



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

TEMA:

**“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL
MUELLE MARÍTIMO UBICADO EN LA BASE NAVAL SUR
GUAYAS, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**

AUTOR: Frías Córdova Christian Fabián

TUTOR: Ing. Mg. Cevallos Cabrera Jorge Washington

Ambato- Ecuador

Junio - 2022

CERTIFICACIÓN

En mi calidad de Tutor del Trabajo Experimental, previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, con el tema: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL MUELLE MARÍTIMO UBICADO EN LA BASE NAVAL SUR GUAYAS, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, elaborado por el **Sr. Frías Córdova Christian Fabián**, portador de la cédula de ciudadanía: C.I 1805383674, estudiante de la Carrera de Ingeniería Civil, de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Trabajo Experimental es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad.

Ambato, Junio 2022

Ing. Mg. Cevallos Cabrera Jorge Washington

TUTOR

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Yo. **Frías Córdova Christian Fabián** con C.I: 1805383674, declaro que todas las actividades y contenido expuesto en el presente trabajo experimental con el tema: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL MUELLE MARÍTIMO UBICADO EN LA BASE NAVAL SUR GUAYAS, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, Junio 2022

Frías Córdova Christian Fabián

C.I: 1805383674

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Trabajo Experimental o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Trabajo Experimental con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, Junio 2022

Frías Córdova Christian Fabián

C.I: 1805383674

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros de Tribunal de Grado aprueban el informe del Trabajo Experimental, realizado por el estudiante Frías Córdova Christian Fabián de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema: **“EVALUACIÓN ESTRUCTURAL ESTÁTICA Y DINÁMICA DEL MUELLE MARÍTIMO UBICADO EN LA BASE NAVAL SUR GUAYAS, EN LA CIUDAD DE GUAYAQUIL”**

Ambato, Junio 2022

Para constancia firman:

Ing. Msc. Navarro Peñaherrera Carlos Patricio

Miembro Calificador

Ing. Msc. Ramírez Cabrera Wladimir José

Miembro Calificador

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico principalmente a Dios por ser mi fuente de inspiración día tras día, por darme la sabiduría necesaria para poder afrontar cada uno de los retos presentados durante todo este proceso hasta cumplir mi tan anhelado sueño.

A mis padres, a mi abuelita y a mi hermanita los cuales siempre me acompañaron en los momentos más alegres y los más tristes en el transcurso de estos años, son quienes día a día con su inmenso amor, cariño y sacrificio me dieron el impulso necesario para lograr mi más anhelada meta, aquellos que me alentaban día tras día, siendo mi más grande consuelo y mi pilar fundamental en los momentos difíciles, siempre confiaron en mí y nunca me abandonaron a pesar de las circunstancias.

A mis amigos Kevin, Robert, Gaby, Cynthia, Emilio, Dany, Ricardo, Erika, Tañita, Mabel, Melissa, Cesar, Luigui, Christopher, Juan y muchos más con los cuales compartí innumerables experiencias y aprendí el verdadero significado de la amistad, quienes me brindaron su apoyo cuando más lo necesité.

A mi mejor amiga Ximena quien nunca me dejó solo a pesar de las adversidades, quien me alentó día tras día a cumplir mis metas y siempre confió en mí. Gracias por sus consejos, su cariño y su amistad los cuales fueron de gran ayuda para alcanzar cada una de mis metas.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Técnica de Ambato y a la Facultad de Ingeniería Civil que me abrieron sus puertas para poder formarme como un profesional.

A mis maestros quienes con paciencia y dedicación supieron transmitir todo su conocimiento a lo largo de la carrera universitaria.

Al Ing. M. Sc. Jorge Cevallos, por las oportunidades brindadas, los conocimientos impartidos para poder desarrollarme eficazmente en el campo laboral, y al tiempo y paciencia brindada para poder culminar este trabajo de titulación.

A todas las personas quienes directa o indirectamente ayudaron a culminar este proceso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	ii
AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN	iii
DERECHOS DE AUTOR	iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
ÍNDICE DE CONTENIDOS	viii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xix
RESUMEN.....	xxvi
ABSTRACT.....	xxvii
1. CAPÍTULO I: TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL	1
1.1. Tema	1
1.2. Antecedentes investigativos.....	1
1.2.1. Antecedentes	1
1.3. Ubicación	2
1.4. Justificación	3
1.5. Alcance	4
1.6. Objetivos.....	6
1.6.1. Objetivo general.....	6
1.6.2. Objetivos específicos	6

2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Definición de obras de atraque y amarre	7
2.2. Clasificación general de obras de atraque.....	7
2.3. Clasificación de las obras de atraque y amarre por su funcionalidad	8
2.4. Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes.....	11
2.5. Características y tipos de embarcaciones.....	15
2.6. Definición de muelles	25
2.7. Ensayo esclerométrico	25
2.8. Interacción suelo pilote	26
2.9. Cargas actuantes en el muelle de servicio.....	30
2.9.1. Carga o peso muerto (D).....	30
2.9.2. Sobrecarga (SC)	30
2.9.3. Carga viva (CL).....	31
2.9.4. Fuerza de viento (Fv)	31
2.9.5. Energía de cinética (Ef).....	34
2.9.6. Fuerza de impacto accidental (Fi)	40
2.9.7. Cargas producidas por las olas (W)	41
2.9.8. Definición del espectro de diseño NEC-15.....	44
2.9.9. Inercias agrietadas	52
2.9.10. Cortante Basal	52
2.9.11. Combinaciones de carga	52
2.10. Evaluación estructural.....	54
2.10.1. Métodos de análisis y evaluación estructural.....	54

2.10.2. Modelo de Mander para el hormigón.....	55
2.10.3. Modelo de Park - Paulay para el acero de refuerzo	56
2.10.4. Modelo de Takeda.....	57
2.10.5. Rótulas plásticas.....	57
2.10.6. Análisis Pushover.....	58
2.10.7. Métodos no lineales de evaluación	59
2.10.8. Desempeño estructural para muelles.....	64
2.11. Hipótesis	67
3. CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	68
3.1. MATERIALES Y EQUIPOS.....	68
3.1.1. Materiales	68
3.1.2. Equipos.....	68
3.2. RECOLECCIÓN DE DATOS	69
3.2.1. Planos del muelle	69
3.2.2. Resistencia a compresión del hormigón	72
3.2.3. Acero de refuerzo.....	80
3.2.4. Tipo de Suelo	83
3.2.5. Perfil del suelo	84
3.2.6. Datos del buque.....	86
3.2.7. Función del muelle.....	87
3.2.8. Condiciones de los elementos estructurales del muelle de servicio	87
3.2.9. Cálculo de cargas actuantes sobre el muelle.....	105
3.2.9.1. Carga viva	105
3.2.9.2. Carga por oleaje	105

3.2.9.4.	Carga por impacto	108
3.2.9.5.	Carga por viento	108
3.2.9.6.	Espectro elástico de aceleraciones	109
3.2.10.	Cálculo del peso del muelle	111
3.3.	ANÁLISIS ESPECTRAL	111
3.3.1.	Definición de materiales	111
3.3.1.1.	Acero	111
3.3.1.2.	Hormigón	112
3.3.2.	Geometría de los elementos estructurales	113
3.3.2.1.	Viga T invertida	113
3.3.2.2.	Viga doble T	114
3.3.2.3.	Pilotes	115
3.3.2.4.	Cabezal	115
3.3.2.5.	Losa	116
3.3.3.	Definición del espectro sísmico	116
3.3.4.	Definición de patrones de carga	117
3.3.4.1.	Definición del sismo estático en x	117
3.3.4.2.	Definición del sismo estático en y	118
3.3.5.	Definición de los casos de carga	118
3.3.5.1.	Definición de la carga modal espectral en x	119
3.3.5.2.	Definición de la carga modal espectral en y	119
3.3.6.	Definición de las combinaciones de carga	120
3.3.7.	Definición de la masa sísmica participativa	121
3.3.8.	Definición de las grillas	122

3.3.9. Asignación de los elementos estructurales al programa	122
3.3.10. Empotramiento de la estructura	123
3.3.11. Asignación de cargas actuantes a la estructura del muelle	123
3.3.11.1. Sobrecarga	123
3.3.11.2. Carga viva	124
3.3.11.3. Carga por oleaje	124
3.3.11.5. Fuerza de impacto	126
3.3.12. Brazos rígidos y diafragmas	127
3.4. ANÁLISIS NO LINEAL PUSH OVER	128
3.4.1. Definición de las grillas	128
3.4.2. Parámetros no lineales de los materiales	129
3.4.2.1. Parámetros no lineales del concreto $f'c$ 145 Kg/cm ²	129
3.4.2.2. Parámetros no lineales del concreto $f'c$ 425 Kg/cm ²	129
3.4.2.3. Parámetros no lineales del acero	130
3.4.3. Acero de refuerzo en elementos estructurales	130
3.4.3.1. Acero de refuerzo en pilotes.....	130
3.4.3.2. Acero de refuerzo en viga T invertida.....	131
3.4.4. Espectro elástico	132
3.4.5. Definición de carga monotónica (PUSH)	132
3.4.6. Definición de carga gravitacional no lineal (CGNL).....	133
3.4.7. Definición de caso de carga no lineal (PUSH)	133
3.4.8. Definición de la masa participativa.....	134
3.4.9. Cálculo de cargas lineales	135
3.4.10. Asignación de cargas al pórtico	141

3.4.10.1.	Carga muerta	141
3.4.10.2.	Sobrecarga	141
3.4.10.3.	Carga viva	142
3.4.10.4.	Carga producida por las olas	143
3.4.11.	Asignación de rótulas plásticas	143
3.4.11.1.	Rótulas plásticas en cabezal	143
3.4.11.2.	Rótulas plásticas en pilotes	144
4.	CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	146
4.1.	Resultados de la inspección visual para verificar el estado del muelle.....	146
4.2.	Resultados del análisis modal espectral	147
4.2.1.	Masa participativa de la estructura	147
4.2.2.	Periodo fundamental dinámico método 1 NEC-SE-DS.....	147
4.2.3.	Análisis de derivas de pórticos	150
4.2.4.	Chequeo del cortante basal estático y dinámico	156
4.3.	Resultados del análisis no lineal PUSHOVER	159
4.3.1.	Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje A	159
4.3.2.	Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje A	160
4.3.3.	Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico A	161
4.3.4.	Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje B.....	162
4.3.5.	Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico B.....	163
4.3.6.	Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje B	163
4.3.7.	Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje D	165

4.3.8. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje D	166
4.3.9. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico D	167
4.3.10. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje E	168
4.3.11. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje E	169
4.3.12. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico E..	170
4.3.13. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje F	171
4.3.14. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje F	172
4.3.15. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico F ..	173
4.4. Verificación de hipótesis	174
5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	175
5.1. Conclusiones	175
5.2. Recomendaciones.....	176
Bibliografía	178

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas Geográficas UTM.....	3
Tabla 2. Normativas para el análisis del muelle.....	5
Tabla 3. Clasificación general de obras de atraque	7
Tabla 4. Ejemplos de muelles por su funcionalidad.....	9

Tabla 5. Clasificación en función de la tipología.....	11
Tabla 6. Factor de corrección σ	32
Tabla 7. Cálculo del coeficiente entorno/altura	33
Tabla 8. Coeficiente de forma	34
Tabla 9. Valores de Velocidad y Desplazamiento	37
Tabla 10. Valores del factor de seguridad.....	40
Tabla 11. Coeficiente de forma	43
Tabla 12. Factor de zona sísmica en función de la ubicación	44
Tabla 13. Factor de zona sísmica	44
Tabla 14. Factor amplificación del suelo F_a	45
Fuente: NEC-SE-DS [20].....	45
Tabla 15. Factor amplificación F_d	45
Fuente: NEC-SE-DS [20].....	45
Tabla 16. Factor amplificación F_d	46
Fuente: NEC-SE-DS [20].....	46
Tabla 17. Factores para determinar el periodo de vibración	47
Tabla 18. Coeficientes de respuesta estructural propuestos por la NEC-SE-DS	48
Tabla 19. Coeficientes de respuesta estructural propuestos por la NCh2369	49
Tabla 20. Coeficientes de importancia estructural	50
Tabla 21. Combinaciones de carga LRFD	53
Tabla 22. Combinaciones de carga para el proyecto.....	53
Tabla 23. Niveles de daño aceptables	65
Tabla 24. Grado de desempeño de un muelle	66
Tabla 25. Niveles de desempeño VISIÓN 2000	67

Tabla 26. Especificaciones del computador	68
Tabla 27. Especificaciones de la cámara fotográfica	68
Tabla 28. Especificaciones del dron.....	68
Tabla 29. Especificaciones del esclerómetro	69
Tabla 30. Ensayo esclerométrico losas	73
Tabla 31. Ensayo esclerométrico cabezal Eje A	74
Tabla 32. Ensayo esclerométrico cabezal Eje B	75
Tabla 33. Ensayo esclerométrico cabezal Eje E.....	76
Tabla 34. Ensayo esclerométrico vigas doble T.....	77
Tabla 35. Resumen de resistencias de elementos estructurales	79
Tabla 36. Fórmulas de para obtener la velocidad de onda de corte	84
Tabla 37. Caracterización del tipo de suelo NEC_SE_DS	84
Tabla 38. Datos de la embarcación	86
Tabla 39. Estado de los pilotes ubicados en el eje A	87
Tabla 40. Estado de los pilotes ubicados en el eje D	94
Tabla 41. Estado de los pilotes ubicados en el eje D	94
Tabla 42. Estado de los pilotes ubicados en el eje D	95
Tabla 43. Estado de los pilotes ubicados en el eje E.....	95
Tabla 44. Estado de los pilotes ubicados en el eje E.....	96
Tabla 45. Estado de los pilotes ubicados en el eje E.....	96
Tabla 46. Estado de los pilotes ubicados en el eje E.....	97
Tabla 47. Estado de los pilotes ubicados en el eje F.....	97
Tabla 48. Estado de los pilotes ubicados en el eje F.....	98
Tabla 49. Estado de los pilotes ubicados en el eje F.....	98

Tabla 50. Estado de los pilotes ubicados en el eje F	99
Tabla 51. Estado de los pilotes ubicados en el eje F	99
Tabla 52. Viga T invertida Eje A	100
Tabla 53. Viga T invertida Eje B	100
Tabla 54. Viga T invertida Eje B	101
Tabla 55. Viga T invertida Eje D	101
Tabla 56. Viga T invertida Eje D	102
Tabla 57. Viga T invertida Eje E	102
Tabla 58. Viga T invertida Eje F.....	103
Tabla 59. Tramo A-B viga doble T	103
Tabla 60. Tramo D-E viga doble T	104
Tabla 61. Tramo E-F viga doble T.....	104
Tabla 62. Tramo E-F viga doble T	105
Tabla 63. Cálculo de carga por oleaje	106
Tabla 64. Cálculo del coeficiente de excentricidad.....	106
Tabla 65. Cálculo del coeficiente de masa.....	107
Tabla 66. Cálculo de la fuerza de atraque	107
Tabla 67. Cálculo de fuerza impacto accidental	108
Tabla 68. Cálculo de fuerza de viento.....	109
Tabla 69. Cálculo del espectro de aceleraciones.....	109
Tabla 70. Tabla de valores del espectro de aceleraciones.....	110
Tabla 71. Cálculo del peso del muelle	111
Tabla 72. Cálculo de cargas lineales para el pórtico A	135
Tabla 73. Cálculo de cargas lineales para el pórtico B	136

