00672	130.29480
0.08000	18.79621	0.08000	12.44185	0.08000	6.08748	0.04000	73.76997	0.08000	46.22371	0.00753	139.61448
0.10000	20.24760	0.10000	13.40257	0.10000	6.55754	0.05000	79.46629	0.10000	49.79298	0.00833	148.54904
0.13000	22.09809	0.13000	14.62747	0.13000	7.15685	0.06500	86.72894	0.13000	54.34370	0.01181	186.18147
0.16000	23.68174	0.16000	15.67574	0.16000	7.66975	0.08000	92.94433	0.16000	58.23822	0.01528	223.81389
0.20000	25.51038	0.20000	16.88618	0.20000	8.26198	0.10000	100.12125	0.20000	62.73522	0.01875	261.44631
0.24000	25.51038	0.24000	16.88618	0.24000	8.26198	0.12000	100.12125	0.24000	62.73522	0.02250	261.44631

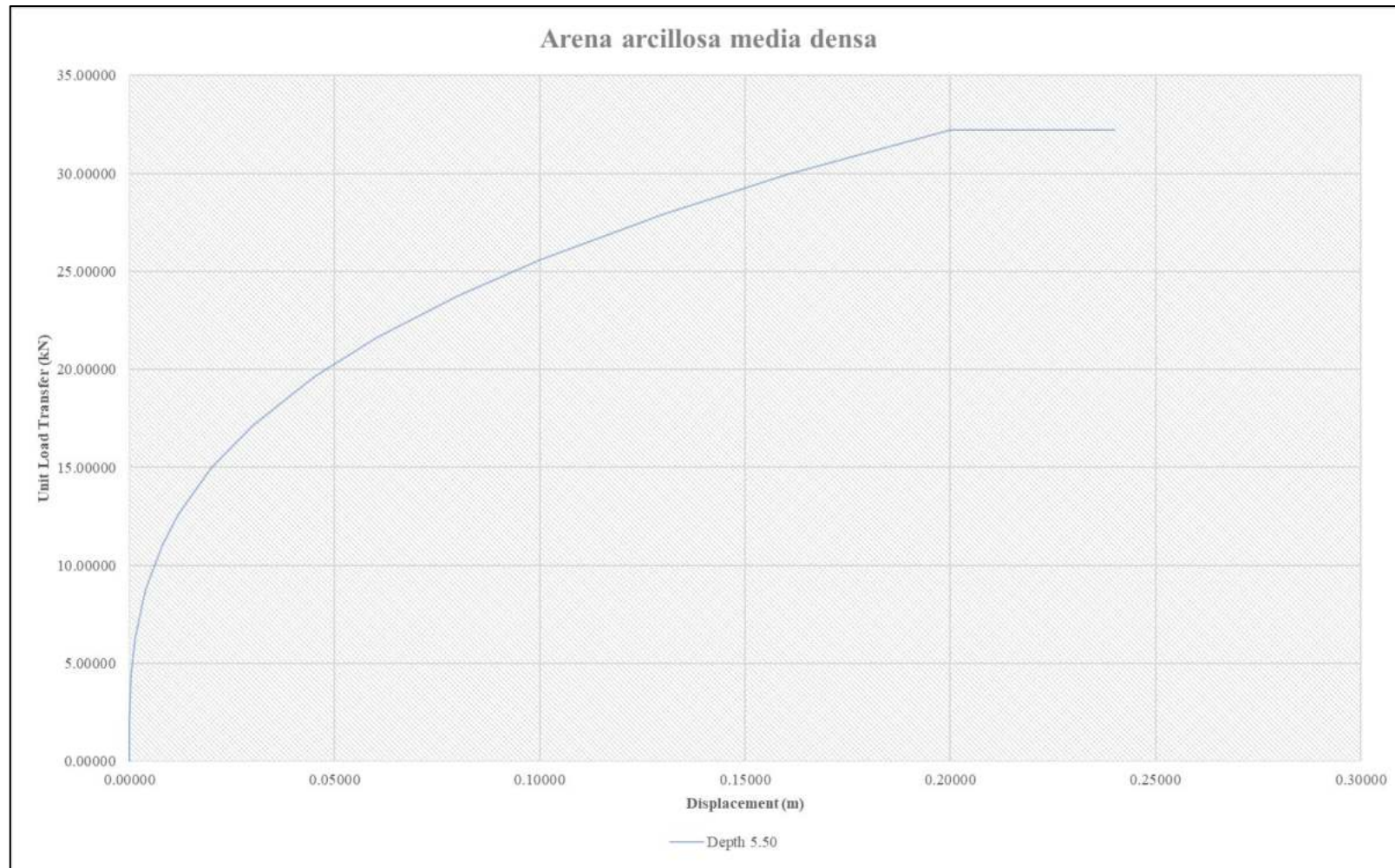
Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°1 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

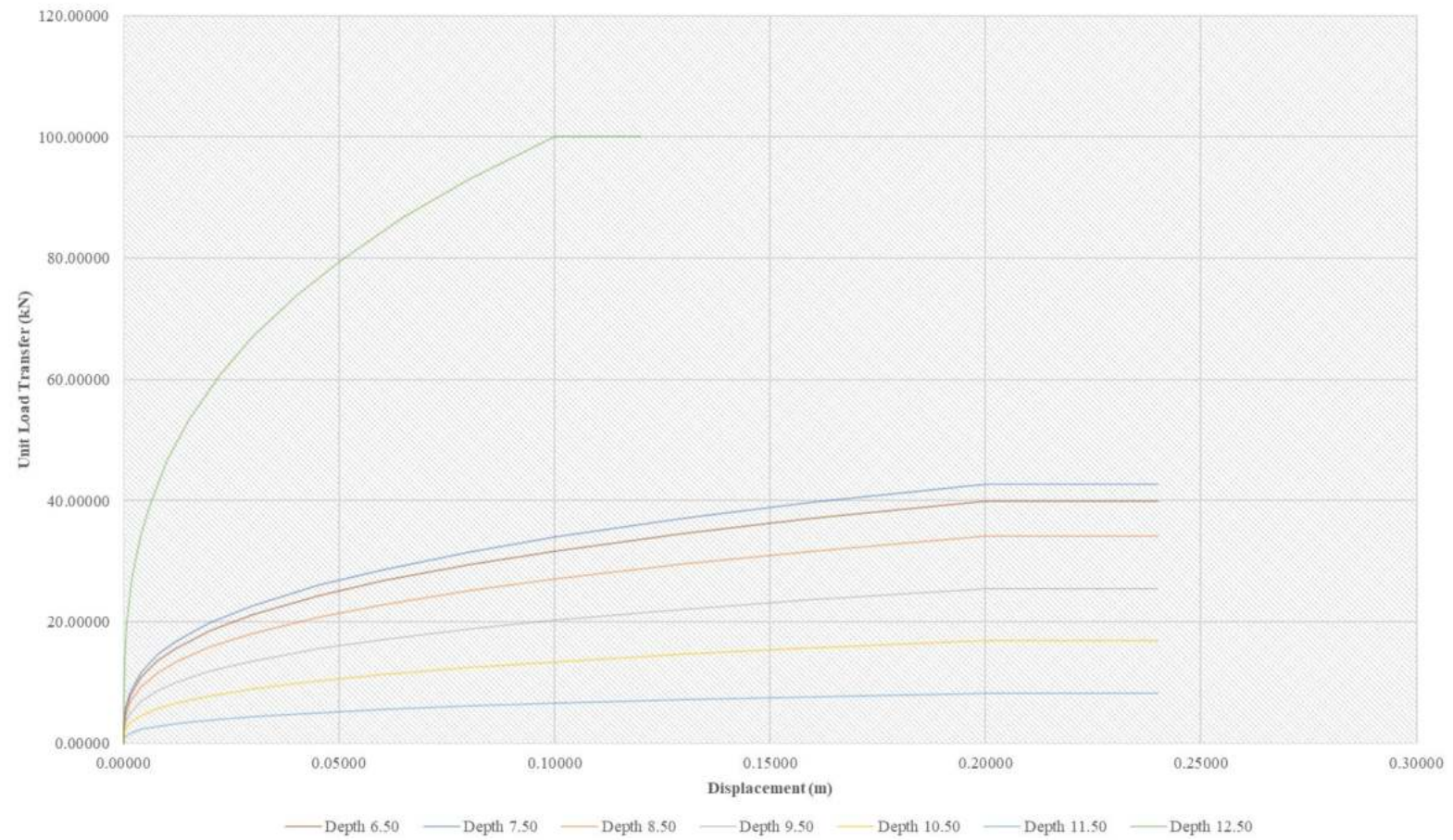
Depth 15.50		Depth 16.50		Depth 17.50		Depth 18.50		Depth 19.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.0225	-317.4809	-0.0225	-297.6101	-0.0225	-283.9567	-0.0225	-245.2849	-0.0225	-167.5112
-0.0188	-317.4809	-0.0188	-248.0084	-0.0188	-236.6306	-0.0188	-207.1899	-0.0188	-159.6865
-0.0153	-271.7829	-0.0153	-202.0809	-0.0153	-192.8101	-0.0153	-168.8214	-0.0153	-130.1149
-0.0118	-226.0849	-0.0118	-156.1535	-0.0118	-148.9896	-0.0118	-130.4529	-0.0118	-100.5433
-0.0083	-180.3869	-0.0083	-110.2260	-0.0083	-105.1691	-0.0083	-92.0844	-0.0083	-70.9718
-0.0078	-172.9300	-0.0076	-100.3056	-0.0076	-95.7039	-0.0076	-83.7968	-0.0076	-64.5843
-0.0072	-165.2597	-0.0068	-90.3853	-0.0068	-86.2387	-0.0068	-75.5092	-0.0068	-58.1969
-0.0067	-157.3526	-0.0061	-80.4650	-0.0061	-76.7735	-0.0061	-67.2216	-0.0061	-51.8094
-0.0061	-149.1805	-0.0053	-70.5446	-0.0053	-67.3082	-0.0053	-58.9340	-0.0053	-45.4219
-0.0055	-140.7089	-0.0046	-60.6243	-0.0046	-57.8430	-0.0046	-50.6464	-0.0046	-39.0345
-0.0050	-131.8946	-0.0038	-50.7039	-0.0038	-48.3778	-0.0038	-42.3588	-0.0038	-32.6470
-0.0044	-122.6828	-0.0031	-40.7836	-0.0031	-38.9126	-0.0031	-34.0712	-0.0031	-26.2596
-0.0039	-113.0012	-0.0023	-30.8633	-0.0023	-29.4474	-0.0023	-25.7836	-0.0023	-19.8721
-0.0033	-102.7519	-0.0016	-20.9429	-0.0016	-19.9821	-0.0016	-17.4960	-0.0016	-13.4846
-0.0027	-91.7952	-0.0008	-11.0226	-0.0008	-10.5169	-0.0008	-9.2084	-0.0008	-7.0972
-0.0014	-45.8976	-0.0004	-5.5113	-0.0004	-5.2585	-0.0004	-4.6042	-0.0004	-3.5486
0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
0.00137	45.89759	0.00042	5.51130	0.00042	5.25846	0.00042	4.60422	0.00042	3.54859
0.00274	91.79519	0.00083	11.02260	0.00083	10.51691	0.00083	9.20844	0.00083	7.09718
0.00330	102.75189	0.00158	20.94293	0.00158	19.98214	0.00158	17.49604	0.00158	13.48464
0.00386	113.00120	0.00233	30.86327	0.00233	29.44736	0.00233	25.78363	0.00233	19.87210
0.00442	122.68276	0.00308	40.78361	0.00308	38.91258	0.00308	34.07123	0.00308	26.25955
0.00498	131.89461	0.00383	50.70394	0.00383	48.37780	0.00383	42.35883	0.00383	32.64701
0.00554	140.70887	0.00458	60.62428	0.00458	57.84303	0.00458	50.64642	0.00458	39.03447
0.00610	149.18052	0.00533	70.54462	0.00533	67.30825	0.00533	58.93402	0.00533	45.42193
0.00666	157.35263	0.00608	80.46495	0.00608	76.77347	0.00608	67.22162	0.00608	51.80939
0.00722	165.25971	0.00683	90.38529	0.00683	86.23869	0.00683	75.50921	0.00683	58.19685
0.00777	172.92999	0.00758	100.30563	0.00758	95.70392	0.00758	83.79681	0.00758	64.58431
0.00833	180.38688	0.00833	110.22597	0.00833	105.16914	0.00833	92.08441	0.00833	70.97177
0.01181	226.08489	0.01181	156.15345	0.01181	148.98961	0.01181	130.45291	0.01181	100.54334
0.01528	271.78290	0.01528	202.08093	0.01528	192.81009	0.01528	168.82141	0.01528	130.11491
0.01875	317.48091	0.01875	248.00841	0.01875	236.63056	0.01875	207.18991	0.01875	159.68648
0.02250	317.48091	0.02250	297.61011	0.02250	283.95668	0.02250	245.28489	0.02250	167.51123

Arcilla de consistencia media blanda

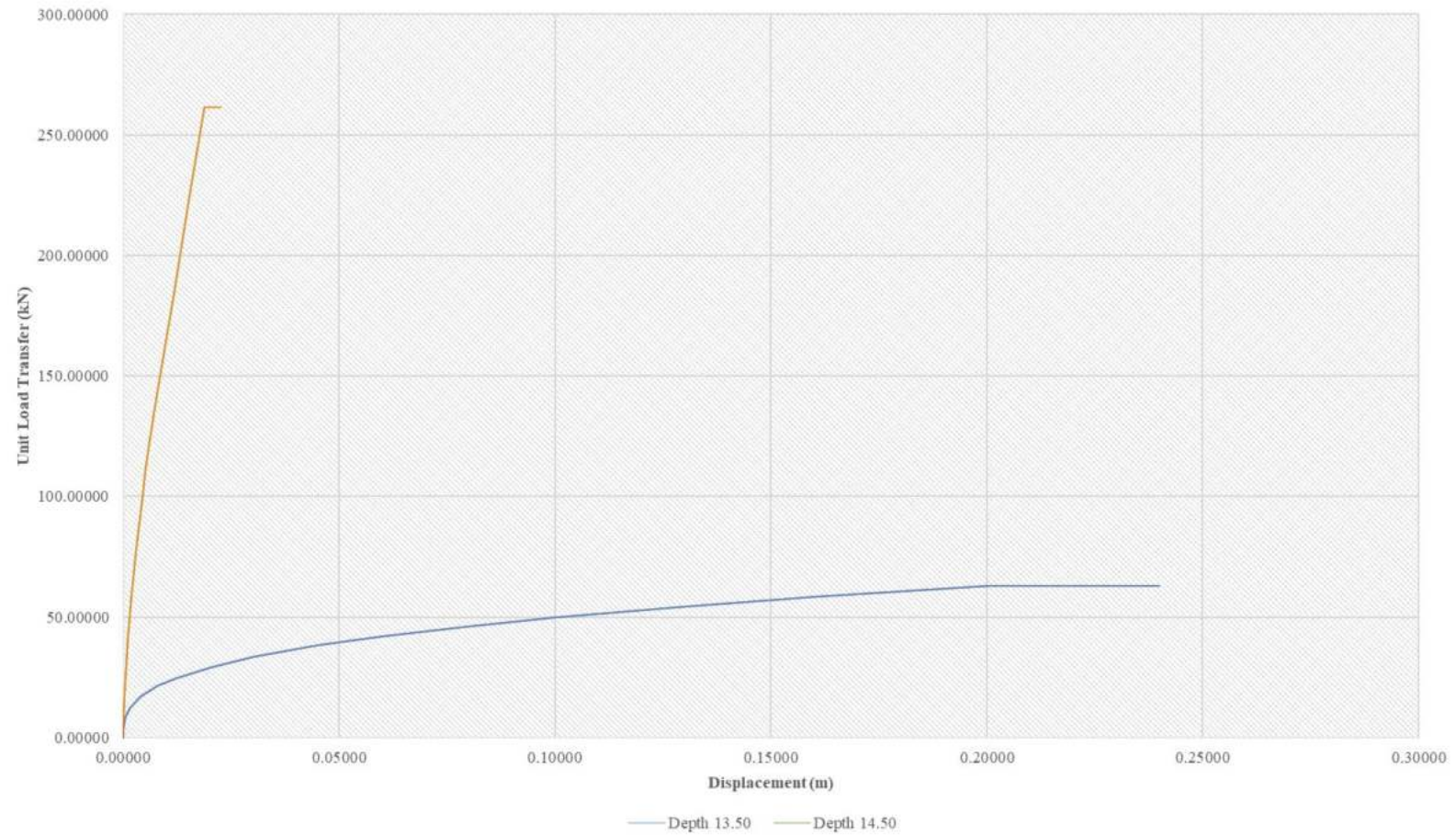




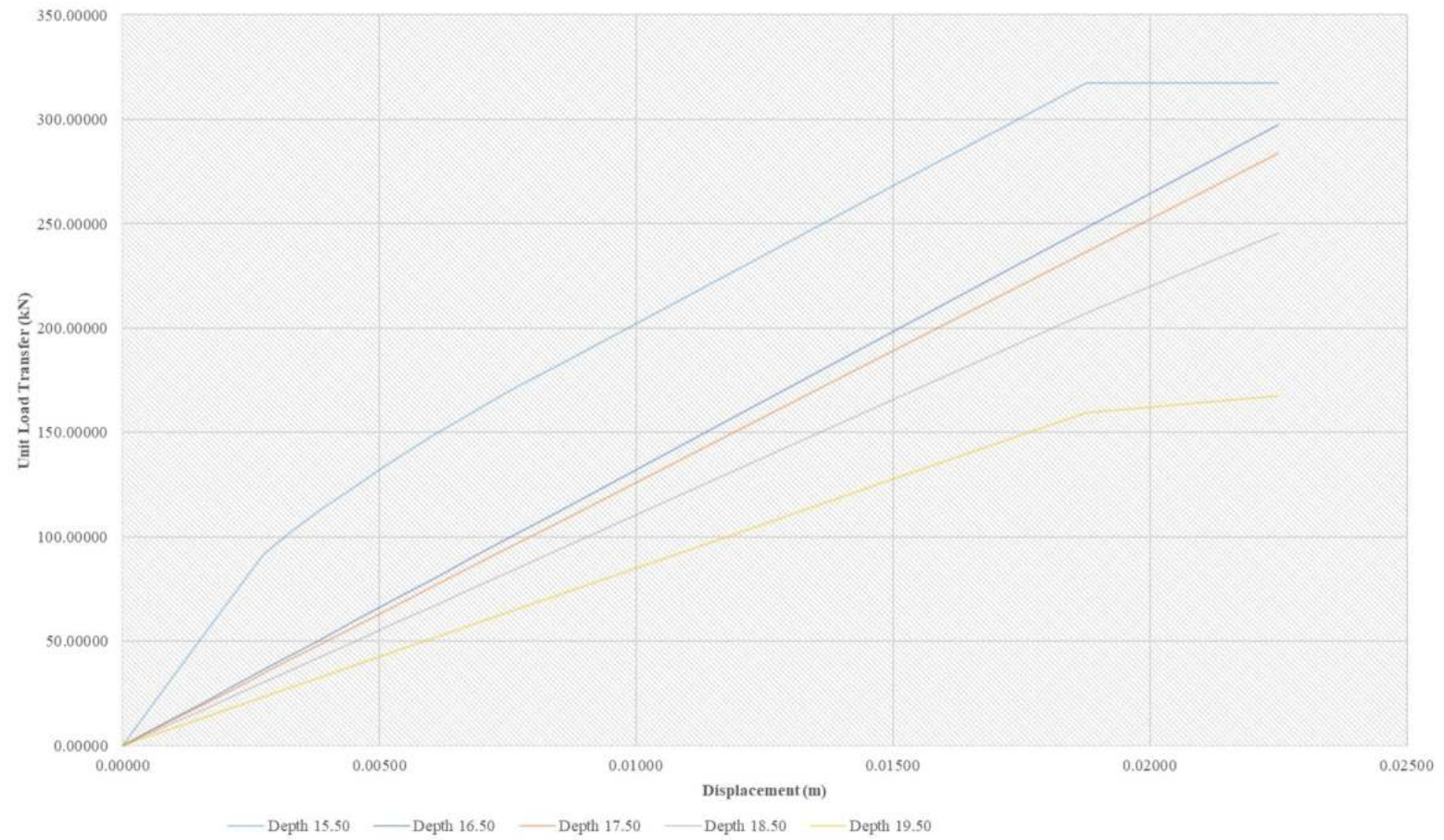
Suelo con alto contenido orgánico



Arcilla de consistencia blanda



Arena Arcillosa densa



Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°2 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