Tabla 74. Cálculo de cargas lineales para el pórtico C	137
Tabla 75. Cálculo de cargas lineales para el pórtico D	138
Tabla 76. Cálculo de cargas lineales para el pórtico E.....	139
Tabla 77. Cálculo de cargas lineales para el pórtico F.....	140
Tabla 78. Verificación de la participación de masa	147
Tabla 79. Periodo fundamental pórtico Eje A (Método 1).....	147
Tabla 80. Periodo fundamental pórtico Eje B (Método 1).....	148
Tabla 81. Periodo fundamental pórtico Eje C (Método 1).....	148
Tabla 82. Periodo fundamental pórtico Eje D (Método 1).....	148
Tabla 83. Periodo fundamental pórtico Eje E (Método 1)	149
Tabla 84. Periodo fundamental pórtico Eje F (Método 1)	149
Tabla 85. Periodo fundamental Método 1 y periodo fundamental máximo permitido	150
Tabla 86. Derivas inelásticas Pórtico Eje A.....	150
Tabla 87. Derivas inelásticas Pórtico Eje B	151
Tabla 88. Derivas inelásticas Pórtico Eje C	152
Tabla 89. Derivas inelásticas Pórtico Eje D.....	152
Tabla 90. Derivas inelásticas Pórtico Eje E	153
Tabla 91. Derivas inelásticas Pórtico Eje F.....	154
Tabla 92. Cuadro resumen de derivas inelásticas	154
Tabla 93. Cuadro resumen de derivas inelásticas	155
Tabla 94. Cuadro resumen de derivas inelásticas	155
Tabla 95. Cuadro resumen de derivas inelásticas	156
Tabla 96. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico A	159

Tabla 97. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje A	160
Tabla 98. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico B	162
Tabla 99. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje B	164
Tabla 100. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico D ..	165
Tabla 101. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje D	166
Tabla 102. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico E...	168
Tabla 103. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje E.....	169
Tabla 104. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico F...	171
Tabla 105. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje F.....	172

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del proyecto vista satelital	2
Figura 2. Polígono de la ubicación del proyecto.....	2
Figura 3. Muelle de pilotes	14
Figura 4. Barcos de recreo	16
Figura 5. Barco de competición	16
Figura 6. Moto náutica.....	17
Figura 7. Embarcación de vela.....	17
Figura 8. Catamarán.....	18
Figura 9. Lancha propulsada a motor.....	19
Figura 10. Yate.....	20
Figura 11. Transatlántico “RMS Queen Mary 2”	20

Figura 12. Crucero “Symphony of the Seas”	21
Figura 13. Transbordador tipo lanchón.....	22
Figura 14. Balsas tipo salvavidas en cruceros	22
Figura 15. Barco mercantil “Halla”	23
Figura 16. Buque petrolero	23
Figura 17. Buque granelero “YEOMAN BURN”	24
Figura 18. Buque portacontenedores	25
Figura 19. Muelle de pilotes con resortes de Winkler	28
Figura 20. Modelo matemático del muelle de pilotes analizado con resortes de Winkler.....	28
Figura 21. Muelle de pilotes con empotramiento	29
Figura 22. Modelo matemático del muelle de pilotes analizado con empotramiento	29
Figura 23. Cargas que actúan sobre un muelle	30
Figura 24. Velocidad (m/s) y Desplazamiento DWT	38
Figura 25. Tipo de estructura en estudio.....	49
Figura 26. Tipo de estructura en estudio.....	50
Figura 27. Diagrama esfuerzo-deformación para hormigón no confinado y confinado.	56
Figura 28. Diagrama esfuerzo-deformación para el acero.....	56
Figura 29. Modelo histerético de Takeda.....	57
Figura 30. Rótulas plásticas en columnas y vigas.....	58
Figura 31. Secuencia análisis PUSH OVER.....	58
Figura 32. Parámetros del método de coeficientes	60

Figura 33. Parámetros del Método A de Linearización Equivalente	62
Figura 34. Parámetros del Método B de Linearización Equivalente	63
Figura 35. Parámetros del Método C de Linearización Equivalente	64
Figura 36. Vista lateral del muelle	69
Figura 37. Dimensiones viga T invertida y vigas doble T	70
Figura 38. Elevación pórtico tipo.....	70
Figura 39. Planta Dolphin	71
Figura 40. Isometría tramo inicial del muelle	71
Figura 41. Isometría del muelle antes y después de la colisión	72
Figura 42. Viga T invertida.....	80
Figura 43. Armado Viga Cabezal	81
Figura 44. Viga Doble T	81
Figura 45. Viga Doble T	82
Figura 46. Armado de Pilotes	82
Figura 47. Perfil estratigráfico del suelo.....	83
Figura 48. Batimetría del área donde se emplaza el muelle N°11	85
Figura 49. Perfil transversal donde se emplaza el muelle.....	86
Figura 50. Espectro de aceleraciones	110
Figura 51. Definición de las propiedades del acero.....	111
Figura 52. Hormigón $f'c= 375 \text{ Kg/cm}^2$	112
Figura 53. Parámetros viga T invertida.....	113
Figura 54. Viga T invertida en “Section Designer”	113
Figura 55. Parámetros viga doble T	114
Figura 56. Viga cabezal en “Section Designer”	114

Figura 57. Parámetros pilotes Eje A	115
Figura 58. Parámetros cabezal	115
Figura 59. Parámetros losa.....	116
Figura 60. Definición del espectro NEC-15.....	116
Figura 61. Definición de patrones de carga	117
Figura 62. Definición sismo estático x.....	117
Figura 63. Definición sismo estático y.....	118
Figura 64. Definición de casos de carga	118
Figura 65. Definición carga modal x	119
Figura 66. Definición carga modal y	119
Figura 67. Definición de combinaciones de carga.....	120
Figura 68. Definición de combinación de carga espectral x.....	120
Figura 69. Definición de combinación de carga espectral y.....	121
Figura 70. Definición de la masa participativa	121
Figura 71. Definición de las grillas.....	122
Figura 72. Asignación de elementos estructurales.....	122
Figura 73. Empotramiento del muelle.....	123
Figura 74. Asignación de la sobrecarga	124
Figura 75. Asignación de la carga viva.....	124
Figura 76. Asignación de la carga por oleaje.....	125
Figura 77. Asignación de la carga por atraque.....	125
Figura 78. Asignación de la fuerza de impacto.....	126
Figura 79. Momento del impacto de la embarcación.....	126
Figura 80. Asignación de brazos rígidos.....	127

Figura 81. Definición de las grillas	128
Figura 82. Parámetros no lineales concreto $f'c= 145 \text{ Kg/cm}^2$	129
Figura 83. Parámetros no lineales concreto $f'c= 425 \text{ Kg/cm}^2$	129
Figura 84. Parámetros no lineales del acero	130
Figura 85. Aceros en pilotes	131
Figura 86. Aceros en viga T invertida.....	131
Figura 87. Espectro elástico	132
Figura 88. Definición de carga PUSH	133
Figura 89. Definición de CGNL	133
Figura 90. Definición de la carga no lineal PUSH y el desplazamiento objetivo...	134
Figura 91. Masa participativa.....	134
Figura 92. Área cooperante para el pórtico eje A	135
Figura 93. Área cooperante para el pórtico eje B	136
Figura 94. Área cooperante para el pórtico eje C	137
Figura 95. Área cooperante para el pórtico eje D	138
Figura 96. Área cooperante para el pórtico eje E.....	139
Figura 97. Área cooperante para el pórtico eje F.....	140
Figura 98. Carga muerta.....	141
Figura 99. Sobrecarga	142
Figura 100. Carga Viva.....	142
Figura 101. Carga por olas.....	143
Figura 102. Rotulas plásticas en cabezal	143
Figura 103. Rotulas plásticas en pilotes.....	144
Figura 104. Vista de rótulas plásticas en vigas y pilotes	144

Figura 105. Parámetros de análisis no lineal	145
Figura 106. Periodo modal de la estructura (Método 2)	149
Figura 107. Desplazamiento del pórtico A en el Sentido Y	150
Figura 108. Desplazamiento del pórtico B en el Sentido Y	151
Figura 109. Desplazamiento del pórtico C en el Sentido Y	151
Figura 110. Desplazamiento del pórtico D en el Sentido Y	152
Figura 111. Desplazamiento del pórtico E en el Sentido Y	153
Figura 112. Desplazamiento del pórtico F en el Sentido Y	153
Figura 113. Desplazamiento del pórtico A en el Sentido Y	156
Figura 114. Desplazamiento del pórtico B en el Sentido Y	157
Figura 115. Desplazamiento del pórtico D en el Sentido Y	157
Figura 116. Desplazamiento del pórtico E en el Sentido Y	158
Figura 117. Desplazamiento del pórtico F en el Sentido Y	158
Figura 118. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico A	161
Figura 119. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico A	161
Figura 120. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico B	163
Figura 121. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico D	167
Figura 122. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico D	167
Figura 123. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico	

E	170
Figura 124. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico E.....	170
Figura 125. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico F	173
Figura 126. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico F	173

RESUMEN

El presente trabajo de titulación consta de un tipo de evaluación cuantitativa para de esta forma conocer el comportamiento que posee el muelle de servicio luego del impacto recibido por parte del navío M.H. HUALCOPO.

Una vez recopilada la información de campo se encontró que el muelle tenía varios daños siendo los más peligrosas las grietas y fisuras presentadas en la unión viga T invertida y los pilotes que la soporta, de la misma forma se encontró que existe desprendimiento del recubrimiento en varias zonas del muelle y gran cantidad de óxido presente en los sitios dónde se encuentra expuesto el acero de refuerzo.

Una vez realizada la inspección visual se realizó el ensayo esclerométrico donde se pudo verificar que la resistencia de los pilotes disminuyó considerablemente en comparación a la resistencia obtenida mediante los estudios realizados por la entidad naval tiempo atrás.

Ya recopilada toda la información de campo, así como también obtenidos los planos estructurales y arquitectónicos se realizó el modelo numérico del muelle para realizar los análisis estáticos, dinámicos y push over correspondientes, aquí se verificó el pésimo comportamiento de la estructura ante sollicitaciones sísmicas generando principalmente periodos y derivas excesivas.

Ya con los estudios realizados se encontró que el muelle de servicio tiene un pésimo comportamiento ante sollicitaciones dinámicas y un reforzamiento resultaría en un gasto excesivamente alto debido al nivel de desempeño que presenta, la mala configuración estructural para el sitio donde está emplazado y al avanzado grado de deterioro que éste posee.

Palabras clave: Análisis dinámico, análisis estático, muelle de servicio

ABSTRACT

The present qualification work consists of a quantitative evaluation in order to know the behavior of the service pier after the impact received by the vessel M.H. HUALCOPO.

Once the field information was collected, it was found that the pier had several damages, being the most dangerous the cracks and fissures in the inverted T-beam and the piles that support it, in the same way it was found that there is detachment of the coating in several areas of the pier and a great amount of rust present in the places where the reinforcing steel is exposed.

Once the visual inspection was carried out, a sclerometric test was performed, where it was verified that the resistance of the piles decreased considerably in comparison to the resistance obtained through the studies carried out by the naval entity some time ago.

Once all the field information had been compiled, as well as the structural and architectural drawings, the numerical model of the pier was made to perform the corresponding static and dynamic analyses, where it was verified that the structure behaved very badly under seismic stresses, mainly generating excessive periods and drifts.

Subsequently, a Pushover analysis of each of the pier's frames was performed based on the displacements produced at the moment of impact by the ship, finding that the performance of the aforementioned frames is higher than the collapse prevention performance, which is consistent with the visual inspection of each of them.

The studies carried out showed that the service pier has a very poor performance under dynamic stresses and a reinforcement would result in an excessively high cost due to the level of performance it presents, the poor structural configuration for the site where it is located and the advanced degree of deterioration it ha

1. CAPÍTULO I: TEMA DEL TRABAJO EXPERIMENTAL

1.1. Tema

“Evaluación Estructural Estática y Dinámica del Muelle Marítimo Ubicado en la Base Naval Sur Guayas, en la Ciudad de Guayaquil”.

1.2. Antecedentes investigativos

1.2.1. Antecedentes

El día 16 de junio del 2019, el buque M.N. HUALCOPO incautado con pesca ilegal en el año 2017 en las islas Galápagos sufrió un accidente durante las maniobras realizadas para su atraque donde colisionó con el MUELLE DE SERVICIO propiedad de la empresa pública ASTINAVE EP, ubicada en la Base Naval Sur de la Ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. La colisión no ocasionó pérdida de vidas humanas, ni heridos y en base a un estudio realizado por la Armada del Ecuador no se produjo contaminación del medio ambiente marino. Según informó la Entidad Naval, el navío sufrió pérdida de control por falla humana, dejando al muelle fuera de servicio por un largo tiempo y con daños considerables en su estructura [1][2].

Tomando como referencia lo antes mencionado se realizó una inspección de los daños presentes en la estructura del muelle de servicio el día 17 de septiembre del 2021, donde se observó graves daños ocasionados en los elementos estructurales que componen el muelle tales como:

- Destrucción total de la losa en el segundo y tercer tramo del muelle.
- Destrucción total de las vigas doble T que conforman la losa del segundo y tercer tramo.
- Destrucción total de la viga T invertida del tercer pórtico del muelle (Eje C).
- Destrucción total de los tres pilotes que sostienen la tercera viga T invertida.

De igual manera, el impacto pudo haber ocasionado un posible daño y desgaste en los elementos estructurales que se encuentran cercanos a los tramos que fueron impactados, es decir, losas, nervios, vigas y pilotes.

1.3. Ubicación

El muelle se encuentra dentro de la Base Naval Sur Guayas misma que se encuentra en la Parroquia Ximena, sector de la antigua hacienda El Huasmo, Provincia del Guayas. En la Figura 1 se aprecia la vista satelital del lugar donde se realizarán los estudios para determinar el comportamiento estructural del muelle.

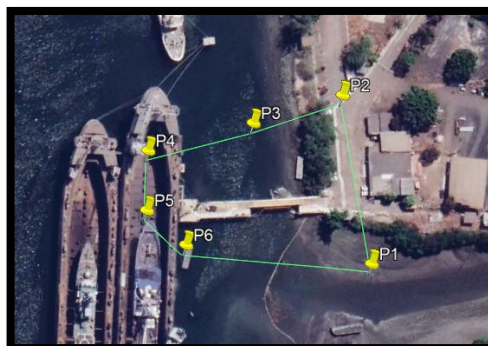
Figura 1. Ubicación del proyecto vista satelital



Fuente: Google Maps [3]

Para identificar de manera precisa la ubicación del proyecto, se muestra la Figura 2 en la cual se estableció un polígono con puntos que delimitan la ubicación del muelle afectado por la colisión del buque MN HUALCOPO.

Figura 2. Polígono de la ubicación del proyecto



Fuente: Google Maps [3]

En la Tabla 1 se visualizan las coordenadas UTM de los puntos del polígono trazado en la figura anterior.

Tabla 1. Coordenadas Geográficas UTM

Puntos	Este	Norte
P1	621033	9749434
P2	621041	9749511
P3	620998	9749510
P4	620948	9749511
P5	620940	9749485
P6	620953	9749465

Fuente: Frías Córdova Christian

1.4. Justificación

El presente trabajo de investigación se realiza con la finalidad de saber cuál es el comportamiento estructural que posee lo que quedó del muelle luego del fuerte impacto que sufrió por parte del navío M.N. HUALCOPO durante las maniobras realizadas para su atraque, así mismo, el muelle data su construcción a principios de 1970, momento en el cual los criterios de análisis sísmico eran casi nulos dando como resultado estructuras con un mal comportamiento ante sollicitaciones dinámicas fuertes.

El proyecto se dirige a la necesidad que presentan los usuarios del muelle debido a que es usado todo el tiempo como un paso de servicio que ayuda al transporte de material desde tierra al lugar dónde se encuentra atracada la embarcación, de la misma forma este paso permite el constante mantenimiento de las embarcaciones que hacen uso de este. En consecuencia, es importante determinar el estado en el que se encuentra el muelle, ya que al desconocer las condiciones que el mismo posee se pone en constante peligro la seguridad de sus usuarios pudiendo ocasionar pérdidas materiales y en el peor de los casos pérdidas humanas.

Se analizará mediante herramientas tecnológicas de diseño y análisis estructural el estado en que se encuentran cada uno de los elementos estructurales que componen el muelle y su respuesta ante sollicitaciones estáticas y dinámicas, así como también

determinar numéricamente si es viable o no una reparación del muelle.

1.5. Alcance

Este proyecto experimental se basará en una investigación teórica y práctica en base a una gran cantidad de recursos bibliográficos relacionados con el análisis y diseño estructural de muelles, asimismo se correlacionará esta información bibliográfica con visitas de campo y con distintos tipos de normas existentes para el caso, toda esta información servirá para desarrollar un modelo computacional que permita encontrar los resultados de una forma precisa.

Para dar inicio a este proyecto experimental se realizará una visita de campo a la ciudad de Guayaquil, específicamente a la Base Naval Sur donde ocurrió el percance con el muelle de servicio, en el lugar se realizará una inspección visual minuciosa con su respectivo registro fotográfico con ayuda de un dron para poder fotografiar los lugares de difícil acceso, gracias a esto se determinará los diferentes daños estructurales que produjo la colisión del navío con el muelle, así como también se determinará el estado de deterioro en que se encuentran cada uno de los elementos que conforman el mismo.

De la misma forma en el lugar se realizarán ensayos esclerométricos que permitirán estimar la resistencia de cada uno de los elementos estructurales del con el fin de comparar las resistencias iniciales que poseía la infraestructura con las resistencias actuales y llegar a conclusiones valiosas acerca del estado actual del muelle, así mismo, estos datos son importantes para generar el modelo matemático del muelle. Una vez realizada la inspección de campo y obtenidos los valores de los ensayos realizados se procederá a la recopilación de información del proyecto tal como planos arquitectónicos, planos estructurales, información de la embarcación que colisionó con el muelle y estudios previos que ayuden a tener toda la información para realizar un modelo matemático que se asemeje a la realidad.

Posterior a esto se procederá a buscar información bibliográfica que sustente el análisis estructural de obras marítimas en este caso el análisis estructural de un muelle

sostenido por pilotes, de la misma forma se consultará parámetros de análisis y diseño en las diversas normas creadas para el caso las mismas que serán tanto nacionales como extranjeras. En la presente tabla se detallará cada uno de los nombres de las principales normativas que se usarán para el desarrollo de este proyecto.

Tabla 2. Normativas para el análisis del muelle

NEC-SE-DS	Peligro sísmico y requisitos de diseño sismo resistente
ACI-318-19	Norma ACI versión 2019
FEMA 440	Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures
ROM 2.0-11	Tipos y funciones de obras de arranque y amarre
MOP-VOL 2 DISEÑO-P2	Guía para el diseño- construcción-operación y conservación de obra marítimas y costeras
PINAC	Seismic design guidelines for port structures

Fuente: Frías Córdova Christian

Una vez obtenidos todos los datos y criterios necesarios se procederá a modelar el muelle en un software estructural mismo que en base a análisis estáticos y dinámicos nos permitirá determinar períodos, aceleraciones, derivas entre otras, lo que nos ayudará determinar si se cumplen o no los parámetros establecidos en las normas anteriormente mencionadas. De la misma forma en el programa se realizará un análisis Pushover el cual nos ayudará a evaluar la capacidad de la estructura para resistir las diferentes fuerzas y deformaciones que se puedan dar por un sismo en base a la curva de demanda y capacidad. De esta forma podremos obtener resultados sobre la capacidad que tiene el muelle ante diversas sollicitaciones de carga luego de haber sufrido la colisión del buque M.N. HUALCOPO permitiéndonos determinar si la estructura se puede reparar o en el peor de los casos se deba demoler.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo general

Realizar una evaluación estática y dinámica del muelle de servicio ubicado en la Base Naval Sur Guayas, en la ciudad de Guayaquil luego de sufrir una colisión por parte del navío M.N. HUALCOPO.

1.6.2. Objetivos específicos

- Describir las condiciones actuales en las que se encuentra el muelle de servicio.
- Analizar el comportamiento estructural del muelle de pilotes luego de sufrir la colisión con el navío M.N. HUALCOPO mediante un modelamiento en software estructural.
- Determinar diferencias estructurales del muelle antes y después del impacto del navío.

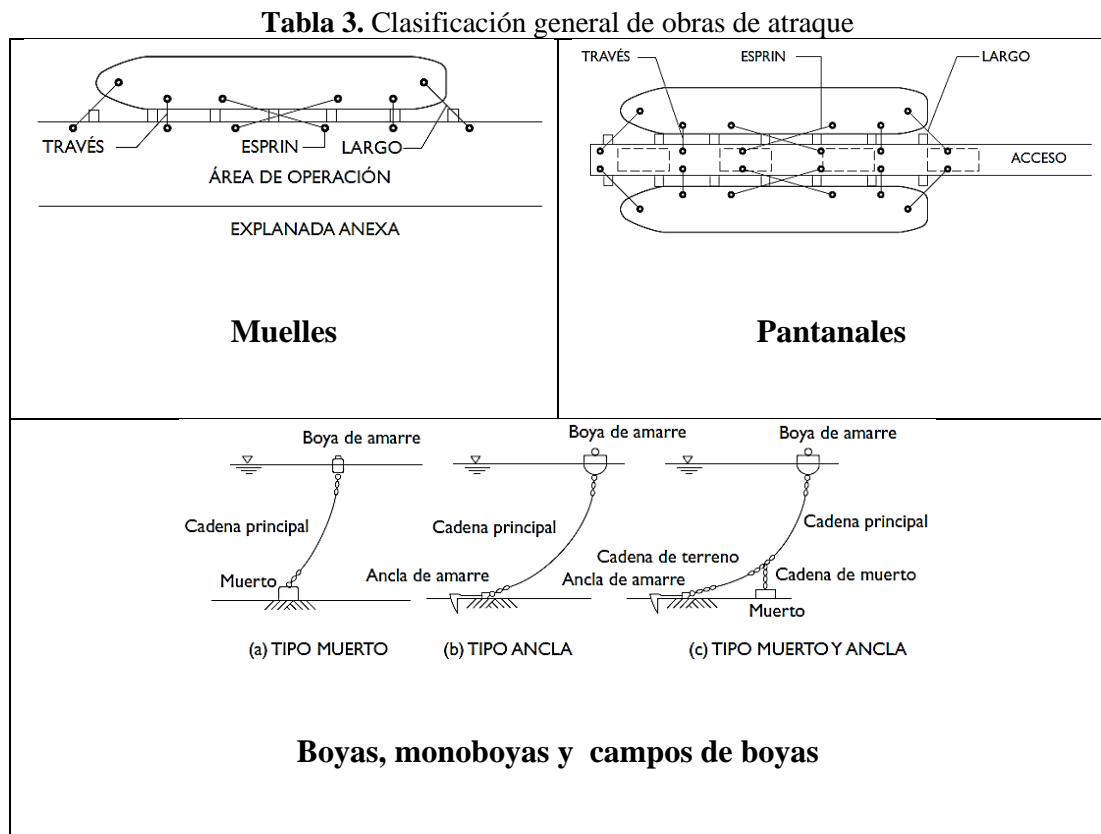
2. CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

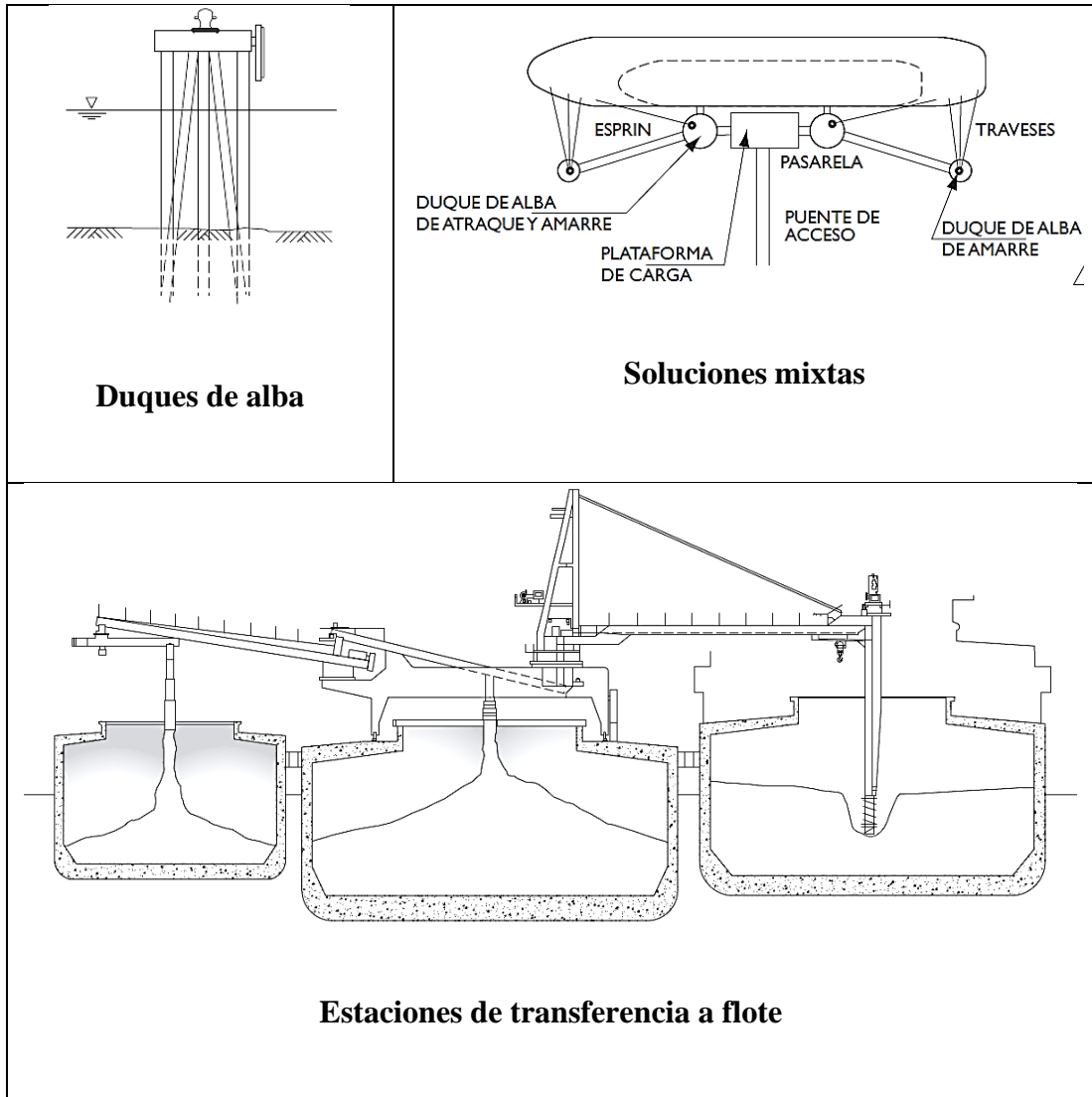
2.1. Definición de obras de atraque y amarre

Las obras de atraque y amarre son indispensables para dotar a las embarcaciones de condiciones óptimas y seguras para realizar sus actividades en el puerto como por ejemplo la carga y descarga de mercancía, pasajeros, vehículos, así como también el mantenimiento de los navíos mediante la transferencia de materiales entre tierra y las naves marítimas.

2.2. Clasificación general de obras de atraque

A las obras de atraque y amarre se las puede clasificar de la manera general tal cómo se describe en la Tabla 3 [4].





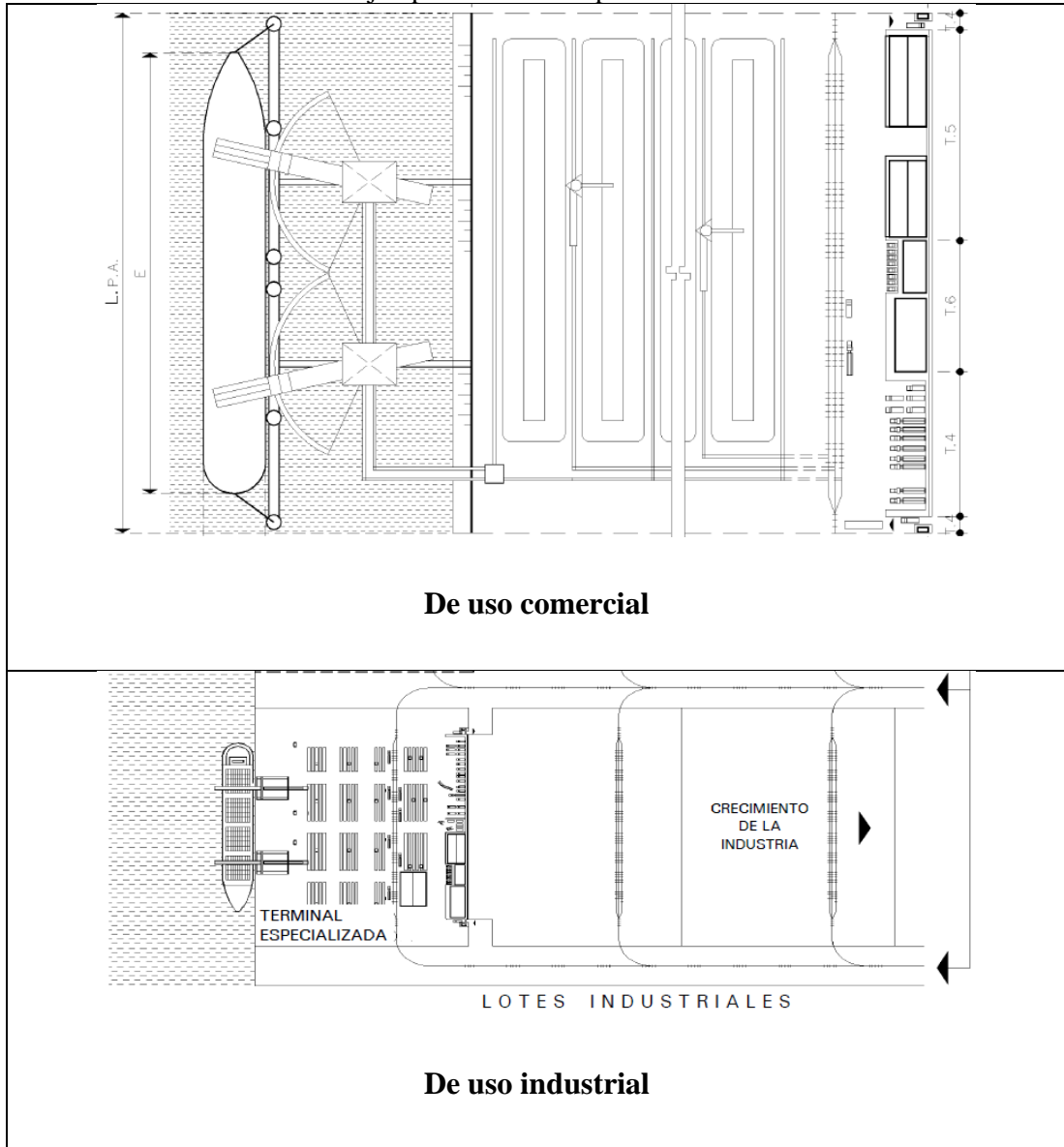
Fuente: ROM 2.0-11 [4]