Depth 4.50		Depth 5.50		Depth 6.50		Depth 7.50		Depth 8.50		Depth 9.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.0549	-3.9993	-0.0225	-5.9908	-0.2400	-32.7200	-0.2400	-39.9630	-0.2400	-39.9004	-0.2400	-31.2602
-0.0380	-3.9993	-0.0188	-5.9908	-0.2000	-32.7200	-0.2000	-39.9630	-0.2000	-39.9004	-0.2000	-31.2602
-0.0296	-10.4024	-0.0153	-5.4303	-0.1600	-30.3746	-0.1600	-37.0984	-0.1600	-37.0402	-0.1600	-29.0194
-0.0211	-16.8055	-0.0118	-4.8699	-0.1300	-28.3434	-0.1300	-34.6175	-0.1300	-34.5633	-0.1300	-27.0788
-0.0127	-23.2057	-0.0083	-4.3094	-0.1000	-25.9699	-0.1000	-31.7187	-0.1000	-31.6690	-0.1000	-24.8112
-0.0116	-24.4224	-0.0081	-4.2681	-0.0800	-24.1083	-0.0800	-29.4450	-0.0800	-29.3989	-0.0800	-23.0327
-0.0106	-25.4577	-0.0078	-4.2259	-0.0600	-21.9039	-0.0600	-26.7526	-0.0600	-26.7106	-0.0600	-20.9266
-0.0095	-26.2756	-0.0076	-4.1828	-0.0450	-19.9010	-0.0450	-24.3063	-0.0450	-24.2682	-0.0450	-19.0131
-0.0085	-26.8456	-0.0073	-4.1387	-0.0300	-17.3851	-0.0300	-21.2335	-0.0300	-21.2002	-0.0300	-16.6095
-0.0074	-27.1272	-0.0071	-4.0935	-0.0200	-15.1873	-0.0200	-18.5492	-0.0200	-18.5201	-0.0200	-14.5097
-0.0063	-27.0657	-0.0068	-4.0471	-0.0120	-12.8095	-0.0120	-15.6450	-0.0120	-15.6205	-0.0120	-12.2380
-0.0053	-26.5819	-0.0066	-3.9996	-0.0080	-11.1901	-0.0080	-13.6672	-0.0080	-13.6457	-0.0080	-10.6908
-0.0042	-25.5532	-0.0063	-3.9508	-0.0040	-8.8816	-0.0040	-10.8476	-0.0040	-10.8306	-0.0040	-8.4853
-0.0032	-23.7636	-0.0061	-3.9006	-0.0015	-6.4047	-0.0015	-7.8225	-0.0015	-7.8102	-0.0015	-6.1190
-0.0021	-20.6617	-0.0058	-3.8490	-0.0005	-4.4408	-0.0005	-5.4238	-0.0005	-5.4153	-0.0005	-4.2427
-0.0011	-14.6100	-0.0029	-1.9245	-0.0001	-2.0612	-0.0001	-2.5175	-0.0001	-2.5136	-0.0001	-1.9693
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0011	14.6100	0.0029	1.9245	0.0001	2.0612	0.0001	2.5175	0.0001	2.5136	0.0001	1.9693
0.0021	20.6617	0.0058	3.8490	0.0005	4.4408	0.0005	5.4238	0.0005	5.4153	0.0005	4.2427
0.0032	23.7636	0.0061	3.9006	0.0015	6.4047	0.0015	7.8225	0.0015	7.8102	0.0015	6.1190
0.0042	25.5532	0.0063	3.9508	0.0040	8.8816	0.0040	10.8476	0.0040	10.8306	0.0040	8.4853
0.0053	26.5819	0.0066	3.9996	0.0080	11.1901	0.0080	13.6672	0.0080	13.6457	0.0080	10.6908
0.0063	27.0657	0.0068	4.0471	0.0120	12.8095	0.0120	15.6450	0.0120	15.6205	0.0120	12.2380
0.0074	27.1272	0.0071	4.0935	0.0200	15.1873	0.0200	18.5492	0.0200	18.5201	0.0200	14.5097
0.0085	26.8456	0.0073	4.1387	0.0300	17.3851	0.0300	21.2335	0.0300	21.2002	0.0300	16.6095
0.0095	26.2756	0.0076	4.1828	0.0450	19.9010	0.0450	24.3063	0.0450	24.2682	0.0450	19.0131
0.0106	25.4577	0.0078	4.2259	0.0600	21.9039	0.0600	26.7526	0.0600	26.7106	0.0600	20.9266
0.0116	24.4224	0.0081	4.2681	0.0800	24.1083	0.0800	29.4450	0.0800	29.3989	0.0800	23.0327
0.0127	23.2057	0.0083	4.3094	0.1000	25.9699	0.1000	31.7187	0.1000	31.6690	0.1000	24.8112
0.0211	16.8055	0.0118	4.8699	0.1300	28.3434	0.1300	34.6175	0.1300	34.5633	0.1300	27.0788
0.0296	10.4024	0.0153	5.4303	0.1600	30.3746	0.1600	37.0984	0.1600	37.0402	0.1600	29.0194
0.0380	3.9993	0.0188	5.9908	0.2000	32.7200	0.2000	39.9630	0.2000	39.9004	0.2000	31.2602
0.0549	3.9993	0.0225	5.9908	0.2400	32.7200	0.2400	39.9630	0.2400	39.9004	0.2400	31.2602

Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°2 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

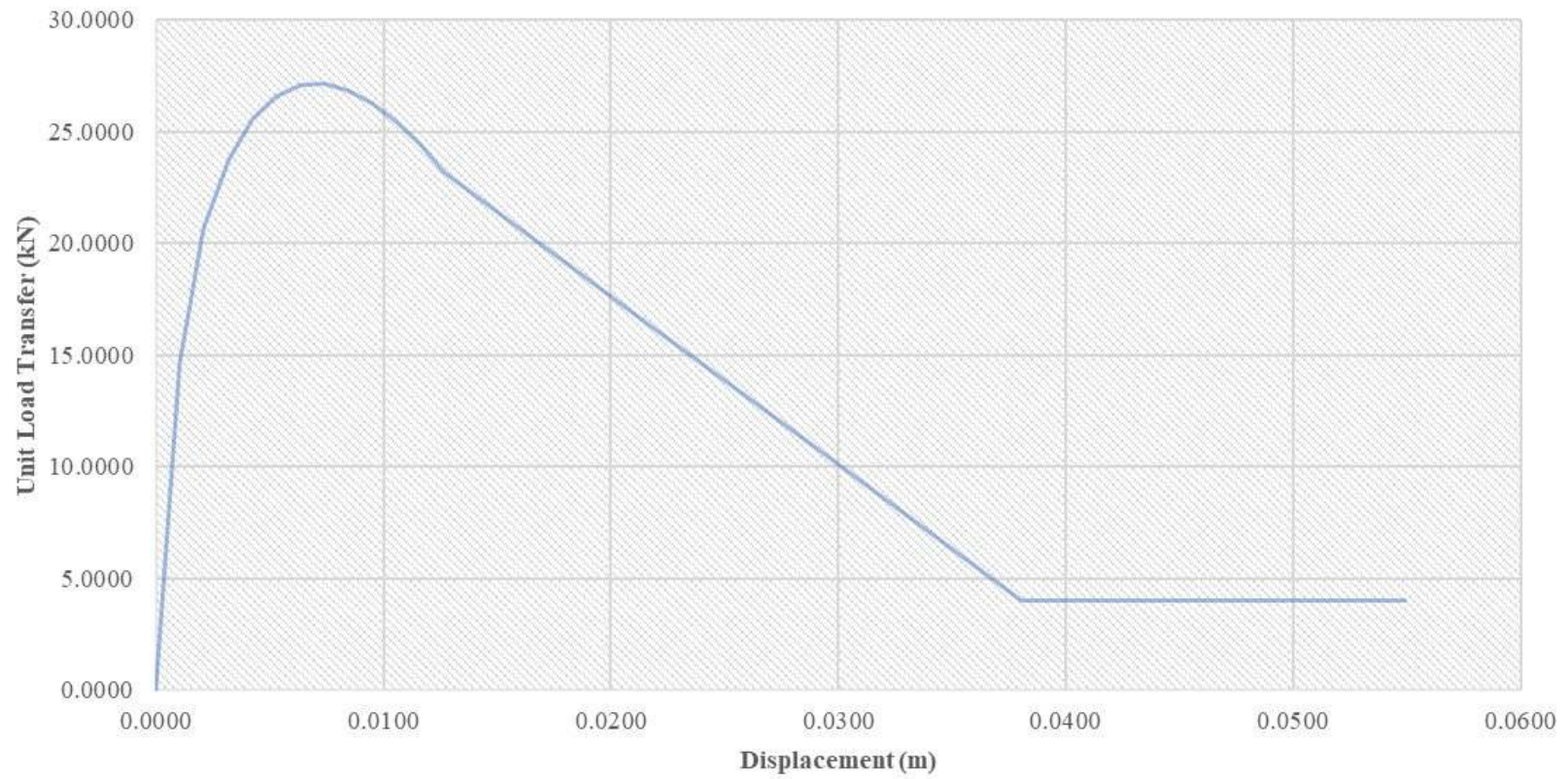
Depth 10.50		Depth 11.50		Depth 12.50		Depth 13.50		Depth 14.50		Depth 15.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.2400	-22.6200	-0.2400	-13.9798	-0.2400	-5.3396	-0.2400	-78.1977	-0.0225	-227.2929	-0.0225	-299.2972
-0.2000	-22.6200	-0.2000	-13.9798	-0.2000	-5.3396	-0.2000	-78.1977	-0.0188	-227.2929	-0.0188	-299.2972
-0.1600	-20.9986	-0.1600	-12.9777	-0.1600	-4.9569	-0.1600	-72.5924	-0.0153	-194.5765	-0.0153	-256.2166
-0.1300	-19.5943	-0.1300	-12.1099	-0.1300	-4.6254	-0.1300	-67.7379	-0.0118	-161.8601	-0.0118	-213.1359
-0.1000	-17.9535	-0.1000	-11.0958	-0.1000	-4.2381	-0.1000	-62.0656	-0.0083	-129.1437	-0.0083	-170.0552
-0.0800	-16.6666	-0.0800	-10.3004	-0.0800	-3.9343	-0.0800	-57.6166	-0.0075	-121.3516	-0.0077	-162.2258
-0.0600	-15.1426	-0.0600	-9.3586	-0.0600	-3.5745	-0.0600	-52.3481	-0.0067	-113.2223	-0.0071	-154.1447
-0.0450	-13.7580	-0.0450	-8.5028	-0.0450	-3.2477	-0.0450	-47.5614	-0.0059	-104.6977	-0.0065	-145.7805
-0.0300	-12.0187	-0.0300	-7.4279	-0.0300	-2.8371	-0.0300	-41.5488	-0.0051	-95.6995	-0.0058	-137.0947
-0.0200	-10.4993	-0.0200	-6.4889	-0.0200	-2.4784	-0.0200	-36.2962	-0.0043	-86.1185	-0.0052	-128.0384
-0.0120	-8.8554	-0.0120	-5.4729	-0.0120	-2.0904	-0.0120	-30.6134	-0.0035	-75.7932	-0.0046	-118.5485
-0.0080	-7.7359	-0.0080	-4.7810	-0.0080	-1.8261	-0.0080	-26.7433	-0.0027	-64.4655	-0.0040	-108.5407
-0.0040	-6.1400	-0.0040	-3.7947	-0.0040	-1.4494	-0.0040	-21.2261	-0.0018	-51.6694	-0.0034	-97.8983
-0.0015	-4.4277	-0.0015	-2.7365	-0.0015	-1.0452	-0.0015	-15.3067	-0.0010	-36.3596	-0.0027	-86.4497
-0.0005	-3.0700	-0.0005	-1.8974	-0.0005	-0.7247	-0.0005	-10.6131	-0.0002	-14.3843	-0.0021	-73.9240
-0.0001	-1.4250	-0.0001	-0.8807	-0.0001	-0.3364	-0.0001	-4.9261	-0.0001	-7.1922	-0.0011	-36.9620
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0001	1.4250	0.0001	0.8807	0.0001	0.3364	0.0001	4.9261	0.0001	7.1922	0.0011	36.9620
0.0005	3.0700	0.0005	1.8974	0.0005	0.7247	0.0005	10.6131	0.0002	14.3843	0.0021	73.9240
0.0015	4.4277	0.0015	2.7365	0.0015	1.0452	0.0015	15.3067	0.0010	36.3596	0.0027	86.4497
0.0040	6.1400	0.0040	3.7947	0.0040	1.4494	0.0040	21.2261	0.0018	51.6694	0.0034	97.8983
0.0080	7.7359	0.0080	4.7810	0.0080	1.8261	0.0080	26.7433	0.0027	64.4655	0.0040	108.5407
0.0120	8.8554	0.0120	5.4729	0.0120	2.0904	0.0120	30.6134	0.0035	75.7932	0.0046	118.5485
0.0200	10.4993	0.0200	6.4889	0.0200	2.4784	0.0200	36.2962	0.0043	86.1185	0.0052	128.0384
0.0300	12.0187	0.0300	7.4279	0.0300	2.8371	0.0300	41.5488	0.0051	95.6995	0.0058	137.0947
0.0450	13.7580	0.0450	8.5028	0.0450	3.2477	0.0450	47.5614	0.0059	104.6977	0.0065	145.7805
0.0600	15.1426	0.0600	9.3586	0.0600	3.5745	0.0600	52.3481	0.0067	113.2223	0.0071	154.1447
0.0800	16.6666	0.0800	10.3004	0.0800	3.9343	0.0800	57.6166	0.0075	121.3516	0.0077	162.2258
0.1000	17.9535	0.1000	11.0958	0.1000	4.2381	0.1000	62.0656	0.0083	129.1437	0.0083	170.0552
0.1300	19.5943	0.1300	12.1099	0.1300	4.6254	0.1300	67.7379	0.0118	161.8601	0.0118	213.1359
0.1600	20.9986	0.1600	12.9777	0.1600	4.9569	0.1600	72.5924	0.0153	194.5765	0.0153	256.2166
0.2000	22.6200	0.2000	13.9798	0.2000	5.3396	0.2000	78.1977	0.0188	227.2929	0.0188	299.2972
0.2400	22.6200	0.2400	13.9798	0.2400	5.3396	0.2400	78.1977	0.0225	227.2929	0.0225	299.2972