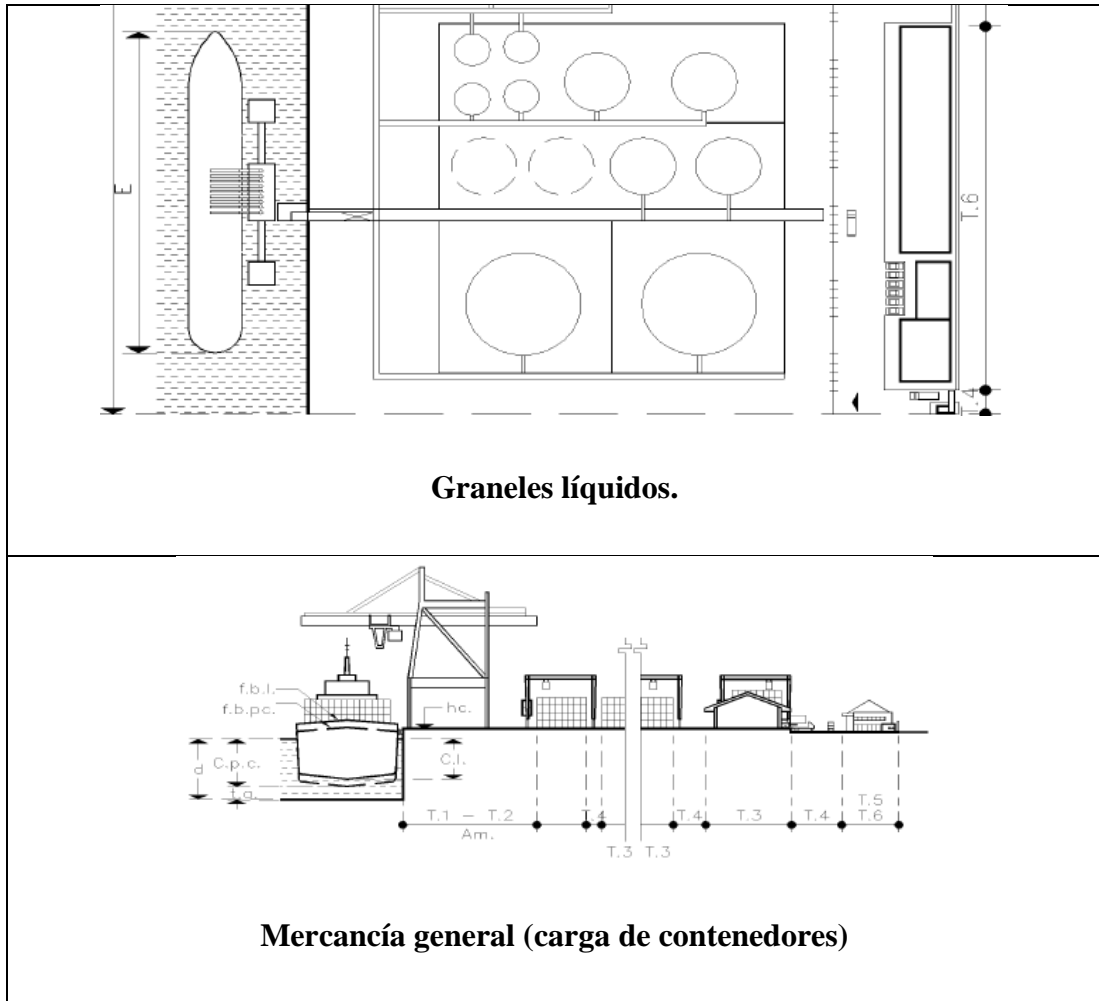
2.3. Clasificación de las obras de atraque y amarre por su funcionalidad

En base a la funcionalidad de los muelles, estos se pueden clasificar en función del tipo de mercancía o pasajeros que embarcan o manipulan, es así que se tienen los tipos descritos en la

Tabla 4 [5].

Tabla 4. Ejemplos de muelles por su funcionalidad





Fuente: Guía de Buenas Prácticas Para la Ejecución de Obras Marítimas [5]

Comercial: Son aquellos que se dedican a la venta de bienes y servicios los mismos que cuentan con toda la logística necesaria para realizar este tipo de actividades.

Pesqueros: Estos muelles están dedicados a acoger diversas embarcaciones pesqueras cuyo tamaño puede variar en función de la mercancía que éstas puedan acarrear.

Náutico-deportivo: están diseñados para acoger embarcaciones deportivas y recreativas como por ejemplo lanchas y yates los cuales son utilizados para uso netamente recreativo y/o turístico.

Industriales: Se dedican a la construcción, mantenimiento y reparación de buques u otro tipo de embarcaciones.

Militares: Son diseñados para una amplia gama de funciones de carga y descarga de pasajeros y vehículos militares, también deben tener características bélicas que puedan resistir los ataques de las fuerzas navales enemigas.

2.4. Clasificación de las obras de atraque y amarre en función de la tipología estructural de sus partes

Otra de las clasificaciones que se pueden dar a los muelles son las detalladas en la Tabla 5, la que se presenta a continuación:

Tabla 5. Clasificación en función de la tipología

Obras de gravedad	
De bloque	Este tipo de obras por lo general es de piedra o materiales prefabricados.
De hormigón sumergido	La operatividad de estas obras se da bajo el agua. Su grosor suele ser uniforme o ligeramente inclinado para facilitar en encofrado de la estructura.
De cajones	Este tipo de obras están fabricadas por cajones de hormigón prefabricado formando muros. Éstos se elevan a su posición para anclarlos y rellenarlos con áridos.
Otros tipos de obras de gravedad	Un muelle de gravedad es aquel que depende de su propio peso para soportar el suelo. Son los más duraderos debido a su pequeña superficie.
Obra de pantalla	
Sin plataforma	Este tipo de obras poseen anclajes en sus pantallas para aumentar la rigidez de las mismas, dichas

**Fijas
Cerradas**

	superior	pantallas pueden estar ubicadas de forma vertical o estar ligeramente inclinadas.
	Con plataforma superior	La estructura de este tipo de obra indica a las obras de pantalla con la única diferencia de que esta no posee una plataforma superior, en cambio esta tiene una plataforma de hormigón en la parte trasera la cual se apoya en varios pilotes verticales o inclinados.
	Obras de recintos de tablestacas	
	Este tipo de obras está formada por un conjunto de tablestacas los cuales pueden ser tanto de madera, como de metal, a lo cual se les denomina como recintos, tienen diversas configuraciones, tales como: circulares, de dos filas paralelas o con diafragmas.	
Fijas Abiertas	De pilotes	La superestructura que compone este tipo de obras está apoyada sobre pilotes que pueden ser construidos de diferentes tipos de materiales, estos pueden ser elaborados en el sitio o también pueden ser prefabricados.
	De pilas	La estructura de contención es diferente de la estructura de pilotes ya que esta consiste en un soporte de pilas, generalmente constituida como una estructura de gravedad.
	Otras	Otra forma de trabajo del montaje abierto es el de estructuras metálicas en el plano horizontal mediante la disposición de elementos de celosía apoyados desde abajo con pilotes hincados.

Flotantes	Boyas	Consisten en una estructura robusta, generalmente cilíndrica, de acero o fibra de vidrio, conectada a un sistema de anclaje compuesto por uno o más anclajes formados por elementos flexibles como cadenas, cuerdas, caucho, etc.
	Pontonas o pantalanés	Un muelle de pontones es un proyecto de atraque y amarre utilizado y desarrollado para una variedad de aplicaciones y desarrollos que involucran el atraque y amarre de embarcaciones deportivas o recreativas, barcos de pesca, plataformas auxiliares para carga y descarga.
	Cajones	Hoy en día se dispone de mucha experiencia en la realización de obras de atraque y amarre flotantes para cargas horizontales mediante el uso de cajones de acero u hormigón pretensado.
	Estaciones de transferencia	Son barcos u otros objetos flotantes, hechos de hormigón o acero, fijos en su lugar, que actúan como muelle, almacenando y recargando mercancías, generalmente en forma sólida y líquida.

Fuente: [8]

2.4.1. Muelles marítimos

Los usuarios frecuentes de los diferentes tipos de muelles existentes en nuestro país son empresas importadoras y exportadoras, diferentes tipos de líneas navieras, transportistas, organizaciones estatales y público en general. Debido al gran número de usos que se le puede dar a un muelle existen varias formas de clasificar al mismo en este estudio se tomará en cuenta la clasificación en función de la tipología estructural que éste pueda presentar clasificándose en [5]:

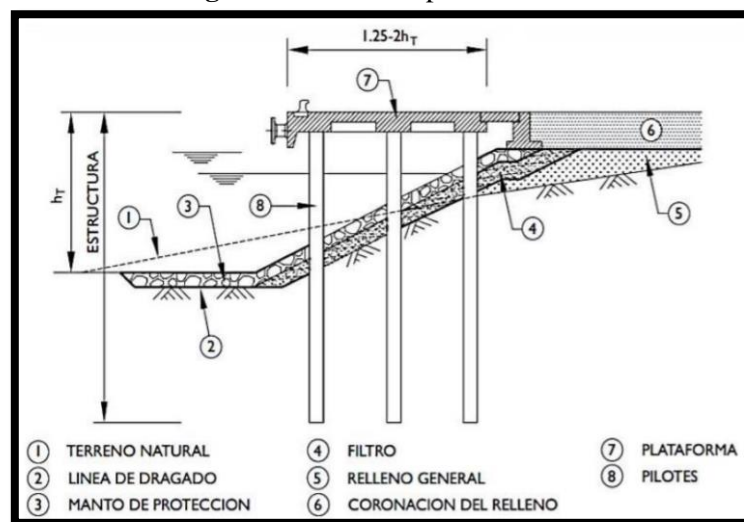
- Muelles de gravedad
- Muelles de pantalla
- Muelles de pilotes

Para el desarrollo del presente proyecto se analizará un muelle apoyado sobre pilotes por lo cual se brindará una visión general acerca de lo que consiste el mismo.

2.4.2. Muelles de Pilotes

Este tipo de estructuras están conformadas por una plataforma la cual se apoya sobre pilotes, se las construye cuando el suelo tiene una pobre capacidad portante, en zonas que tienen mucho calado y por lo tanto no es factible económicamente construir otro tipo de muelle como uno de pantalla o gravedad, así como también se las utiliza en zonas donde estructuras con menor masa tienen un mejor comportamiento sísmico. Los pilotes pueden ir ubicados de forma vertical o inclinada todo esto dependiendo del requerimiento estructural y por lo general el tablero está hecho de hormigón armado o también de piezas prefabricadas y por partes hormigonadas en sitio.

Figura 3. Muelle de pilotes



Fuente: ROM 2.0-11 [4]

Como se puede observar en la Figura 3 se puede ingresar al muelle a partir de una plataforma terrestre conformada por rellenos hasta acceder a una plataforma soportada por pilotes. Según la Guía de Buenas Prácticas para la Construcción de Obras Marítimas los pilotes se pueden dividir en: Pilotes prefabricados y Pilotes fabricados “in situ” [6].

La perforación que estos pilotes se debe realizar hasta alcanzar la mayor profundidad entre la que proporciona el empotramiento mínimo dado por el proyecto o la que permite alcanzar los estratos más duros previstos en los diferentes estudios de suelos realizados para el mismo.

2.5. Características y tipos de embarcaciones

Una embarcación es esencialmente un tipo de transporte acuático con fondo cóncavo y muchos otros elementos, entre ellos una cubierta que puede ser de diferentes materiales como: madera, metal, fibra de vidrio o cualquier otro elemento que le permita flotar en el agua. Esta es usada para diferentes actividades en ríos, mares o lagos.

El vocablo con el que se denomina “barco” es muy genérico y se utiliza para describir tanto a las pequeñas embarcaciones como a los grandes cruceros; ya que su clasificación está basada en función de las propiedades físicas especiales que posee y de acuerdo con la función prevista para la que fue proyectada la embarcación, y de esta forma pueda moverse con total seguridad en el cuerpo de agua para el cual fue construida.

Dependiendo del tipo de barco, la lista es extensa y puede variar desde barcos medievales continuando con veleros del siglo XIII tipo Bergantín, hasta barcos de fuerza o resistencia variada, incluidos cruceros o yates utilizados para viajes recreativos.

Pero también hay navíos de gran envergadura representados por petroleros, graneleros y buques de guerra de varios países. Por lo tanto, se repasará los siguientes puntos como parte de una clasificación general de los tipos de embarcaciones disponibles actualmente en el planeta para comprender más a fondo la funcionalidad de cada uno de estos.

2.5.1. Barcos de Recreo

Todos los barcos de esta serie están representados, independientemente de su propulsión; su finalidad principal es asegurar la movilidad de las personas, ya sea con fines deportivos o como elemento de recreación, entretenimiento o relajación.

Este tipo de embarcación se utiliza para actividades recreativas, sean o no lucrativas, ya que se contratan muchas personas para el transporte de mercancías o pasajeros.

Figura 4. Barcos de recreo



Fuente: R.Jackson [6]

2.5.2. Embarcaciones de Playa

Las embarcaciones clasificadas dentro de este grupo están representadas por aquellas que se utilizan para el entretenimiento de personas cuando realizan actividades marítimas como, por ejemplo: el piragüismo en velero, kayak o canoa, estas consisten en pequeñas embarcaciones provistas de remos o asistidas a través de pedales que accionan unos flaps que propulsan la embarcación.No obstante, también se incluyen en este grupo las tablas de vela o windsurf, con o sin motor, las embarcaciones neumáticas, las tablas de surf así como las boyas de amarre.

Figura 5. Barco de competición



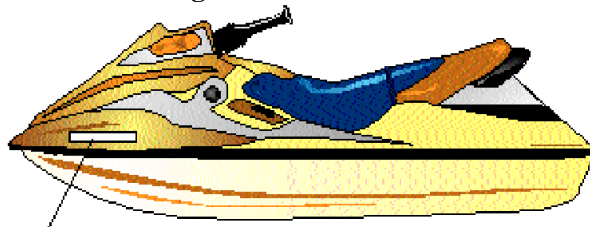
Fuente: R.Jackson [6]

2.5.3. Motos náuticas

Se trata de las famosas motos de agua, suelen identificarse también como acuáticas o marinas, son embarcaciones de tipo ligeras cuyo principio es básicamente el mismo que el de una motocicleta normal, pero con una hélice interna la cual ayuda a propulsar a la moto por el agua.

Estas motocicletas suelen ser del tipo jet ski o runabout, y pueden variar en potencia de 50 a 350 caballos de fuerza. Pero suelen estar acostumbrados a caminar sobre la superficie del agua, como si estuvieran en tierra firme.

Figura 6. Moto náutica

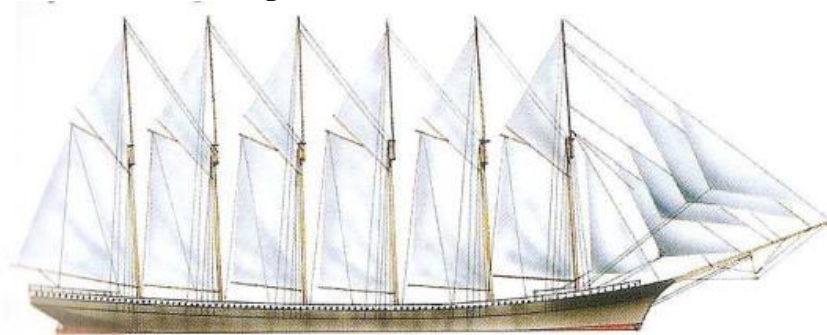


Fuente: Real Decreto [7]

2.5.4. Embarcaciones de Vela

Un velero se caracteriza por un empuje que aprovecha la acción del viento sobre el aparejo el cual está formado por un conjunto de mástiles, cabos y velas a través de los cuales se capta el viento y se utiliza para propulsar la embarcación. Estos botes se usan típicamente en áreas ventosas, aunque algunos también pueden usar remos o motores de maniobra cuando no hay aire fuerte o continuo disponible.

Figura 7. Embarcación de vela

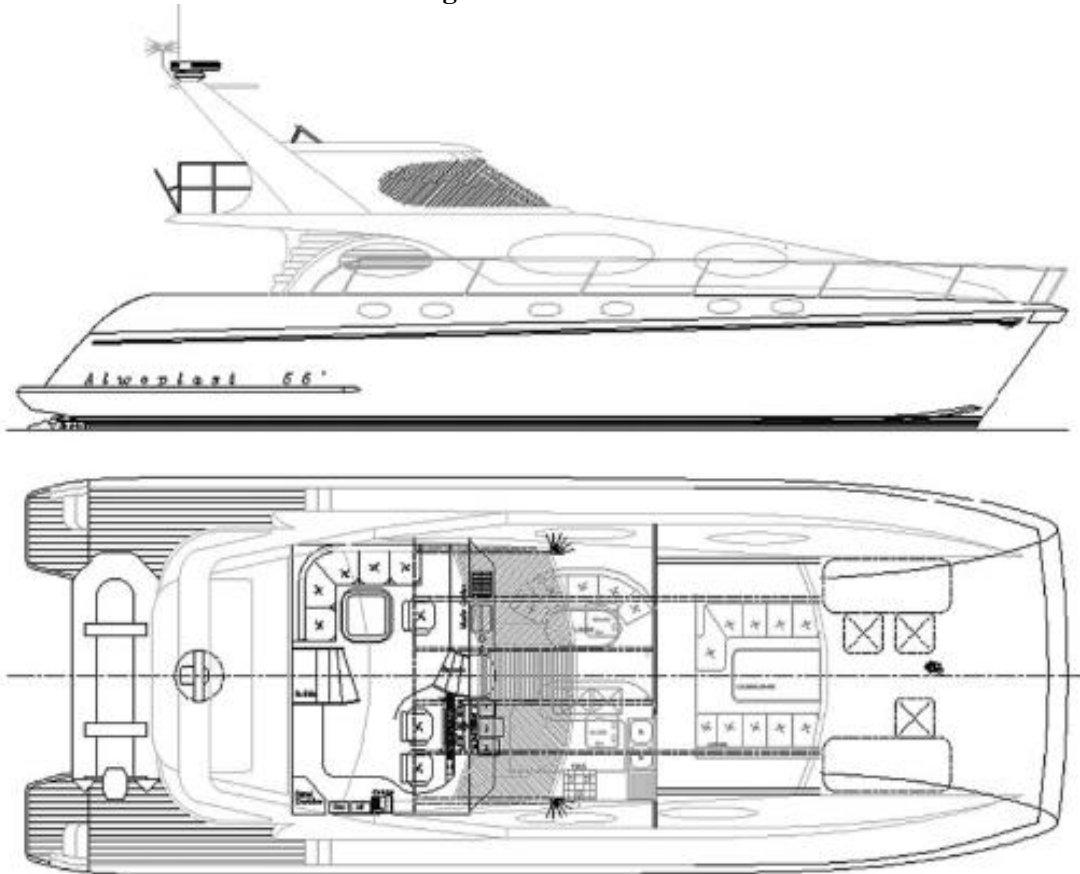


Fuente: R.Jackson [6]

2.5.5. Catamarán

Los catamaranes suelen ser barcos con dos cascos paralelos, muy ligeros y pueden ser propulsados por velas o motores. Los barcos de este tipo se utilizan generalmente para realizar actividades turísticas y deportivas. Tienen un diseño relativamente nuevo al que están acostumbrados muchos marineros.

Figura 8. Catamarán



Fuente: R. Ojeda, B. Gangadhara, M. Salas [8]

2.5.6. Lanchas

Son pequeñas embarcaciones que pueden ser propulsadas a vela, remo o motor. Se pueden transportar en barcos, para salvar vidas o para llegar a la costa en una isla que no tiene puertos profundos.

Estos barcos están equipados con timones, gracias a los cuales se pueden dirigir en cualquier dirección, sin pasar por las zonas costeras; También son ideales para la práctica de deportes náuticos como el esquí, la pesca o el tubing, donde se lleva un hinchable con las personas dentro.

Figura 9. Lancha propulsada a motor



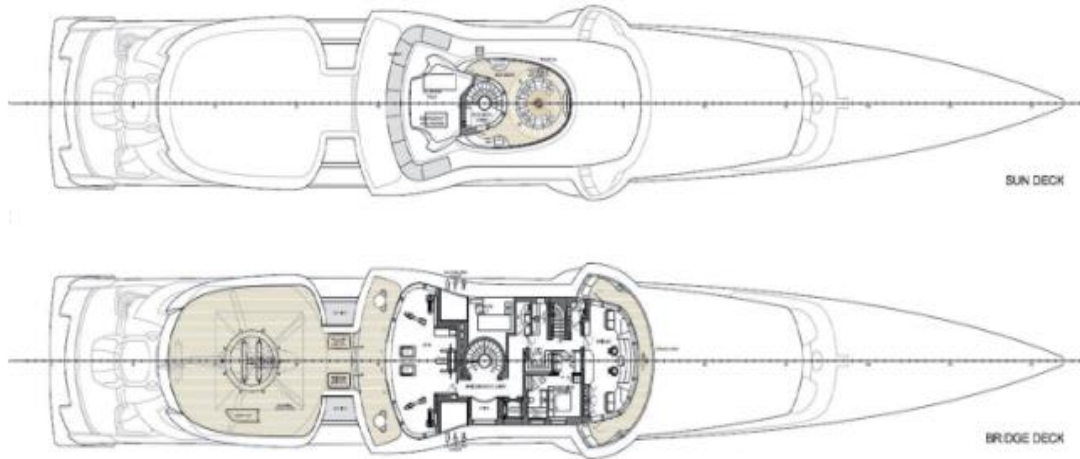
Fuente: S. Bausá [9]

2.5.7. Yates

Está considerado como un barco de lujo cuya tripulación puede ser más activa ya que puede realizar largas travesías, visitar islas, archipiélagos y realizar diferentes itinerarios ya que está equipado con motores grandes, ruedas motrices y con un sinfín de comodidades para vivirlo. Es prácticamente un departamento flotante ya que posee baños, salas, comedores, cocinas, habitaciones completamente equipadas, salas de reuniones y en muchos casos estos cuentan con bares y yacuses incluidos.

Por otro lado, suelen ser barcos caros, pero deseados por los amantes de la navegación, es un lujo que pocas personas en el mundo pueden pagar, muchos de estos yates son grandes y están totalmente equipados con cascos listos para atravesar océanos.

Figura 10. Yate



Fuente: A. Molina [10]

2.5.8. Transatlánticos

Uno de los medios tradicionales de transporte de pasajeros más grandes creados, el buque transatlántico es capaz de navegar de lado a lado, a través del Océano Atlántico debido a su desplazamiento y gran capacidad para albergar combustible. [11].

Figura 11. Transatlántico “RMS Queen Mary 2”



Fuente: G. Piazza, M. Polette [11]

2.5.9. Cruceros

Las embarcaciones reconocidas como cruceros son aquellos que normalmente transportan pasajeros realizando circuitos de varios días o semanas con el fin recreacional, pero en este caso también realizan escalas en varios puertos como parte de su visita guiada mediante un itinerario.

Muchos de esto se utilizan para cruceros por el Mediterráneo o como parte de un recorrido por el Caribe. Uno de los ejemplos más grandes del mundo es llamado “Symphony of the Seas”, con capacidad para 6780 pasajeros y una tripulación de 2100 personas.

Figura 12. Crucero “Symphony of the Seas”



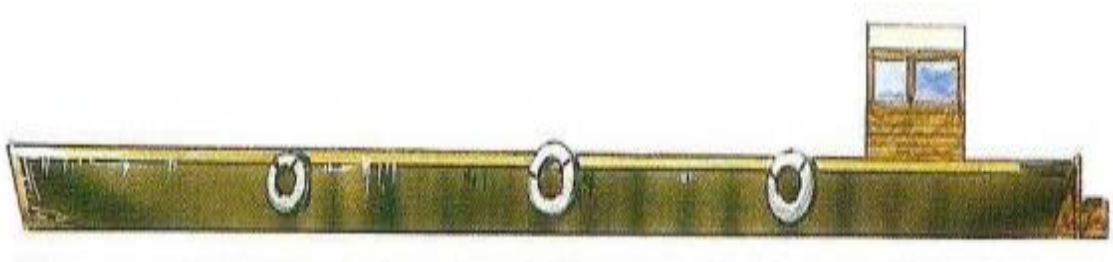
Fuente: Ship Technology [12]

2.5.10. Transbordadores

Los transbordadores también se conocen como Ferry, son naves que suelen transportar pasajeros y mercancías entre dos puntos preestablecidos, por ejemplo, una ruta entre un puerto ubicado en una región continental y un puerto insular, que luego se replica en la otra dirección. En la mayoría de los casos, los ferrys también suelen transportar pasajeros a tierra firme, que en este caso incluye incluso autobuses y otros medios de

transporte público. Los transbordadores suelen tener horarios de salida y llegada predeterminados y pueden considerarse parte del transporte público en algunas ciudades.

Figura 13. Transbordador tipo lanchón

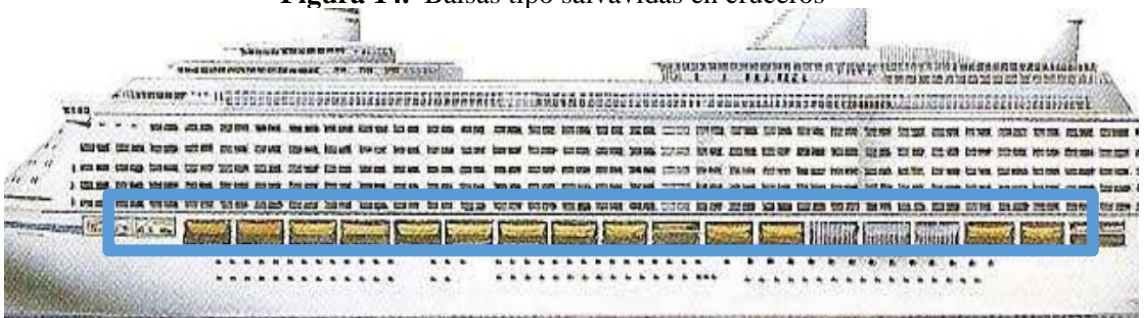


Fuente: R.Jackson [6]

2.5.11. Balsa

Son embarcaciones de pequeñas, mediante las cuales se puede transportar personas; suele usarse como salvavidas dentro de embarcaciones de grandes dimensiones, también suele usarse como medio de transporte desde un buque hacia tierra cuando la profundidad del mar sea relativamente pequeña. Algunos pueden ser inflados automáticamente en caso de emergencia, otras son más fuertes y se fijan dentro de barcos más grandes, de modo que en caso de emergencia se pueden bajar fácilmente al mar, incluso con sus pasajeros.

Figura 14. Balsas tipo salvavidas en cruceros

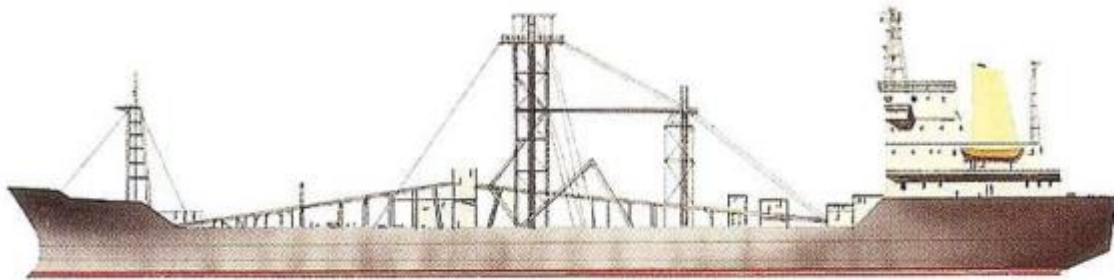


Fuente: R.Jackson [6]

2.5.12. Barcos Mercantiles

Los barcos mercantiles son embarcaciones de gran envergadura las cuales pueden transportar gran cantidad de mercancía como, por ejemplo: petróleo, granos, líquidos de diversos tipos, contenedores, etc. Estos pueden ser identificados mediante otras denominaciones, entre las cuales se incluyen el barco de cabotaje, cargueros o simplemente como buques mercantes.

Figura 25. Barco mercantil “Halla”



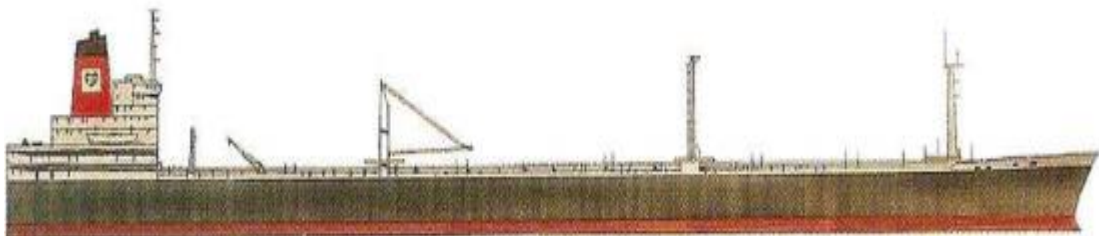
Fuente: R.Jackson [6]

2.5.13. Petroleros

Son buques tipo cisterna, diseñados para transporte del crudo o derivado del petróleo, construidos con doble casco, para su seguridad y evitar derrames accidentales.

Cuentan con solo algunos puertos capacitados para su llegada y en su mayoría no pueden atravesar los canales de Suez o el de Panamá, ya que son los más grandes del mundo, con una capacidad de transporte de 500.000 toneladas y longitud de hasta unos 400 metros.

Figura 36. Buque petrolero

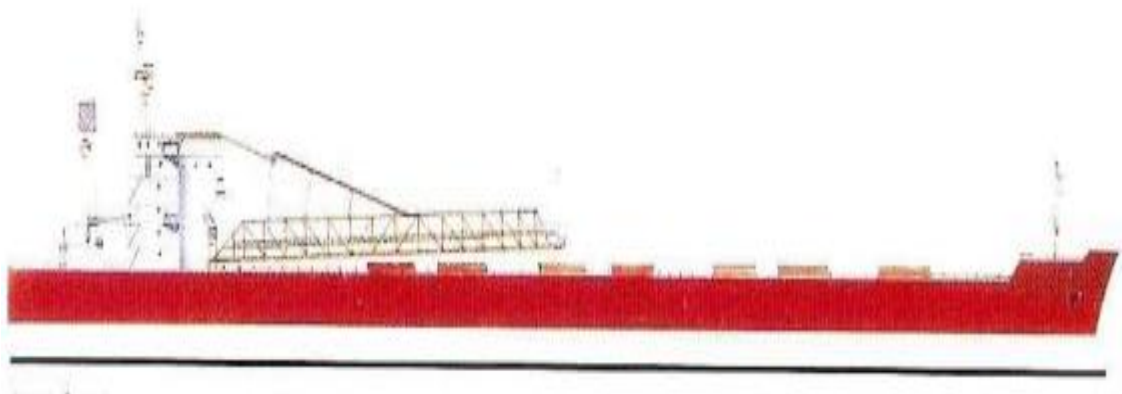


Fuente: R.Jackson [6]

2.5.14. Graneleros

Son de los barcos más grandes del mundo, usado como transporte de cargas secas a granel, de hasta 200.000 toneladas de peso muerto y cuentan con 300 metros de largo; haciendo su recorrido a muy baja velocidad. Cuentan con cubierta corrida y provista de varias escotillas, su cargamento es en forma de granos o cereales, transportados sin empaquetar.

Figura 47. Buque granelero “YEOMAN BURN”

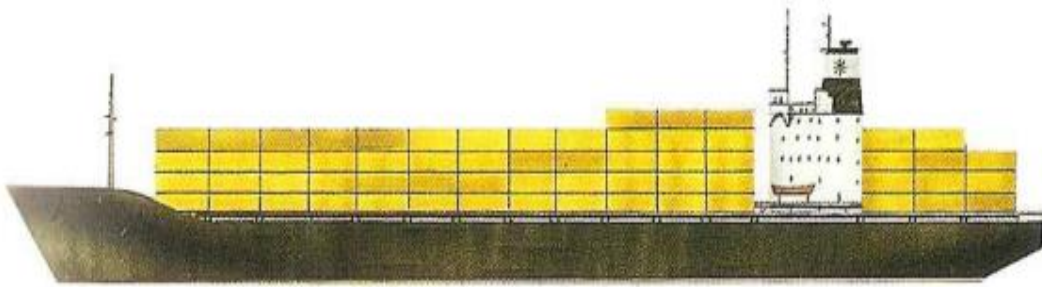


Fuente: R.Jackson [6]

2.5.15. Portacontenedores

Buques típicos en los principales puertos de las grandes ciudades, trasladan los contenedores de uno a otro lugar del mundo. El contenedor es un tipo especial de recipiente de almacenamiento utilizado para ciertos tipos de mercancías, ya que es seguro y se fabrica de acuerdo con una serie de normas de protección de mercancías reconocidas por ISO, la Organización Internacional de Normalización. Los buques cuentan con el suficiente espacio para llevar filas y columnas de contenedores apilados, y con motores diésel para su desplazamiento.