Curvas de Transferencia de Carga (py) para Pila N°2 Promedio

X Deflection (m)
Y Soil Resistance (kN)

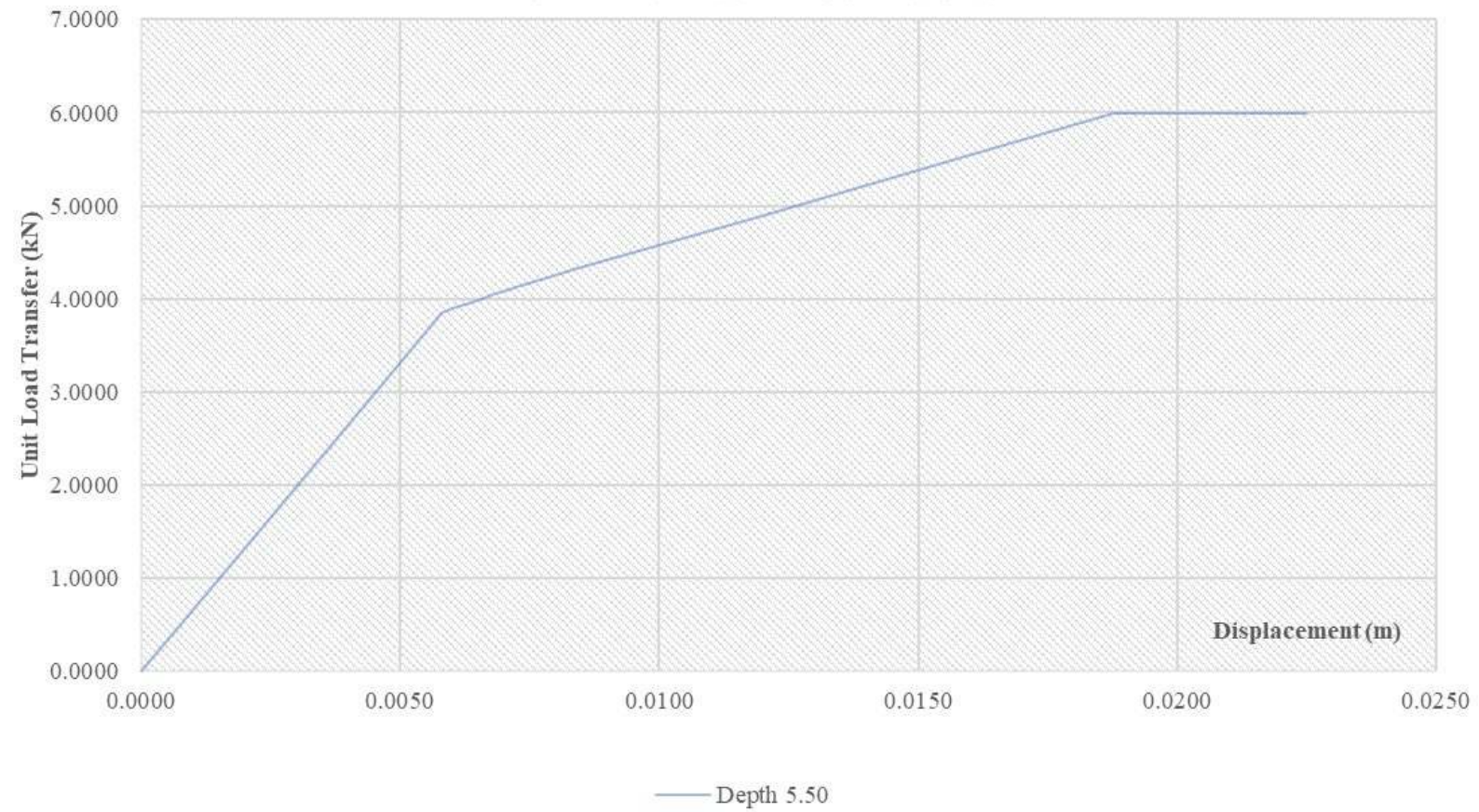
Depth 16.50		Depth 17.50		Depth 18.50		Depth 19.50	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
-0.0225	-295.6987	-0.0225	-293.3502	-0.0225	-271.7107	-0.0225	-226.1971
-0.0188	-246.4156	-0.0188	-244.4585	-0.0188	-226.4255	-0.0188	-192.3167
-0.0153	-200.7831	-0.0153	-199.1884	-0.0153	-184.4949	-0.0153	-156.7025
-0.0118	-155.1506	-0.0118	-153.9183	-0.0118	-142.5642	-0.0118	-121.0883
-0.0083	-109.5180	-0.0083	-108.6482	-0.0083	-100.6336	-0.0083	-85.4741
-0.0076	-99.6614	-0.0076	-98.8699	-0.0076	-91.5766	-0.0076	-77.7814
-0.0068	-89.8048	-0.0068	-89.0915	-0.0068	-82.5195	-0.0068	-70.0887
-0.0061	-79.9482	-0.0061	-79.3132	-0.0061	-73.4625	-0.0061	-62.3961
-0.0053	-70.0915	-0.0053	-69.5349	-0.0053	-64.4055	-0.0053	-54.7034
-0.0046	-60.2349	-0.0046	-59.7565	-0.0046	-55.3485	-0.0046	-47.0107
-0.0038	-50.3783	-0.0038	-49.9782	-0.0038	-46.2914	-0.0038	-39.3181
-0.0031	-40.5217	-0.0031	-40.1998	-0.0031	-37.2344	-0.0031	-31.6254
-0.0023	-30.6651	-0.0023	-30.4215	-0.0023	-28.1774	-0.0023	-23.9327
-0.0016	-20.8084	-0.0016	-20.6432	-0.0016	-19.1204	-0.0016	-16.2401
-0.0008	-10.9518	-0.0008	-10.8648	-0.0008	-10.0634	-0.0008	-8.5474
-0.0004	-5.4759	-0.0004	-5.4324	-0.0004	-5.0317	-0.0004	-4.2737
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0004	5.4759	0.0004	5.4324	0.0004	5.0317	0.0004	4.2737
0.0008	10.9518	0.0008	10.8648	0.0008	10.0634	0.0008	8.5474
0.0016	20.8084	0.0016	20.6432	0.0016	19.1204	0.0016	16.2401
0.0023	30.6651	0.0023	30.4215	0.0023	28.1774	0.0023	23.9327
0.0031	40.5217	0.0031	40.1998	0.0031	37.2344	0.0031	31.6254
0.0038	50.3783	0.0038	49.9782	0.0038	46.2914	0.0038	39.3181
0.0046	60.2349	0.0046	59.7565	0.0046	55.3485	0.0046	47.0107
0.0053	70.0915	0.0053	69.5349	0.0053	64.4055	0.0053	54.7034
0.0061	79.9482	0.0061	79.3132	0.0061	73.4625	0.0061	62.3961
0.0068	89.8048	0.0068	89.0915	0.0068	82.5195	0.0068	70.0887
0.0076	99.6614	0.0076	98.8699	0.0076	91.5766	0.0076	77.7814
0.0083	109.5180	0.0083	108.6482	0.0083	100.6336	0.0083	85.4741
0.0118	155.1506	0.0118	153.9183	0.0118	142.5642	0.0118	121.0883
0.0153	200.7831	0.0153	199.1884	0.0153	184.4949	0.0153	156.7025
0.0188	246.4156	0.0188	244.4585	0.0188	226.4255	0.0188	192.3167
0.0225	295.6987	0.0225	293.3502	0.0225	271.7107	0.0225	226.1971

Arcilla de consistencia media blanda

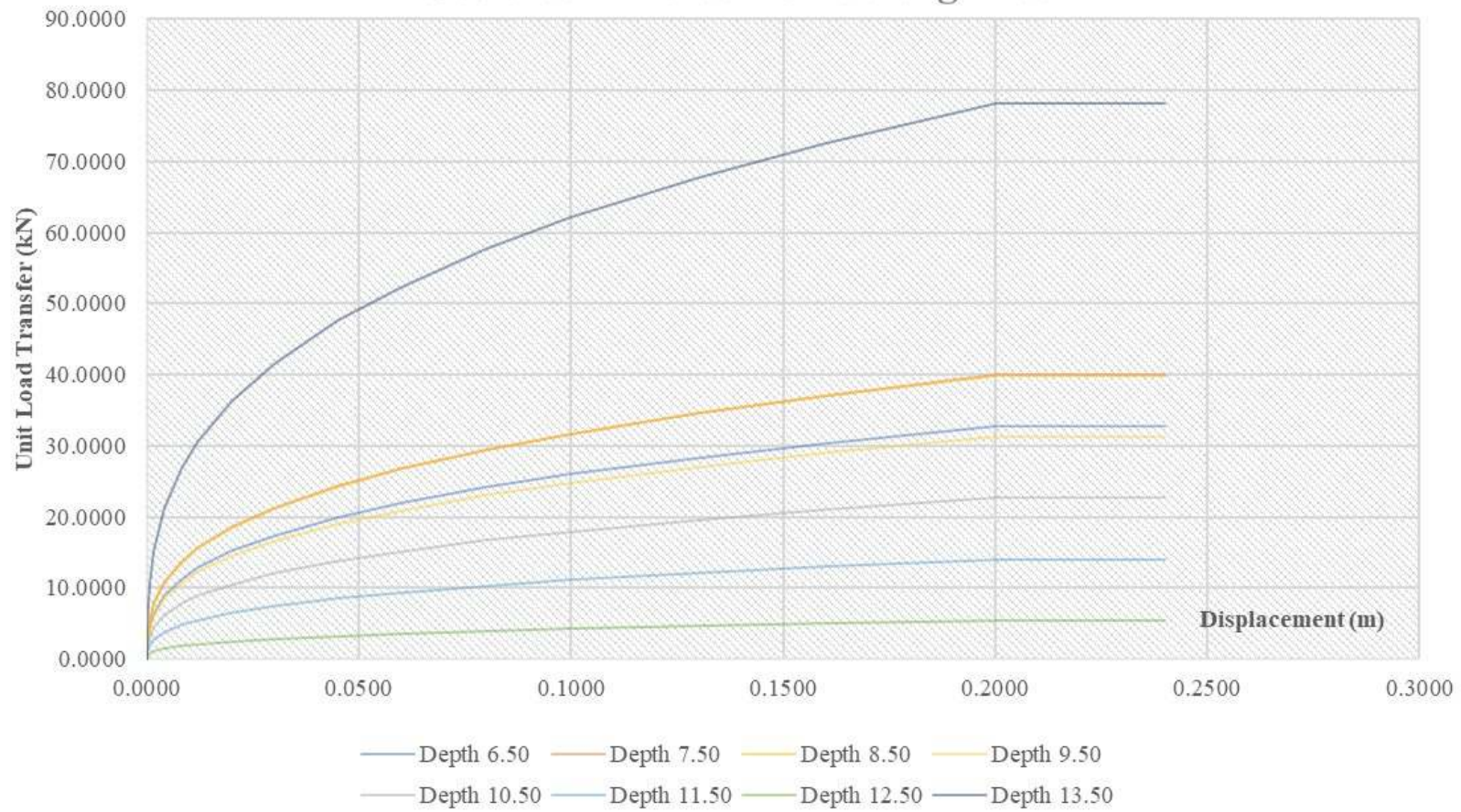


— Depth 4.50

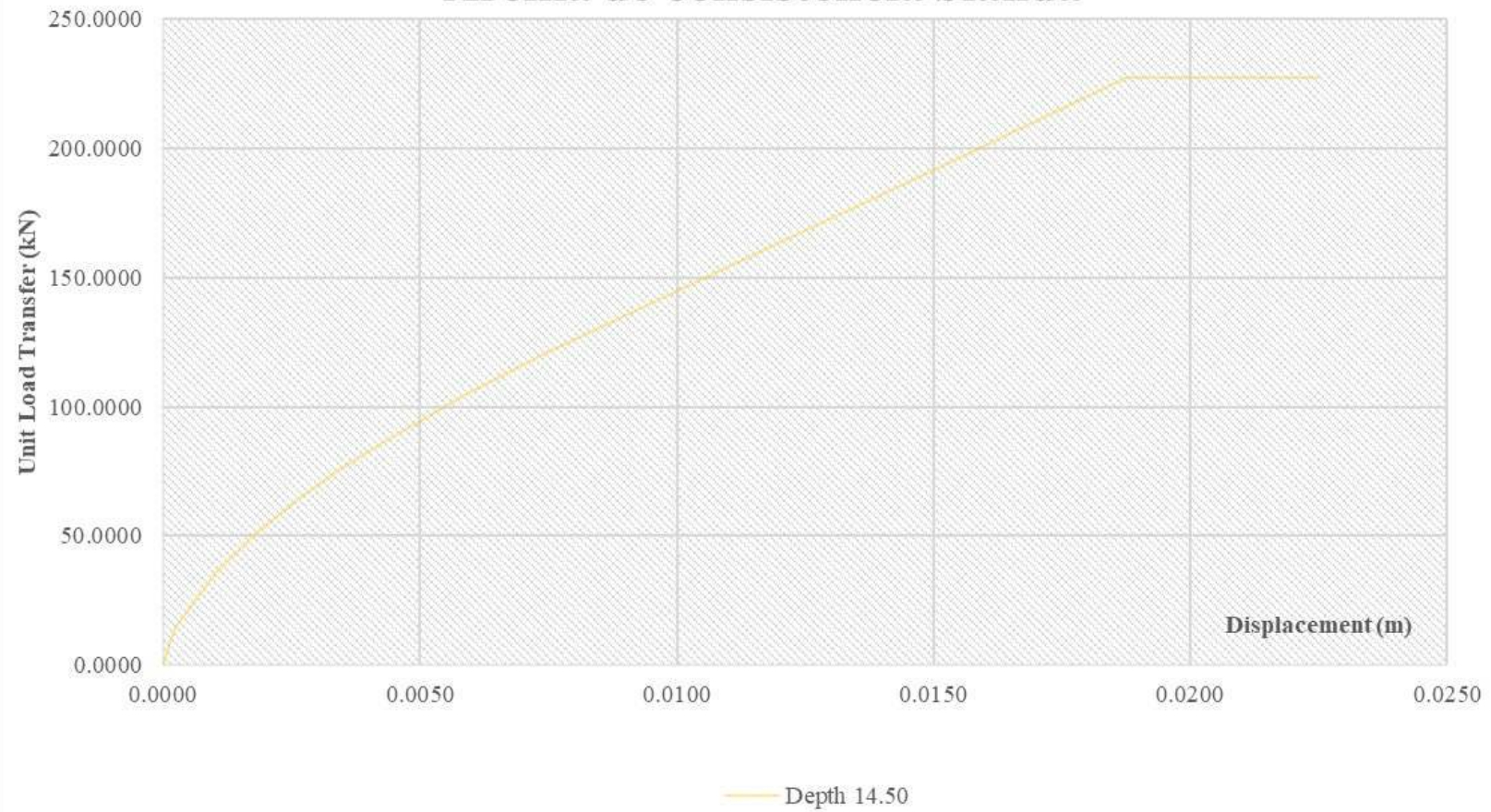
Arena arcillosa media densa



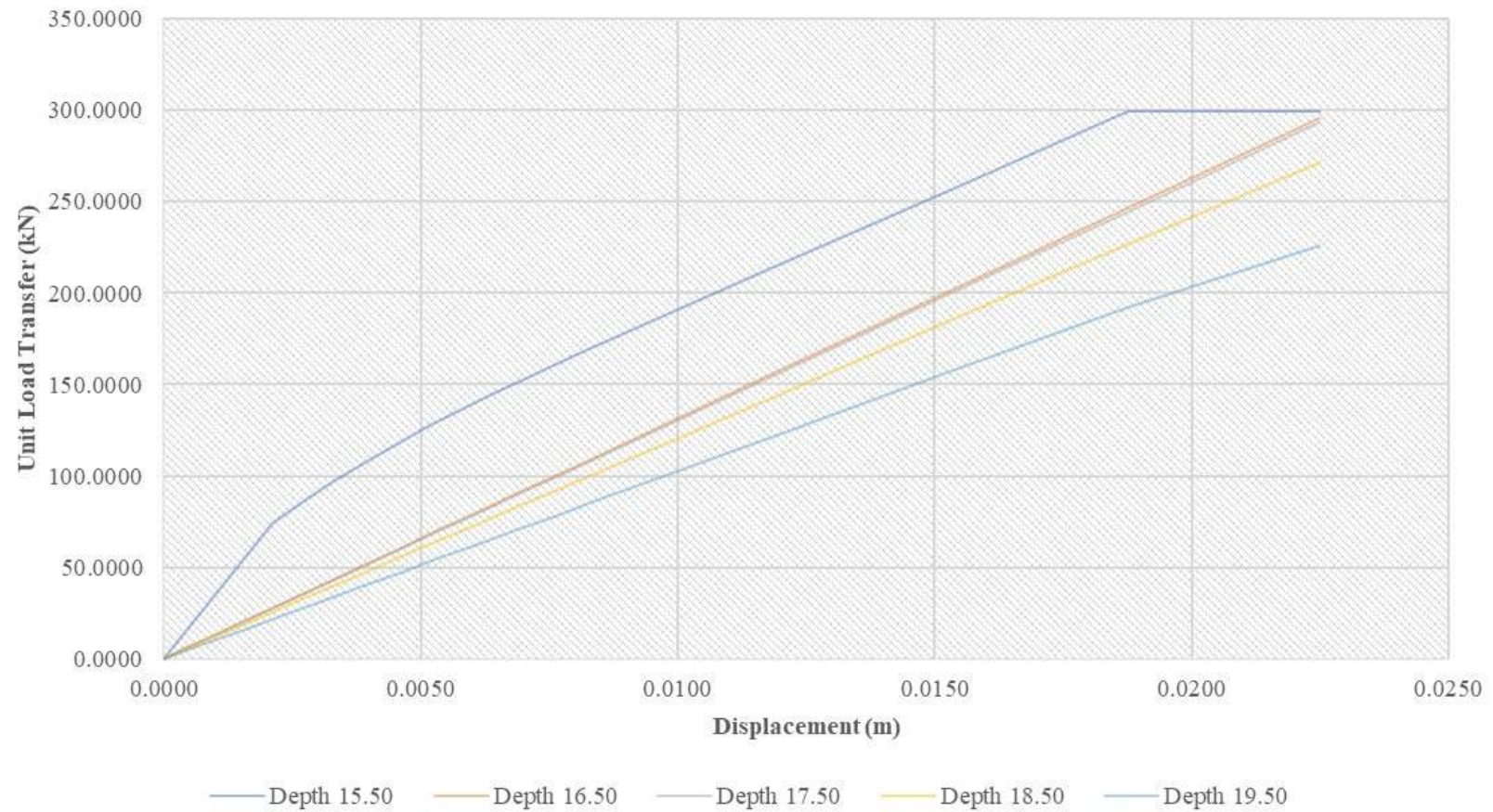
Suelo con alto contenido orgánico



Arcilla de consistencia blanda



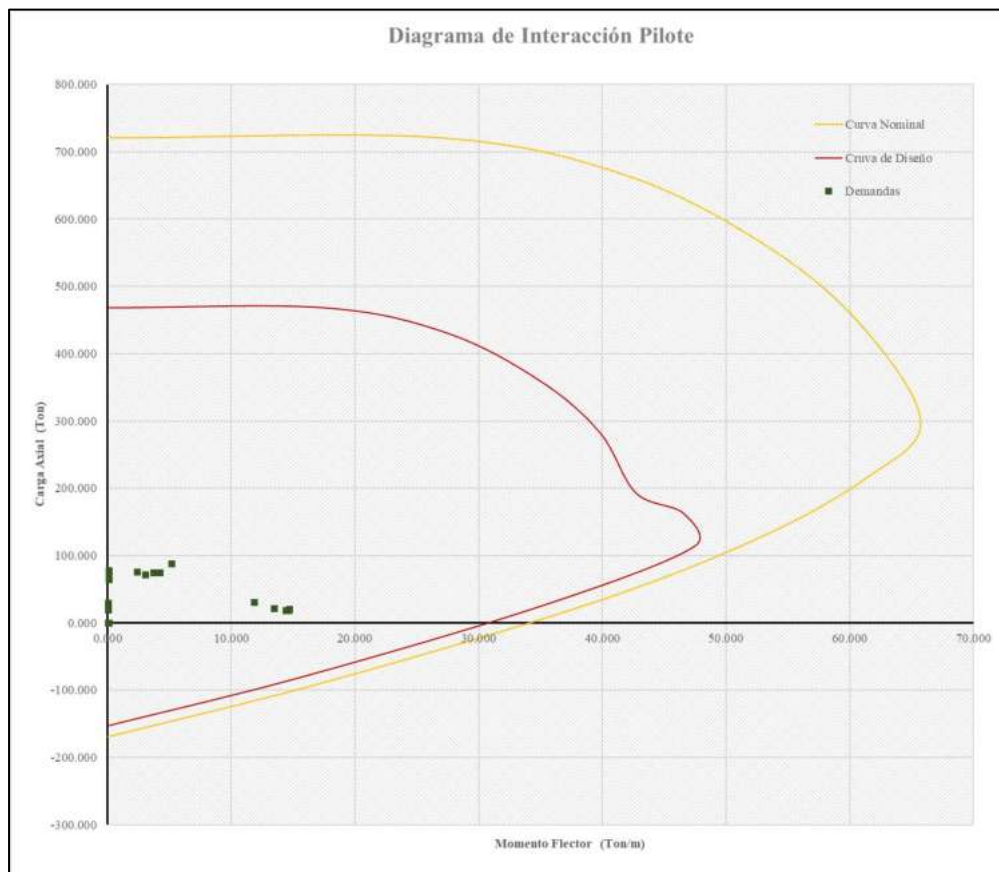
Arena arcillosa densa



ANEXO N°5

Evaluación a flexo-compresión y
cortante (Modelo Interacción
Pilote y Viga)