Figura 58. Buque portacontenedores



Fuente: R.Jackson [6]

2.6. Definición de muelles

Los muelles son estructuras que dan cabida a un número determinado de embarcaciones según las capacidades que estos presenten. Estos se construyen de acuerdo con la función que vayan a cumplir durante su vida útil por lo general dentro de sus funciones se encuentra el transporte de pasajeros, carga y descarga de mercancías, plataformas para mantenimiento de embarcaciones, etc.

2.7. Ensayo esclerométrico

Este tipo de ensayos permiten evaluar la calidad del concreto endurecido con el que se está trabajando, esto se lo puede realizar a tempranas edades para poder predecir su resistencia en el futuro cuando este tenga edades más avanzadas, este ensayo ayuda a estimar la resistencia a compresión del concreto sin necesidad de destruir en elemento estructural analizado [13].

La resistencia del hormigón de cada uno de los elementos estructurales que componen el muelle se determinó mediante el uso de un martillo esclerométrico, por lo general en el mercado existen esclerómetros que muestran diferentes tablas de correlaciones entre número de golpes y resistencia del concreto dependiendo de la inclinación del equipo, para el estudio realizado el martillo esclerométrico utilizado es el SILVER SCHMIDT el cual en base a la cálculo del número de rebotes en el concreto endurecido nos permite estimar la resistencia a compresión del elemento que se está analizando, la ventaja de utilizar este martillo digital radica en que no es necesario realizar

diferentes tipos de correlaciones de forma manual ya que tiene integrado en el sistema dichas correlaciones y el aparato da el promedio del número de rebotes de cada una de las mediciones así como también nos calcula directamente la resistencia del concreto.

Para realizar este ensayo se utilizó la norma ASTM C805 la cual establece algunos requisitos para su correcta ejecución:

- El área donde se va a realizar el ensayo debe tener por lo menos 15 cm de diámetro [14].
- La superficie donde se realizará el ensayo debe estar seca y ser lisa [14].
- Se debe tomar un total de 10 lecturas en cada área ensayada [14].
- Es importante no hacer 2 impactos en menos de 2.5 cm de separación entre cada impacto [14].
- No se debe ensayar sobre barras de refuerzo cuando el recubrimiento del elemento estructural sea menor a 2 cm [14].
- Los miembros donde se realicen estos ensayos deberán tener un espesor mínimo de 10 cm [14].

2.8. Interacción suelo pilote

Para considerar la cimentación por pilotes u otro tipo de cimentación profunda en una determinada estructura el suelo sobre el cual esta se asentará por lo general tiene pésimas características, es decir, la respuesta de los estratos superficiales sobre los cuales se cimienta una edificación no garantizan la estabilidad de la misma y por ende es necesario llegar a estratos más profundos los cuales tengan excelentes características para asegurar una adecuada estabilidad y un óptimo comportamiento estructural [15], al analizar este tipo de cimentaciones es importante contar con modelos matemáticos que describan con la mayor precisión posible la interacción que existe entre el suelo y el pilote.

Este modelo matemático se lo puede diseñar de varias maneras, una de las más precisas para representar esta interacción es mediante un modelado inelástico de elementos

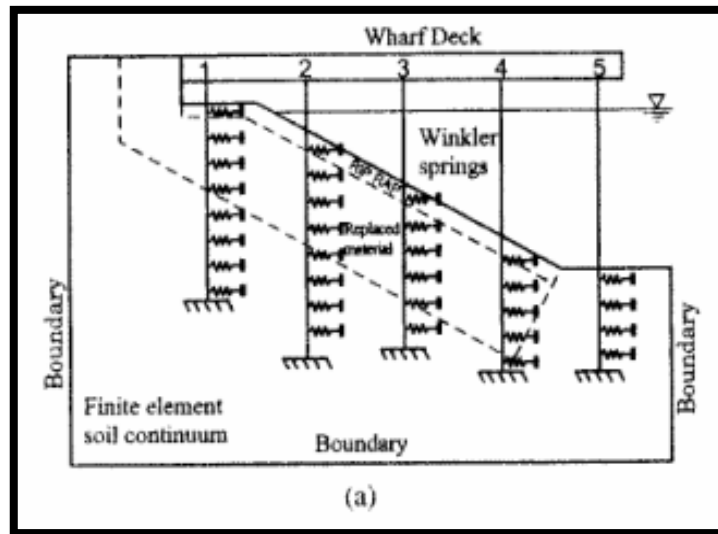
finitos del suelo de cimentación, mismo que debe poseer espesores suficientes tanto por debajo como por los lados del pilote de tal forma que el modelo de elementos finitos del suelo de cimentación no se vea afectado por la respuesta que presente la estructura del muelle.

El suelo de cimentación se conecta con los pilotes mediante los resortes de Winkler, las distancias entre cada uno de estos resortes son cortas para representar de una forma más exacta las deformaciones que sufre el pilote en comparación al suelo estructural. En la superficie del suelo los resortes deben poseer diferentes rigideces y resistencias en dirección al mar, la tierra y paralela a la costa, todo esto debido a que en este punto la influencia de la respuesta estructural es mucho mayor que en el subsuelo. Dentro del análisis de interacción suelo – estructura los pilotes deben ser representados con sus propiedades inelásticas basadas en análisis momento – curvatura [16].

Para realizar este tipo de análisis es necesario realizar cálculos muy sofisticados y precisos, es decir efectuar una gran cantidad de operaciones avanzadas que permitan obtener resultados cercanos a la realidad, aunque estos tengan un grado de incertidumbre al considerar el factor sísmico.

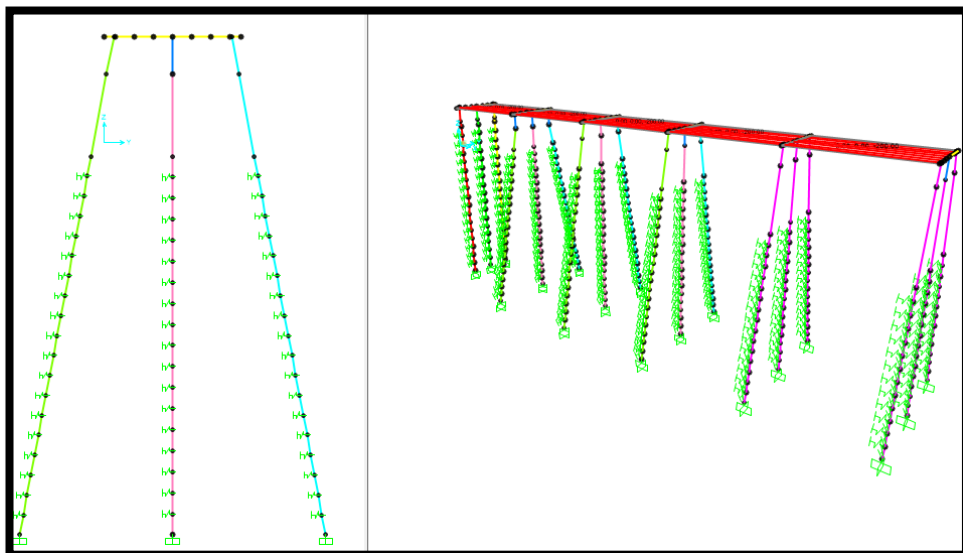
Debido a la dificultad y el alto costo computacional que conlleva desarrollar este método es oportuno optar por otros métodos simplificados que lleven a resultados similares y no involucren una gran cantidad de cálculos avanzados difíciles de realizar. PINAC propuso algunos métodos para representar la interacción suelo estructura de una forma más fácil, mediante un modelamiento continuo suelo – estructura donde se aplica un empotramiento a las bases de los pilotes asumiendo que la fuerza sísmica se aplica de forma simultánea en cada una de las bases de estos y los resortes solo llevan al pilote al límite rígido, por consiguiente se entiende que las deformaciones del suelo son pequeñas a diferencia de las deformaciones del muelle que serán mayores, hay que tener en cuenta que esta teoría no se recomienda aplicar cuando realizados los estudios geotécnicos se encuentren capas de suelo propensos a licuefacción [17][16].

Figura 19. Muelle de pilotes con resortes de Winkler



Fuente: PINAC [16]

Figura 20. Modelo matemático del muelle de pilotes analizado con resortes de Winkler



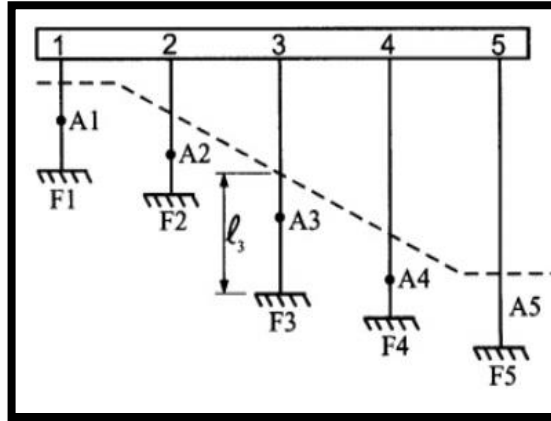
Fuente: Elaboración propia

PINAC también propone un segundo método más simplificado denominado método equivalente de profundidad a fijo donde los resortes son reemplazados haciendo más corta la distancia de fijación de los pilotes generalmente $l_3 = 5$ diámetros de la pila.

En este método el suelo no es modelado de manera explícita de la misma forma los pilotes se encuentran fijados a una profundidad definida, esto da como resultado una rigidez y un desplazamiento correcto para el muelle. Gracias a este método se

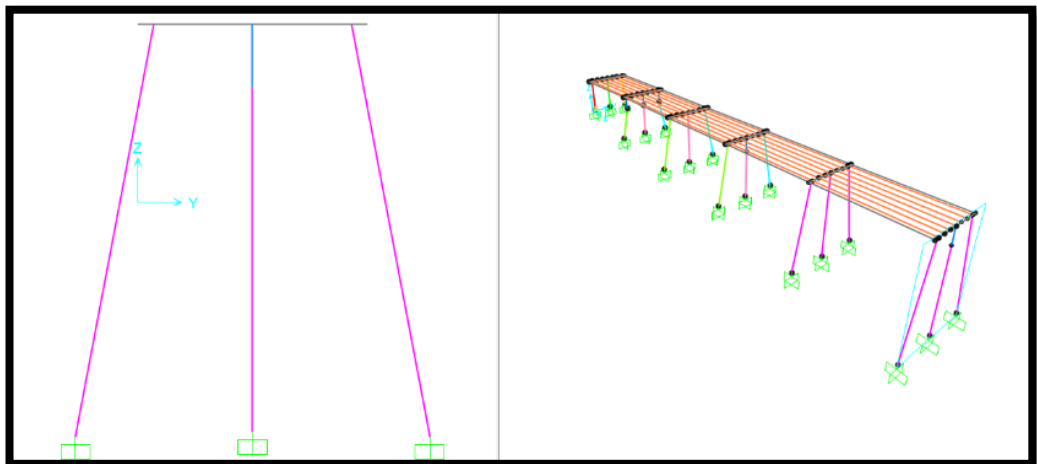
puede predecir correctamente los desplazamientos, período de elásticos y la rigidez, pero mayorará los momentos máximos en el punto suelo – pila [16].

Figura 21. Muelle de pilotes con empotramiento



Fuente: PINAC [16]

Figura 22. Modelo matemático del muelle de pilotes analizado con empotramiento

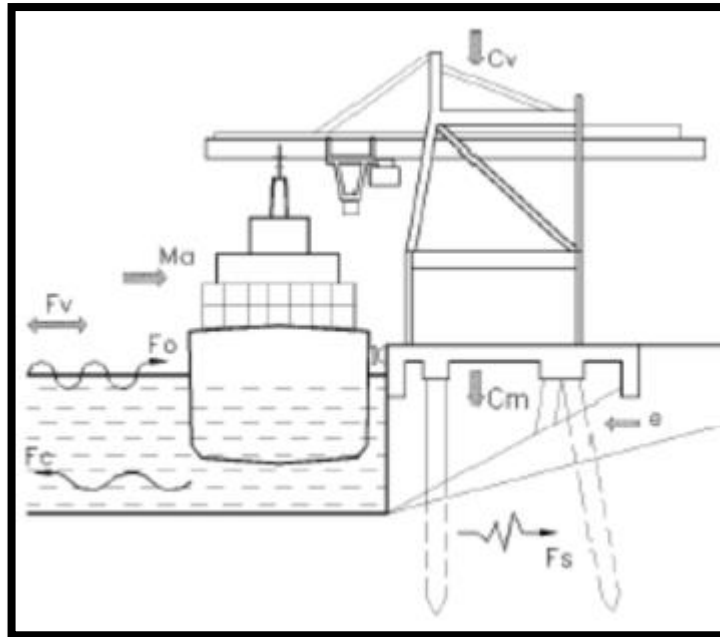


Fuente: Frías Córdova Christian

El muelle será analizado con esta última consideración gracias a la versatilidad que presenta al momento de realizar tanto los análisis lineales como los análisis no lineales.

2.9. Cargas actuantes en el muelle de servicio

Figura 23. Cargas que actúan sobre un muelle



Fuente: PINAC [16]

2.9.1. Carga o peso muerto (D)

Este tipo de carga corresponde a la sumatoria de todos los pesos de los elementos estructurales que componen el muelle. Dentro de los cuales se encuentran los siguientes elementos:

- Peso de la losa prefabricada de hormigón armado
- Peso de las vigas doble T
- Peso de la viga T invertida
- Peso de los pilotes

2.9.2. Sobrecarga (SC)

Corresponde a las cargas de los elementos no estructurales que posee el muelle para este caso se consideraron las siguientes:

- Peso de los bordillos

- Peso de las instalaciones mecánicas del muelle.

2.9.3. Carga viva (CL)

La Norma Ecuatoriana de la Construcción en su capítulo de cargas no sísmicas establece que para corredores, pasarelas y plataformas para mantenimiento se asuma una carga viva de 2.0 KN/m², este valor será utilizado para este caso de estudio debido a que el muelle es utilizado principalmente para el mantenimiento de embarcaciones.

2.9.4. Fuerza de viento (Fv)

El viento es el movimiento de grandes masas de aire en la atmósfera debido a las diferencias de presión que existen en la misma. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción se debe considerar una velocidad idónea de diseño a una altura de hasta 10 metros, no obstante, la velocidad no deberá ser menor a 75 km/h.

De la misma forma se debe corregir la velocidad del viento multiplicando por un factor que depende de la altura de la construcción, características topográficas de la zona y el nivel de exposición a el viento del lugar analizado.

Esta velocidad corregida se la calcula con la siguiente fórmula:

$$vb = v \cdot \sigma \quad \text{Ec. 1 – NEC-SE-CG}$$

vb: Velocidad corregida del viento

v: Velocidad instantánea máxima del viento a 10 m de altura sobre el terreno

σ: Factor de corrección

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción las características topográficas del terreno se reparten en tres categorías las cuales son:

Categoría A: se las utiliza para edificios ubicados frente al mar, zonas con espacios abiertos o zonas rurales ya que el viento es considerablemente alto [18].

Categoría B: se utiliza en zonas suburbanas con edificaciones que tengan alturas de hasta 10 metros [18].

Categoría C: se las utiliza para zonas con edificaciones de gran altura es decir pasados los 10 m [18].