Demandas Obtenidas del CSI Bridge			
Valores Máximos - Pila N°2			
N° Pilote	Cominaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
1	RESISTENCIA I	20.09	14.72
		21.43	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	75.70	2.41
		0.10	0.14
	EVENTO EXTREMO I Y	0.04	0.05
2	RESISTENCIA I	18.10	14.64
		19.76	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	71.41	3.09
		64.52	0.13
	EVENTO EXTREMO I Y	19.06	0.05
3	RESISTENCIA I	17.60	14.45
		19.35	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	74.59	3.73
		67.09	0.13
	EVENTO EXTREMO I Y	19.29	0.05
4	RESISTENCIA I	21.48	13.47
		22.56	0.06
	EVENTO EXTREMO I X	74.08	4.25
		66.74	0.12
	EVENTO EXTREMO I Y	19.81	0.05
5	RESISTENCIA I	30.08	11.85
		29.70	0.07
	EVENTO EXTREMO I X	87.24	5.19
		77.67	0.11
	EVENTO EXTREMO I Y	23.91	0.05

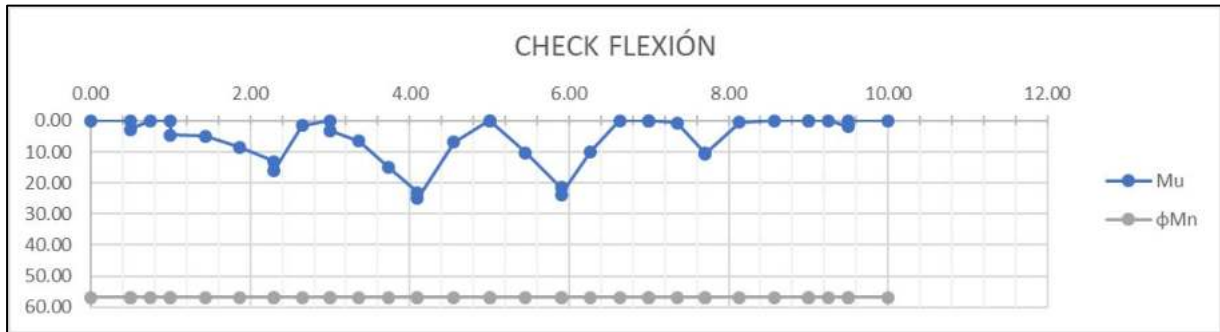


SAP2000						Momento de Agrietamiento				
Mu	Mu_max	Vu	Vu_max	station	Combinación	Mcr	1.2Mcr	As_req_max	Check	Mu
[Tonf*m]	[Tonf/m]	[Tonf]	[Tonf]	[m]	[Text]	[Tonf.m]	[Tonf.m]	[cm2]		[Tonf.m]
- 0.00	24.93	+ 0.02	54.47	0.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175	9.699		47.175
- 0.00		+ 1.19		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 2.82		+ 53.26		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 53.86		0.75	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 54.47		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 4.60		+ 2.74		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 4.89		+ 3.56		1.43	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 8.51		+ 4.39		1.86	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 13.03		+ 5.22		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 15.89		+ 46.39		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 1.53		+ 47.23		2.65	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 48.08		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 3.08		+ 2.00		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 6.43		+ 2.70		3.37	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 14.86		+ 3.40		3.73	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 22.97		+ 4.11		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 24.93		+ 43.74		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 6.80		+ 44.82		4.55	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 45.91		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 0.02		+ 0.73		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 10.23		+ 1.59		5.45	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 21.49		+ 2.46		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 23.71		+ 42.24		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 9.84		+ 43.12		6.27	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 44.00		6.63	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 44.88		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		- 0.00		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 0.62		- 0.00		7.35	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 10.41		- 0.00		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 10.68		+ 31.55		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 0.51		+ 32.59		8.14	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 33.62		8.57	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		+ 34.66		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		- 0.00		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		- 0.00		9.25	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 1.81		- 0.00		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
- 0.00		- 0.00		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+ 0.00		+ 0.01		10.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175

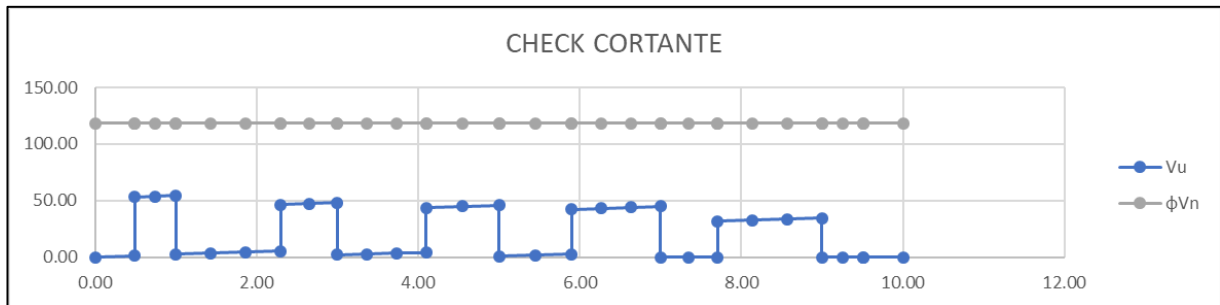
Diseño a Flexión																							
B1	As_min	As_bal	As_diseño	As_max	As_req	As_long					As_long	As_adop	CHECK	cuantia	a	φMn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK φMn>Mu		
	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]						[cm2]	[cm2]	As_adop>As_min		[cm]	[tonf*m]		[m]					
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	0.000	0.829	0.829	OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.096	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	0.747	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.788	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.901	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	1.432	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.310	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	1.864	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.069	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	6.183	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.593	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	2.648	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.196	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.500	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	3.366	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.781	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	3.733	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.936	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.699	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.644	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	4.549	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.008	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.981	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	5.451	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.360	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.222	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.829	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	6.267	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	6.634	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.242	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	7.352	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.049	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.156	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.200	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	8.136	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	8.568	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	9.253	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.704	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	21.991	OK		0.003	3.105	56.898	281	10.000	0.829		OK

Diseño a Cortante																				
Nº	As_est_1				As_est_1	Nº	As_est_2				As_est_2	As_est	As_min	check	φVn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
					[cm2]						[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]		As_est>As_min			[Tonf]
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.000	0.000	0.461	OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.494	0.010		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.494	0.450		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.747	0.455		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.000	0.461		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.000	0.023		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.432	0.030		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.864	0.037		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.296	0.044		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.296	0.392		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.648	0.399		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.000	0.407		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.000	0.017		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.366	0.023		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.733	0.029		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.099	0.035		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.099	0.370		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.549	0.379		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.000	0.388		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.000	0.006		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.451	0.013		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.901	0.021		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.901	0.357		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	6.267	0.365		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	6.634	0.372		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.000	0.379		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.352	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.704	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.704	0.267		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	8.136	0.276		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	8.568	0.284		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.000	0.293		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.253	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.506	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.506	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	10.000	0.000		OK

Chequeo a Flexo-Compresión (Acero Superior)



Chequeo a Cortante (Acero Superior)

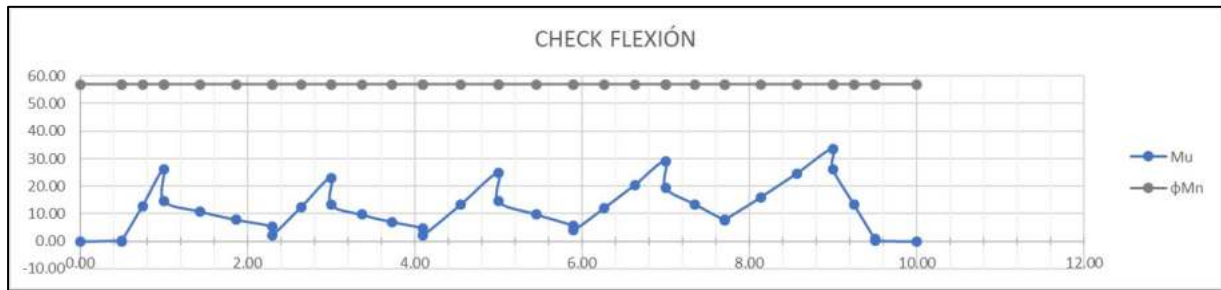


SAP2000						Momento de Agrietamiento					
Mu		Mu_max	Vu	Vu_max	station	Combinación	Mcr	1.2Mcr	As_req_max	Check	Mu
[Tonf*m]	[Tonf/m]	[Tonf]	[Tonf]	[m]	[Text]	[Tonf.m]	[Tonf.m]	[cm2]	[Tonf.m]		
-	0.00	33.55	-	0.02	52.93	0.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175	13.052	47.175
-	0.29		+	0.00		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
+	0.00		+	0.00		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	12.83		+	0.00		0.75	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	26.03		+	0.00		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	14.68		-	21.57		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	10.84		-	20.54		1.43	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	7.88		-	19.50		1.86	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	5.37		-	18.46		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	2.28		+	0.00		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	12.53		+	0.00		2.65	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	23.08		+	0.00		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.30		-	29.18		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	9.66		-	28.30		3.37	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	7.04		-	27.42		3.73	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	4.75		-	26.54		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	2.25		+	0.00		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.27		+	0.00		4.55	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	24.77		+	0.00		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	14.46		-	30.65		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	9.83		-	29.57		5.45	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	5.69		-	28.48		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	4.01		+	0.00		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	12.06		+	0.00		6.27	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	20.42		+	0.00		6.63	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	29.11		+	0.00		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	19.40		-	35.05		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.44		-	34.21		7.35	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	7.77		-	33.36		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	7.71		+	0.00		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	15.88		+	0.00		8.14	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	24.49		+	0.00		8.57	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	33.55		+	0.00		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	26.25		-	52.93		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.45		-	52.32		9.25	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.80		-	51.71		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.29		-	1.19		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
+	0.00		-	0.01		10.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175

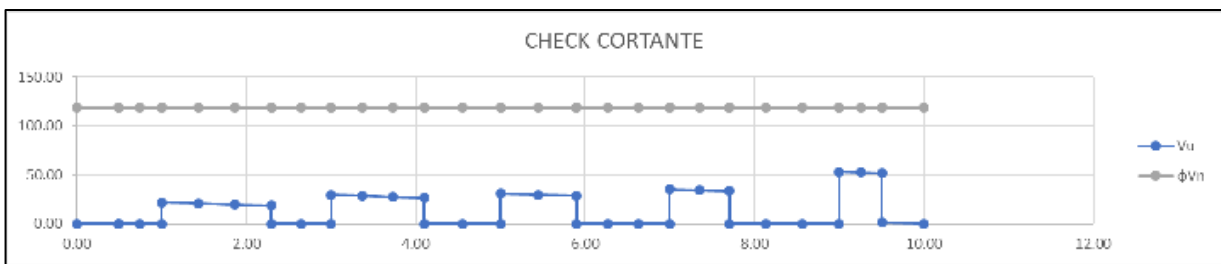
Diseño a Flexión																		
B1	As_min	As_bal	As_diseño	As_max	As_req	As_long				As_long	cuantia	a	φMn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]					[cm2]		[cm]	[tonf*m]		[m]			φMn>Mu
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	0.000	0.829	0.829	OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.114	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.992	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	0.747	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	10.124	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.709	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.216	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	1.432	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.064	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	1.864	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.088	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.886	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.874	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	2.648	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.978	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.174	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.757	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	3.366	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.740	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	3.733	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.847	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.874	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.160	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	4.549	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.636	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.625	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.824	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	5.451	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.212	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.561	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.690	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	6.267	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	7.944	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	6.634	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	11.324	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	7.547	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.226	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	7.352	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.021	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.001	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	6.177	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	8.136	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.527	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	8.568	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	13.052	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	10.212	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.232	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	9.253	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.311	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.114	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	281	10.000	0.829		OK

Diseño a Cortante																				
Nº	As_est_1				As_est_1	Nº	As_est_2				As_est_2	As_est	As_min	check	φVn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
					[cm2]						[cm2]	[cm2]	[cm2]	As_est>As_min	[Tonf]		[m]			φVn>Vu
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.000	0.000	0.448	OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.494	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.494	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	0.747	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.000	0.182		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.432	0.174		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	1.864	0.165		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.296	0.156		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.296	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	2.648	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.000	0.247		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.366	0.239		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	3.733	0.232		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.099	0.224		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.099	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	4.549	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.000	0.259		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.451	0.250		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.901	0.241		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	5.901	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	6.267	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	6.634	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.000	0.296		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.352	0.289		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.704	0.282		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	7.704	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	8.136	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	8.568	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.000	0.448		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.253	0.442		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.506	0.437		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	9.506	0.010		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	281	10.000	0.000		OK

Chequeo a Flexo-Compresión (Acero Inferior)



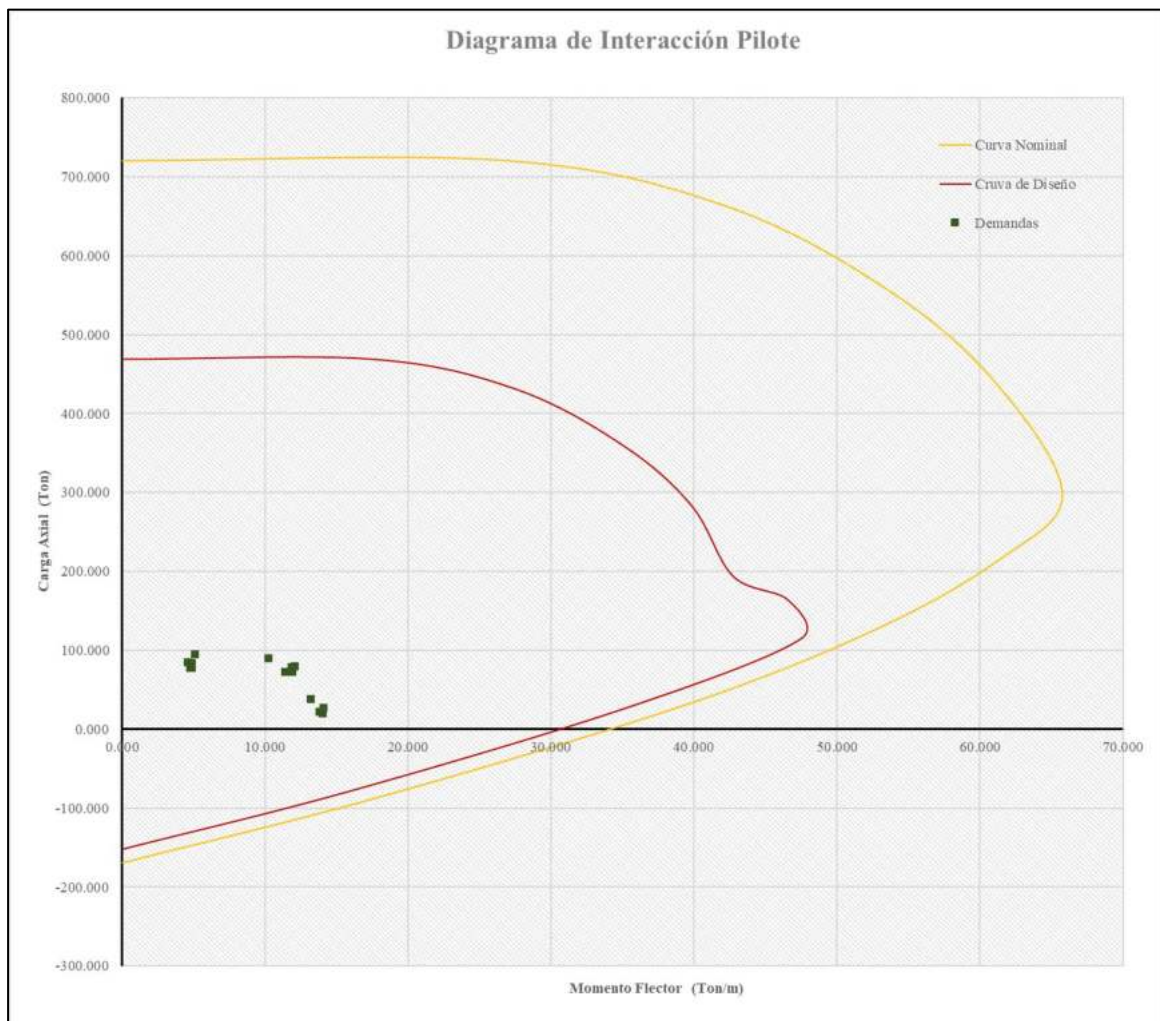
Chequeo a Cortante (Acero Inferior)



ANEXO N°6

Evaluación a flexo-compresión y
cortante (Modelo Simplificado
Pilote y Viga)

Demandas Obtenidas del CSI Bridge			
Valores Máximos -Pila N°2			
N° Pilote	Cominaciones de Carga	Pu (Ton)	Mu (Ton/m)
1	RESISTENCIA I	27.38	14.10
	EVENTO EXTREMO X	84.25	4.61
	EVENTO EXTREMO Y	79.27	12.07
2	RESISTENCIA I	21.83	14.05
	EVENTO EXTREMO X	77.65	4.78
	EVENTO EXTREMO Y	72.67	11.89
3	RESISTENCIA I	19.82	14.04
	EVENTO EXTREMO X	83.32	4.87
	EVENTO EXTREMO Y	78.34	11.85
4	RESISTENCIA I	22.42	13.81
	EVENTO EXTREMO X	77.21	4.89
	EVENTO EXTREMO Y	72.23	11.43
5	RESISTENCIA I	38.12	13.18
	EVENTO EXTREMO X	95.16	5.12
	EVENTO EXTREMO Y	90.17	10.22

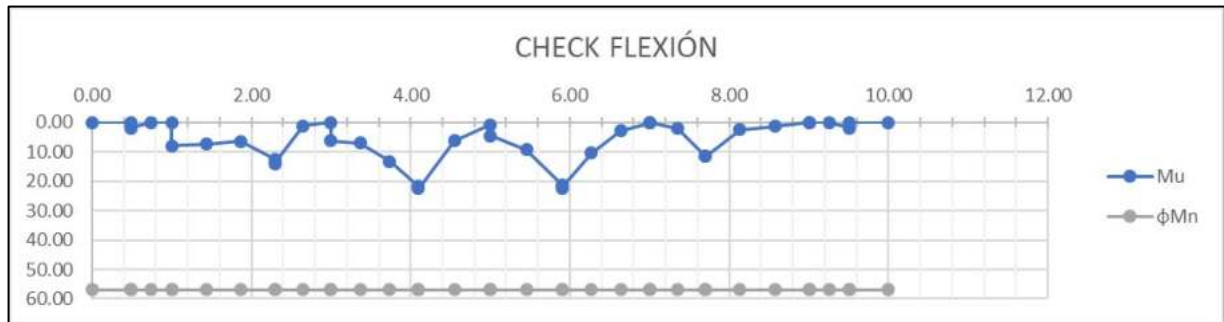


SAP2000						Momento de Agrietamiento					
Mu		Mu_max	Vu	Vu_max	station	Combinación	Mcr	1.2Mcr	As_req_max	Check	Mu
[Tonf*m]		[Tonf/m]	[Tonf]	[Tonf]	[m]	[Text]	[Tonf.m]	[Tonf.m]	[cm2]		[Tonf.m]
+	0.00	22.48	+	0.02	57.54	0.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175	8.744		47.175
-	0.00		+	1.19		0.49 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	1.91		+	56.32		0.49 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	56.93		0.75 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	57.54		1.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	7.94		+	4.62		1.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	7.26		+	5.45		1.43 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	6.45		+	6.28		1.86 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	12.37		+	7.11		2.30 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	13.90		+	43.61		2.30 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	1.11		+	44.45		2.65 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	45.30		3.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	6.21		+	3.25		3.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	6.92		+	3.96		3.37 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	13.18		+	4.66		3.73 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	21.62		+	5.36		4.10 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	22.48		+	41.71		4.10 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	6.19		+	42.79		4.55 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	0.75		+	43.88		5.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	4.52		+	3.27		5.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	9.14		+	4.14		5.45 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	21.17		+	5.00		5.90 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	22.29		+	38.19		5.90 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	10.44		+	39.07		6.27 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	2.86		+	39.95		6.63 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	0.06		+	40.83		7.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	0.44		7.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	2.02		+	1.11		7.35 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	11.43		+	1.79		7.70 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	11.40		+	31.72		7.70 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	2.40		+	32.76		8.14 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	1.26		+	33.80		8.57 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	34.83		9.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		-	0.00		9.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		-	0.00		9.25 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
+	1.74		-	0.00		9.51 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		-	0.00		9.51 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175
-	0.00		+	0.02		10.00 ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175			47.175