Tabla 6. Factor de corrección σ

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Fuente: NEC-SE-CG [18]

Para el cálculo de la presión del viento se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * V_b^2 * C_e * C_f \quad \text{Ec. 2 – NEC-SE-CG}$$

Donde:

ρ : Densidad del aire Kg/cm³

v_b : Velocidad de viento corregida m/s

c_e : Coeficiente de entorno/altura (se lo puede calcular de acuerdo con la tabla 26.10-1 del ASCE 7-16)

Tabla 7. Cálculo del coeficiente entorno/altura

Height above Ground Level, z		Exposure		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57 (0.70) ^a	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) ^a	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) ^a	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

Fuente: Tabla 26.10-1 del ASCE 7-16 [19]

Para el uso de esta tabla se debe tomar en cuenta la altura de la edificación misma que nos ofrece rangos de altura tanto en pies como en metros, posteriormente se deberá escoger el coeficiente en función a nivel de exposición que tenga la estructura analizada frente al viento, dónde B es la estructura que menos contacto tiene con el viento y D es la estructura que más contacto tiene con el viento.

c_f : Coeficiente de forma en m/s

Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción el coeficiente de forma se lo puede obtener a partir de la tabla 8.

Tabla 8. Coeficiente de forma

Construcción	Coeficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la prilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Fuente: NEC-SE-CG [18]

2.9.5. Energía de cinética (E_f)

La energía cinética o también denominada energía cinética normal de ataque es aquella que puede ocurrir de manera frecuente a lo largo de la vida útil del muelle sin causar daños en el mismo.

Para ataques de embarcaciones que se realizan de forma lateral la norma ROM propone la siguiente fórmula para calcular la energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque E_f .

$$E_f = E_b * C_b = \left[\frac{1}{2g} (C_m * \Delta) * (V_b^2) \right] * C_e * C_g * C_c * C_s \quad \text{Ec. 3 – ROM 2.0-11}$$

Donde:

E_f : Energía cinética cedida por el buque al sistema de atraque (kJ).

Cm: Masa movilizada por el buque durante el atraque.

Mb: Masa del buque ($M_b = D/g$).

Δ: Desplazamiento del buque en la condición de carga considerada (kN).

g: Aceleración de la gravedad (9.8 m/s).

Cm: Coeficiente de masa hidrodinámica.

Vb: Componente normal a la línea de atraque de la velocidad de aproximación del buque en el momento del impacto (m/s).

Ce: Coeficiente de excentricidad.

Cg: Coeficiente geométrico del buque.

Cc: coeficiente de configuración del atraque.

2.9.5.1. Coeficiente de excentricidad (Ce)

Se refiere a la energía cinética que no puede ser transmitida del buque a los sistemas de atraque del muelle debido a que no coincide el punto de impacto con el centro de gravedad de la embarcación y se lo calcula con la siguiente fórmula.

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cdot (\cos \phi)^2}{K^2 + R^2} \quad \text{Ec. 4 – ROM 2.0-11}$$

Donde:

K: Radio de giro del navío, siendo $K = (0,19C_b + 0,11) \cdot L$, donde L es la eslora y C_b es el coeficiente de bloque.

El coeficiente del bloque se lo puede determinar con la siguiente fórmula:

$$C_b = \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Eslora} \times \text{Manga} \times \text{Calado} \times \gamma_\omega} \quad \text{Ec. 5-- ROM 2.0-11}$$

Donde:

γ_ω = Densidad del agua del mar (ton/m³).

R: Representa la distancia existente entre el punto de impacto y el centro de gravedad del navío, para efectos de cálculo la norma ROM 2.0-11 nos brinda dos parámetros:

- Cuando el ataque es sobre sistemas continuos de defensa **a=0.25L**
- Cuando el ataque es sobre estructura aislada de defensa - duques de alba **a=0.10L**

\emptyset : Representa al ángulo entre el centro de gravedad del navío, el punto de contacto aquí el vector de velocidad en grados.

2.9.5.2. Velocidad de ataque

Para el cálculo de la energía cinética desarrollada por el buque durante el ataque uno de los factores más importantes es su velocidad al momento de atracar, y según PINAC esto depende de ciertas consideraciones como:

- Si el barco es asistido por un remolcador para su ataque o no.
- La dificultad de maniobra al momento de atracar el barco.
- El puerto está expuesto a corrientes y vientos los cuales empujan el barco.
- Por aquí el tamaño que posee el barco atracado, así como también el nivel de carga que posee.

Las condiciones de ataque por lo general se las puede representar con letras que van de la “a” a la letra “e”, siendo las condiciones más usadas las letras d y e.

- a: Atraque fácil, resguardado.
- b: Atraque difícil, resguardado.
- c: Atraque fácil, expuesto.
- d: Buen atraque, expuesto.
- e: Atraque difícil, expuesto.

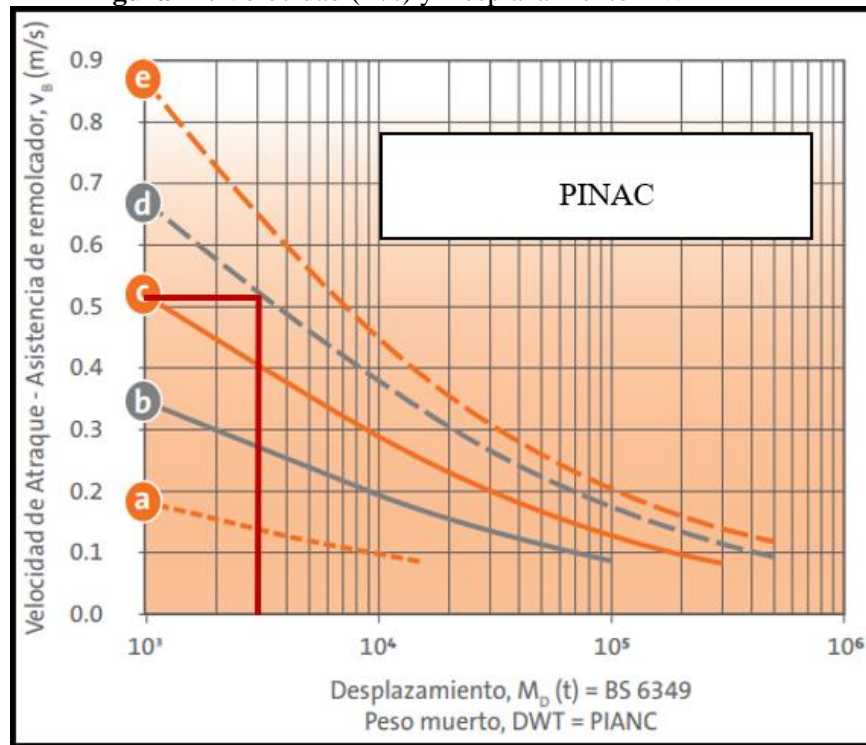
Para el uso de las condiciones descritas anteriormente PINAC propone el uso de la Tabla 9, la cual está en función del desplazamiento de peso muerto o Deadweight DWT, mismo que para el buque de diseño del muelle en estudio es de 3000 ton.

Tabla 9. Valores de Velocidad y Desplazamiento

Desplazamiento M_D [t]	a	b	c	d*	e**
1,000	0.179	0.343	0.517	0.669	0.865
3,000	0.136	0.269	0.404	0.524	0.649
5,000	0.117	0.236	0.352	0.459	0.558
10,000	0.094	0.192	0.287	0.377	0.448
15,000	0.082	0.169	0.252	0.332	0.391
20,000	*	0.153	0.228	0.303	0.355
30,000	*	0.133	0.198	0.264	0.308
40,000	*	0.119	0.178	0.239	0.279
50,000	*	0.110	0.164	0.221	0.258
75,000	*	0.094	0.141	0.190	0.223
100,000	*	0.083	0.126	0.171	0.201
150,000	*	*	0.107	0.146	0.174
200,000	*	*	0.095	0.131	0.158
250,000	*	*	0.086	0.120	0.146
300,000	*	*	0.080	0.111	0.137
400,000	*	*	*	0.099	0.124
500,000	*	*	*	0.090	0.115

Fuente: FenderTeam y PINAC

Figura 24. Velocidad (m/s) y Desplazamiento DWT



Fuente: FenderTeam y PINAC

La velocidad del buque de diseño al momento del ataque es de 0.524 m/s.

2.9.5.3. Coeficiente de masa (Cm)

Este coeficiente toma en cuenta la cantidad de masa de agua que se desplaza juntamente con el navío al realizar las obras de atraque y se lo calcula con la siguiente fórmula:

$$C_m = \frac{M_b + M_w}{M_b} \quad \text{Ec. 6– ROM 2.0-11}$$

Donde:

M_b : Desplazamiento del buque a plena carga.

M_w : Peso adicional del agua movilizada, se la puede calcular mediante la fórmula propuesta por el Dr. Stelson, $M_w = \frac{\pi}{4} * \text{Calado de diseño}^2 * L * \gamma_w$, donde L es la eslora y γ_w es la densidad del agua del mar.

2.9.5.4. Coeficiente geométrico del buque (Cg)

Este coeficiente toma en cuenta la energía cinética desarrollada por el buque por efecto de su curvatura en el punto de impacto y que es absorbida por el sistema de atraque, la norma ROM 2.0-11 nos brinda dos parámetros:

- Si el impacto se produce en la parte curva del casco del navío se toma el valor de **0.95**
- Si el impacto se produce en la parte plana del navío se toma el valor de **1**

2.9.5.5. Coeficiente de atraque-impacto Cc

Toma en cuenta el efecto de amortiguamiento producido por el colchón de aguas generado entre el sistema de atraque y el casco del buque.

- **Cc=1** Si la disposición de la obra de atraque es de tipo muelle y su tipología estructural es fija abierta.
- **Cc=0.9** Si la disposición de la obra de atraque es de tipo muelle y su tipología estructural es fija cerrada.

2.9.5.6. Coeficiente de rigidez Cs

Toma en cuenta la energía desarrollada al momento de producirse una deformación en el casco del navío, su magnitud depende de la rigidez entre el sistema de atraque y el navío.

- **0.9** en el caso de sistemas de atraque muy rígidos o buques de gran eslora
- **1** resto de casos

2.9.5.7. Energía anormal (E_A)

Este tipo de energía producirá un grave daño a las defensas del muelle, y se presenta debido a errores humanos, fallos en equipos y por barcos muy grandes que necesitan maniobras difíciles para atracar, se lo puede calcular con la siguiente fórmula:

$$E_A = \eta x E_f$$

Ec. 7– ROM 2.0-11

Donde:

η : es un factor de seguridad que tome en cuenta diversas circunstancias o escenarios donde la energía normal pueda excederse, según PINAC se puede considerar los siguientes valores para el factor de seguridad:

Tabla 10. Valores del factor de seguridad

TIPO DE NAVE	MAS GRANDE	MAS PEQUEÑA	COMENTARIOS E INTERPRETACIONES	
Petroleros	1.25 ^A	1.75 ^B	A: Suezmax y mayores	B: Handymax y menores
Cargueros a Granel	1.25 ^A	1.75 ^B	A: Capsize y mayores	B: Handymax y menores
Cargueros de Gas	1.50 – 2.00 Sin orientación de PIANC. Seguridad crítica por lo que se requiere un factor alto.			
Portacontenedores	1.50 ^A	2.00 ^B	A: Post-Panamax y mayores	B: Panamax y menores
Carga General, cargueros	1.75		Utilizar factores y velocidades altas si no hay remolcadores disponibles	
RoRo y Ferris	≥ 2.00		Puede ser necesario tener factores de seguridad altos en los muelles más expuestos.	
Transportes de Vehículos	2.00		Sin orientación de PIANC. Una amplia zona de vientos puede hacer difícil el atraque.	
Cruceros	2.00		Sin orientación de PIANC. Una amplia zona de vientos puede hacer difícil el atraque.	
Ferris rápidos	≥ 2.00		Sin orientación de PIANC. Los barcos poseen una velocidad de maniobrabilidad limitada.	
Remolcadores, barcos de trabajo	2.00		Vienen en todos los tamaños y formas. Muchos desconocidos.	

Fuente: FenderTeam y PINAC

2.9.6. Fuerza de impacto accidental (Fi)

La norma ROM 2.0-11 nos brinda una fórmula que considera que la estructura que recibe un abordaje frontal de la embarcación es indeformable, y la energía que libera el impacto es absorbida en su totalidad por el navío, esto es aplicable cuando la estructura que recibe el impacto es rígida y no posee defensas en el punto de colisión [4].

Este tipo de carga se considera como una carga puntual perpendicular a la zona de impacto y se la calcula con la siguiente fórmula:

$$P_{k, \text{frontal}} = 0,88 \sqrt{TPM} \left(\frac{V_{b,a}}{8} \right)^{\frac{2}{3}} \left(\frac{\Delta_{\text{impacto}}}{\Delta_{PC}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{Ec. 8 – ROM 2.0 -11}$$

Donde:

TPM: Es el tonelaje de peso muerto del buque en toneladas

$v_{b,a}$: corresponde a la velocidad del buque sumada a la velocidad de las corrientes de agua en condiciones excepcionales.

$\Delta_{impacto}$: Desplazamiento del buque al momento del impacto en toneladas.

Δ_{PC} : Desplazamiento del buque a plena carga en toneladas.

Esta fuerza se la calculó con los datos del navío que impacto de manera frontal la parte lateral del muelle.

2.9.7. Cargas producidas por las olas (W)

El muelle analizado se encuentra al interior del Golfo de Guayaquil, este cuenta con un abrigo natural el mismo que impide que se generen oleajes de gran magnitud lo cual ayuda a mejorar la maniobrabilidad de las embarcaciones durante sus actividades de atraque.

Según la norma ROM las fuerzas de arrastre producidas sobre un pilote se definen como:

$$W_a = f_D + f_M \quad \text{Ec. 9 – ROM 2.0 -11}$$

Esta teoría se aplica siempre y cuando no exista una acción importante del oleaje, es decir que la onda producida por las olas no supere la plataforma superior del muelle.

De acuerdo con esto la máxima fuerza actuante se debe calcular a partir de la suma de dos componentes horizontales de fuerza, una fuerza de inercia f_M y una fuerza de arrastre f_D , y para su respectivo cálculo la norma nos proporciona las siguientes ecuaciones.

$$f_D = \frac{1}{2g} * C_D * \rho_w * D * u * |u| \quad \text{Ec. 10 – ROM 2.0 -11}$$

$$f_M = \frac{1}{2g} * C_m * \rho_w * A * \frac{\delta u}{\delta t} \quad \text{Ec. 11 – ROM 2.0 -11}$$

Donde:

W_a : Fuerza hidrodinámica que actúa de forma perpendicular al eje del elemento estructural en Ton/m.

f_D : Fuerza de arrastre o ficción (Ton/m).

f_M : Fuerzas de inercia que actúan de forma normal al eje del elemento (Ton/m).

D : Para elementos circulares se refiere al diámetro del pilote, en elementos no circulares que es la anchura del pilote en m.

C_m : coeficiente hidrostático de inercia cuyo valor es adimensional y debido a la ausencia de una base experimental se recomienda usar valores entre 2.0 y 2.5.

ρ_w : Densidad del agua de mar T/m^3 , para este caso de estudio se utilizó un valor de $1.029 T/m^3$

u : Velocidad de la corriente de agua en el eje del pilote m/s.

$|u|$: Valor absoluto de la velocidad de la corriente de agua en el eje del pilote m/s.

A : sección transversal del elemento estructural perpendicular al eje m.

$\frac{\delta u}{\delta t}$: Componente horizontal de aceleración instantánea de las partículas de agua en el eje del pilote.

C_D : coeficiente hidrodinámico de arrastre, es constante a lo largo de la sección del

elemento estructural que varía de acuerdo con la forma de esta, su valor se lo puede determinar mediante el uso de la tabla 11.

La presente tabla que nos facilita la norma ROM permite calcular el coeficiente de arrastre en función de la forma de los pilotes que sostienen el muelle y la dirección de propagación del oleaje. Para el caso que se está estudiando se eligió un valor de 2.05 debido a que las secciones transversales de los pilotes del muelle son cuadradas.