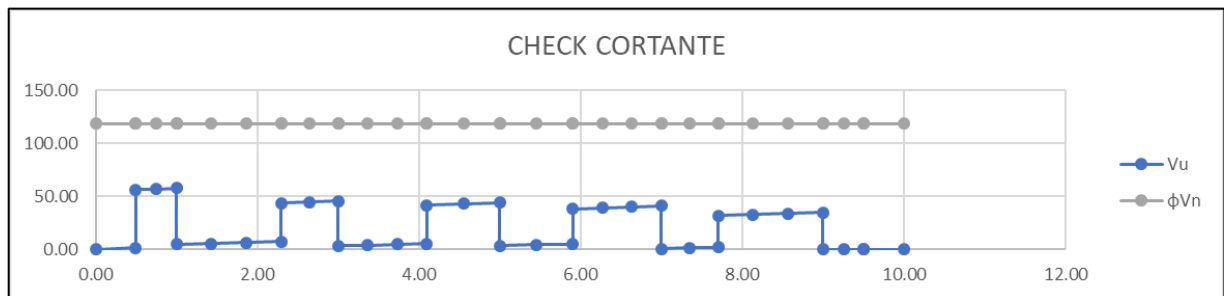
Diseño a Flexión																				
B1	As_min	As_bal	As_diseño	As_max	As_req	As_long					As_long	cuantia	a	φMn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK φMn>Mu	
	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]						[cm2]	[cm]	[tonf*m]	[m]						
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.000	0.829	0.829	OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.745	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.747	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.087	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.822	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.432	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.510	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.864	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.813	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.407	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.430	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.648	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.414	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.693	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.366	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.127	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.733	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.409	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.744	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.407	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.549	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.291	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.757	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.554	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.451	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.235	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.670	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.060	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	6.267	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.111	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	6.634	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.024	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.787	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.352	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.447	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.436	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.934	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	8.136	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.489	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	8.568	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.253	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.675	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20		φ		21.991	0.003	3.105	56.898	287	10.000	0.829		OK

	Diseño a Cortante																			
Nº	As_est_1				As_est_1	Nº	As_est_2				As_est_2	As_est	As_min	check	φVn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
					[cm2]						[cm2]	[cm2]	[cm2]	As_est>As_min	[Tonf]		[m]			φVn>Vu
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.000	0.000	0.487	OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.494	0.010		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.494	0.476		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.747	0.481		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.000	0.487		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.000	0.039		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.432	0.046		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.864	0.053		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.296	0.060		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.296	0.369		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.648	0.376		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.000	0.383		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.000	0.028		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.366	0.033		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.733	0.039		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.099	0.045		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.099	0.353		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.549	0.362		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.000	0.371		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.000	0.028		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.451	0.035		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.901	0.042		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.901	0.323		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	6.267	0.330		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	6.634	0.338		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.000	0.345		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.000	0.004		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.352	0.009		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.704	0.015		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.704	0.268		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	8.136	0.277		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	8.568	0.286		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.000	0.295		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.253	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.506	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.506	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	10.000	0.000		OK

Chequeo a Flexo-Compresión (Acero Superior)



Chequeo a Cortante (Acero Superior)

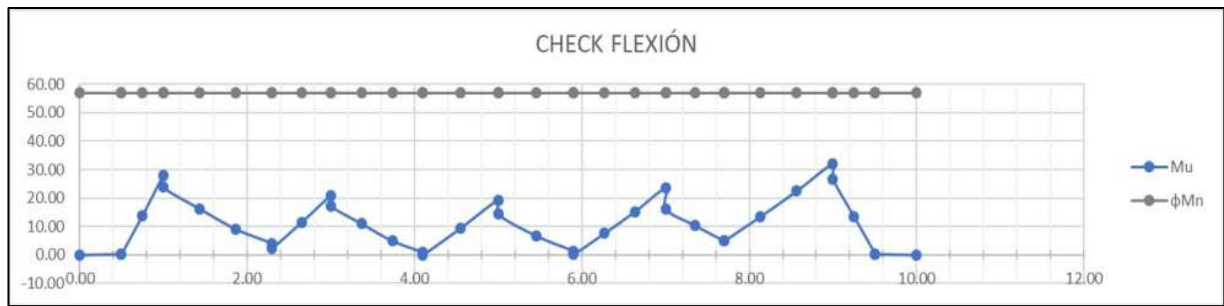


SAP2000						Momento de Agrietamiento					
Mu		Mu_max	Vu	Vu_max	station	Combinación	Mcr	1.2Mcr	As_req_max	Check	Mu
[Tonf*m]	[Tonf/m]	[Tonf]	[Tonf]	[m]	[Text]	[Tonf.m]	[Tonf.m]	[cm2]	[Tonf.m]		
-	0.00	32.16	-	0.02	54.13	0.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175	12.510	47.175
-	0.29		+	0.00		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.22		+	0.00		0.49	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.94		+	0.00		0.75	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	28.11		+	0.00		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	23.81		-	25.98		1.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	16.27		-	24.95		1.43	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	9.10		-	23.91		1.86	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	4.04		-	22.87		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	2.43		+	0.00		2.30	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	11.50		+	0.00		2.65	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	20.87		+	0.00		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	17.31		-	31.51		3.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	11.02		-	30.63		3.37	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	5.00		-	29.75		3.73	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.93		-	28.87		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.05		+	0.00		4.10	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	9.46		+	0.00		4.55	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	19.37		+	0.00		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	14.35		-	34.42		5.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	6.75		-	33.34		5.45	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	1.35		-	32.26		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.26		+	0.00		5.90	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	7.62		+	0.00		6.27	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	15.30		+	0.00		6.63	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	23.56		+	0.00		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	16.17		-	35.11		7.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	10.39		-	34.27		7.35	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	4.90		-	33.42		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	5.02		-	2.09		7.70	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.60		-	1.26		8.14	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	22.64		-	0.44		8.57	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	32.16		+	0.00		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	26.79		-	54.13		9.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	13.48		-	53.52		9.25	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.33		-	52.92		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.29		-	1.19		9.51	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175
-	0.00		-	0.02		10.00	ENV. VIGA CABEZAL	39.312	47.175		47.175

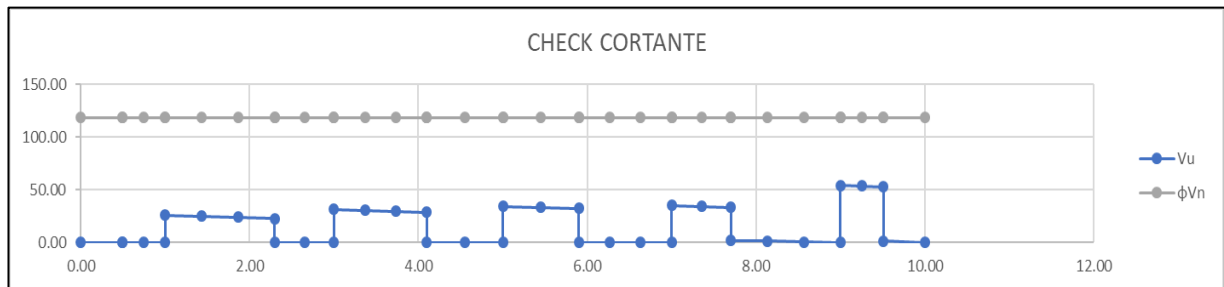
Diseño a Flexión																		
B1	As_min	As_bal	As_diseño	As_max	As_req	As_long				As_long	cuantia	a	φMn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]					[cm2]		[cm]	[tonf*m]		[m]			φMn>Mu
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.000	0.829	0.829	OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.114	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.087	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.494	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.422	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	0.747	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	10.933	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.261	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	6.330	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.432	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.540	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	1.864	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.573	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.946	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.296	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.474	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	2.648	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.117	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	6.733	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.288	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.366	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.947	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	3.733	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.361	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.018	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.099	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	3.681	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	4.549	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	7.535	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.582	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.627	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.451	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.526	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.100	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	5.901	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	2.963	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	6.267	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.951	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	6.634	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	9.163	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	6.290	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	4.040	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.352	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.906	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	1.951	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	7.704	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.291	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	8.136	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	8.806	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	8.568	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	12.510	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	10.420	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.000	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	5.244	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.253	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.127	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.114	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	9.506	0.829		OK
0.800	28.172	272.000	136.000	170.000	0.000	7	φ	20	φ	21.991	0.003	3.105	56.898	287	10.000	0.829		OK

Diseño a Cortante																				
Nº	As_est_1				As_est_1	Nº	As_est_2				As_est_2	As_est	As_min	check	φVn	Label	station	D/C	D/C MAX	CHECK
					[cm2]						[cm2]	[cm2]	[cm2]	[cm2]	As_est>As_min		[Tonf]			[m]
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.000	0.000	0.458	OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.494	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.494	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	0.747	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.000	0.220		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.432	0.211		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	1.864	0.202		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.296	0.193		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.296	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	2.648	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.000	0.266		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.366	0.259		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	3.733	0.252		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.099	0.244		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.099	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	4.549	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.000	0.291		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.451	0.282		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.901	0.273		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	5.901	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	6.267	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	6.634	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.000	0.297		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.352	0.290		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.704	0.283		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	7.704	0.018		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	8.136	0.011		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	8.568	0.004		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.000	0.000		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.000	0.458		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.253	0.453		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.506	0.447		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	9.506	0.010		OK
2	φ	12	@	150	2.262	2	φ	12	@	150	2.262	4.524	4.176	OK	118.267	287	10.000	0.000		OK

Chequeo a Flexo-Compresión (Acero Inferior)



Chequeo a Cortante (Acero Inferior)





FICHA DE REGISTRO DE TRABAJO DE TITULACIÓN



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
SECRETARÍA NACIONAL DE EDUCACIÓN SUPERIOR,
CIENCIA, TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA		
FICHA DE REGISTRO DE TESIS		
TÍTULO Y SUBTÍTULO: Análisis del comportamiento estructural de la pila de un puente de tres tramos continuos conformada por el sistema pilote-columna-viga cabezal, incorporando la interacción suelo-pilote- estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (Pushover), ubicado en la vía Durán – Jujan.		
AUTOR/ ES: Espinoza Andrade Luis Arturo Ortega Álvarez Andrés Xavier		REVISORES: Ing. Lindao Tomalá Pablo, M.Sc Ing. Vizconde Campos Adalberto, M.Sc
INSTITUCIÓN: Universidad de Guayaquil		FACULTAD: Ciencias Matemáticas y Físicas
CARRERA: Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACION: Septiembre 2022		Nº DE PÁGS: 141
ÁREAS TEMÁTICAS: Análisis del comportamiento de la Pila de un Puente		
PALABRAS CLAVE: SISMO – INTERACCION – SUELO – PILOTE – ESTRUCTURA		
RESUMEN: La situación geográfica del Ecuador juega un papel importante a la hora de diseñar y construir estructuras con un comportamiento frente a eventos sísmicos. Dichos eventos han llevado a profesionales de la ingeniería a considerar nuevos tipos de análisis para evitar colapso de puentes. En este trabajo toma en cuenta el análisis del comportamiento estructural de la pila de un puente de tres tramos continuos conformada por el sistema pilote-columna-viga cabezal, incorporando la interacción suelo-pilote- estructura y verificando el desempeño sísmico mediante el análisis estático no lineal (pushover). Para esto se utilizará varias herramientas de trabajo como son los softwares, CSIBridge, Apile, Group y Sap2000; que consideran la modelación con sus respectivos elementos y materiales, la parte geotécnica de la zona de estudio, para poder obtener las curvas de transferencia de carga axial y lateral, que, bajo un criterio fundamentado respaldado por normas, con cálculos y el estudio de suelo.		
Nº DE REGISTRO (en base de datos):		Nº DE CLASIFICACIÓN:
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		
ADJUNTO PDF:	SI	NO
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0987229948 0986991966	E-mail: andresxavier-ortega@hotmail.com luis.espinoza.andrade@gmail.com
CONTACTO EN LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Secretaria de la Facultad Teléfono: (04) 2-283348 E-mail: fmatematicas@ug.edu.ec	