Tabla 11. Coeficiente de forma

SECCIÓN		COEFICIENTE DE ARRASTRE (C_D)
		1,98
		1,16
		2,20
		2,05
		1,10
		1,55
	$Re < 2 \cdot 10^5$	1,20
	$2 \cdot 10^5 < Re < 5 \cdot 10^5$ (1)	0,70 a 1,20 según la rugosidad (2)
	$Re \geq 5 \cdot 10^5$ (1)	0,60 a 1,00 según la rugosidad (2)
Notas		
1) En los casos más generales, este tipo de estructuras suele dar lugar a números Reynolds altos (régimen turbulento o de transición).		
2) Los valores menores se corresponden con superficies suaves y lisas		

Fuente: ROM 2.0-11 [4]

2.9.8. Definición del espectro de diseño NEC-15

Factor de zona sísmica Z

Tabla 12. Factor de zona sísmica en función de la ubicación

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
ELOY ALFARO	ELOY ALFARO (DURAN)	DURAN	GUAYAS	0.40
GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAQUIL	GUAYAS	0.40
CARPUELA	AMBUQUI	IBARRA	IMBABURA	0.40

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Para la zona de influencia donde se ubica el muelle se tiene una caracterización del peligro sísmico Alta un factor $Z= 0.40$ y zona sísmica V [20].

Tabla 13. Factor de zona sísmica

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Coefficientes de perfil de suelo Fa, Fd, Fs y demás parámetros sísmicos

Este tipo de coeficientes hacen referencia al comportamiento que presenta el suelo dependiendo su tipo, sea A, B, C, D, E o F.

Fa Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto [20].

Tabla 14. Factor amplificación del suelo 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	≥0.5
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	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Fd: Ampliación de las ordenadas del aspecto elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca considerada los efectos de sitio [20].

Tabla 15. Factor amplificación 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	≥0.5
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	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Tabla 3: Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Fs: Comportamiento no lineal de los suelos [20].

Tabla 16. Factor amplificación 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	≥0.5
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	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Tabla 5 : Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s.

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Tc: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Para su cálculo se utilizará la siguiente fórmula presente en el capítulo 3.3.1 de la NEC-SE-DS [20].

$$T_C = 0.55 * F_s * \frac{F_d}{F_a} \quad \text{Ec. 12 – NEC-SE-DS}$$

Donde:

Fs= Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto

Fd= Ampliación de las ordenadas del aspecto elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca considerada los efectos de sitio

Fa= Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto

To: Periodo límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño [20].

Para su cálculo se utilizará la siguiente fórmula presente en el capítulo 3.3 presente en la NEC-SE-DS.

Ec. 13– NEC-SE-DS

$$T_0 = 0.10 * F_s * \frac{F_d}{F_a}$$

Donde:

F_s= Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto

F_d= Ampliación de las ordenadas del aspecto elástico de respuesta de desplazamiento para diseño en roca considerando los efectos de sitio

F_a= Coeficiente de ampliación de suelo en la zona de periodo corto

η: Razón entre la aceleración espectral S_a (T=0.10s) y la aceleración máxima en el terreno para el periodo de retorno seleccionado [20].

η= 1.80 Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)

η= 2.48 Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

η= 2.60 Provincias del Oriente

Periodo de vibración (T)

$$T = C_t * H_n^\alpha$$

Ec. 14– NEC-SE-DS

Donde:

C_t Coeficiente dependiente del tipo de edificio

H_n altura máxima que tiene la edificación de n pisos medida desde la base en m.

T Periodo de vibración de la estructura

Tabla 17. Factores para determinar el periodo de vibración

Tipo de estructura	C _t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Coefficiente de Reducción de Respuesta Estructural

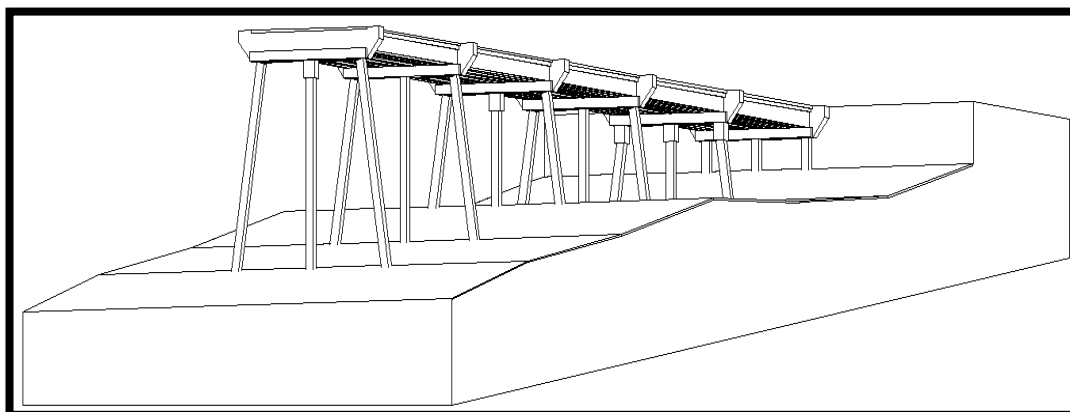
La Norma Ecuatoriana establece algunos factores de reducción de respuesta estructural en el Capítulo 9 donde se hace mención de las estructuras portuarias y puentes, pero no brinda un factor de reducción como tal para la estructura analizada en este estudio, por lo que se utilizó la Norma Chilena NCh2369 donde nos brinda valores de R en función de los distintos tipos de muelles existentes y su configuración. De acuerdo con los grupos estructurales de la NCh2369 de la Tabla 18, el valor de R para este caso es 3 [21].

Tabla 18. Coeficientes de respuesta estructural propuestos por la NEC-SE-DS

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2


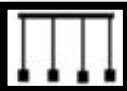




Fuente: NEC-SE-DS [20]

Figura 25. Tipo de estructura en estudio



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 19. Coeficientes de respuesta estructural propuestos por la NCh2369

Sistema sismo resistente		Esquema	R
1	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuestos sobre cuplas concéntricas de pilotes de acero.		3.0
2	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre pilotes de acero verticales que forman marcos rígidos.		4.0
3	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre cuplas excéntricas de pilotes de acero.		3.5
4	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuesto sobre cuplas de pilotes de acero o pilotes verticales formando marcos rígidos, contruidos sobre talud.		3.0
5	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuestos sobre pilotes de acero inclinados que forman marcos rígidos.		3.5
6	Tablero de hormigón armado sobre vigas, dispuestos sobre pilotes de acero inclinados que forman marcos rígidos.		3.5
7	estructura marítima convencional compuesta de tablero de hormigón armado sobre pilotes de acero u hormigón, no asimilable a las configuraciones anteriores		2

Fuente: NCh2369

Coefficiente de importancia

Mide el grado de importancia que tiene una estructura, su propósito es incrementar la demanda sísmica de diseño.

Tabla 20. Coeficientes de importancia estructural

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: NEC-SE-DS [20]

Aceleración Espectral (Sa)

Corresponde al espectro de respuesta elástico de aceleraciones y se lo expresa como fracción de la aceleración de la gravedad g, este depende del periodo o modo de vibración de la estructura [20].

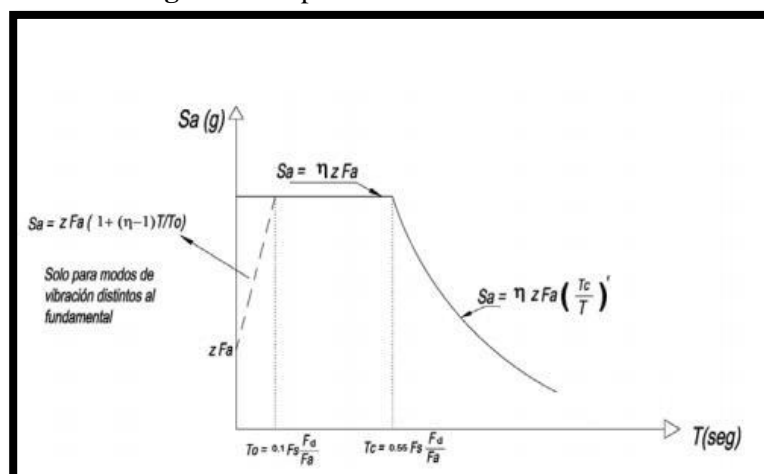
$$Sa = n * Z * Fa \quad \text{cuando } 0 \leq T \leq T_c$$

Ec. 15– NEC-SE-DS

$$Sa = n * Z * Fa * \left(\frac{T_c}{T}\right)^r \quad \text{cuando } T > T_c$$

Ec. 16– NEC-SE-DS

Figura 26. Tipo de estructura en estudio



Fuente: NEC-SE-DS [20]

El espectro debe obedecer a una fracción del amortiguamiento crítico del 5%.

Coefficientes de irregularidad en planta y elevación

Este tipo de coeficientes se presentan debido a las irregularidades que puede presentar la estructura como los cambios abruptos de rigidez y resistencia.

En el presente trabajo experimental se adoptará y los valores de $\phi_E = 1$ y $\phi_P = 1$, debido a que el muelle no presenta ninguna irregularidad en planta y elevación.

Coefficiente sísmico

El coeficiente sísmico será calculado con la siguiente fórmula:

$$C = \frac{I \cdot S_a}{R \cdot \phi_P \cdot \phi_E} \quad \text{Ec. 17- NEC-SE-DS}$$

Donde:

I = Coeficiente de importancia

S_a = Aceleración espectral

R = Coeficiente de reducción de respuesta estructural

ϕ_P = coeficiente de irregularidad en planta

ϕ_E = coeficiente de irregularidad en elevación

Carga Sísmica reactiva

Este tipo de carga representa la carga reactiva por sismo para lo cual la NEC-15 SE-DS define dos casos:

- Para casos generales la carga sísmica reactiva se calcula como:

$$W = D + 0.25L \quad \text{Ec. 18- NEC-SE-DS}$$

- Para casos especiales como bodegas y almacenaje se utiliza la siguiente fórmula:

$$W = D + 0.50L \quad \text{Ec. 19- NEC-SE-DS}$$

Para el presente estudio se utilizó el segundo caso.

2.9.9. Inercias agrietadas

La NEC-15 SE-DS establece diversos valores de inercia de agrietada según el elemento estructural a analizar.

- Vigas $0.5 I_g$
- Columnas $0.8 I_g$
- Muros estructurales $0.6 I_g$

2.9.10. Cortante Basal

Es la fuerza total que actúa en la base producida por una fuerza sísmica en sentido X o en sentido Y y se lo calcula con la siguiente fórmula:

Ec. 20– NEC-SE-DS

$$V=CxW$$

Donde:

W= Carga sísmica reactiva

2.9.11. Combinaciones de carga

Las estructuras portuarias como los muelles se las debe diseñar para soportar cargas permanentes, variables, accidentales, así como también las cargas producidas por las olas y cargas producidas por el posible impacto de una embarcación contra la infraestructura portuaria. Según la guía de diseño, construcción, operación y conservación de obras marítimas y costeras publicado por el Ministerio de Obras públicas de Chile en el año 2013 las estructuras portuarias se deberán analizar con la combinación de carga más desfavorable de las propuestas a continuación:

Tabla 21. Combinaciones de carga LRFD

VACANT	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
L (Lc+I o Lu)	0	1,6	1	0	1	1	0	0
B	4,7	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Be	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Cs	0	0	0	0	0	0	0	0
E	0	1,6	0	0	0	0	1,6	1,6
W	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
Ws	0	0	0	0	0	0	0	0
RST (R+S+T)	0	1,2	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,2	0	0	0	1	0	0

BERTHING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D		1,2	1,2		1,2	1,2		
L (Lc+I o Lu)		1,6	1		1	1		
B		1,2	1,2		1,2	1,2		
Be		1,6	1		1	1		
C		1,2	1,2		1,2	1,2		
Cs		0	0		0	0		
E		1,6	0		0	0		
W		0	0		1,6	0		
Ws		0	0		0	0		
RST (R+S+T)		1,2	0		0	0		
Ice		0,2	0		0	1		

MOORING	1(a)	2(b)	3(c)	4(d)	5(e)	6(f)	7(g)	8(h)
D	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
L (Lc+I o Lu)	0	1,6	1	0	1	1	0	0
B	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Be	0	0	0	0	0	0	0	0
C	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
Cs	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	0,9	0,9
E	0	1,6	0	0	0	0	1,6	1,6
W	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
Ws	0	0	0	0,8	1,6	0	1,6	0
RST (R+S+T)	0	1,2	0	0	0	0	0	0
Ice	0	0,2	0	0	0	1	0	0

(a) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 1
 (b) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 2
 (c) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 3a
 (d) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 3b
 (e) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 4
 (f) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 5
 (g) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 6
 (h) ASCE 7-02 Min Design Loads for Bldgs and Other Structures, 2.3.2 Eqn 7
 Nota: Las combinaciones de carga sísmica deben ser extraídas de la NCh 2369of 2003

Fuente: NCh2369

De las combinaciones propuestas por la norma chilena se adaptan las combinaciones del apartado VACANT de tal forma que se relacionen con las combinaciones de carga establecidas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción.

Tabla 22. Combinaciones de carga para el proyecto

COMBINACIONES DE CARGA		
COMBINACIONES ESTÁTICAS (gravitacionales)	COMB 1	1.4PP + 1.4SCP +1.4FO
	COMB 2	1.2PP + 1.2SCP + 1.2FO + 1.6CV + 1.6FV
	COMB 3	1.2PP + 1.2SCP + 0.5CV + 1.2FO +1.0FI
	COMB 4	1.2PP + 1.2SCP + 1.2FO+ 1.0CV + 1.0FV
	COMB 5	1.2PP + 1.2SCP + 1.0CV + 1.2FO +1.0FI
	COMB 6	0.9PP + 0.9SCP +0.9FO
COMBINACIONES SÍSMICAS	COMB 7a	1.2PP + 1.2SCP + 0.5 CV + 0.5 FO ± 1.0SX ± 0.3SY
	COMB 7b	1.2PP + 1.2SCP + 0.5 CV + 0.5 FO ± 1.0SY ± 0.3SX
	COMB 8a	0.9PP + 0.9SCP +0.5 FO ± 1.0SX ± 0.3SY
	COMB 8b	0.9PP + 0.9SCP +0.5 FO ± 1.0SY ± 0.3SX
SIMBOLOGÍA		
PP= Peso Propio de los elementos	FV: Fuerza del Viento	
SCP= Sobrecarga impuesta	Fi Fuerza de impacto accidental	
FO: Fuerza del oleaje	SX: Fuerza sísmica en sentido X	
CV= Carga Viva	SY: Fuerza sísmica en sentido Y	

Fuente: R.Angel, M. Galarza [22]

2.10. Evaluación estructural

“Los muelles soportados por pilotes, como uno de los componentes principales de los sistemas portuarios marinos, están sujetos a múltiples peligros como terremotos y corrosión durante su vida” [23]. De la misma forma, debido al uso que se le da a este tipo de estructuras estas están expuestas a lo largo de toda su vida útil a errores humanos que ocasionan grandes accidentes debilitándola y por ende mermando su capacidad operativa.

Es importante realizar una correcta evaluación estructural donde podamos medir la capacidad estructural que tengan los elementos que conforman un muelle, así como su comportamiento ante sollicitaciones dinámicas para lo cual existen una serie de análisis estáticos y dinámicos que nos permitan conocer el estado actual de la estructura.

2.10.1. Métodos de análisis y evaluación estructural

Para el análisis y evaluación del comportamiento de una estructura tenemos métodos estáticos y dinámicos tanto lineales y no lineales en el presente proyecto se trabajará con los siguientes métodos de análisis y evaluación:

- Análisis estático y dinámico lineal.
- Análisis no lineal estático.

2.10.1.1. Análisis estático y dinámico lineal

En este análisis se debe verificar que los elementos estructurales que componen la edificación cumplan con lo estipulado en las normativas vigentes de cada lugar donde se realice este tipo de análisis, para el caso de estudio se debe verificar que la estructura analizada cumpla con lo dispuesto en la norma ecuatoriana de la construcción NEC-15, es decir:

- Verificar que el periodo modal ≤ 1.3 periodo calculado con la ecuación $T = c_t h_n^\alpha$ según el apartado 6.3.3 de la NEC-SE-DS.

- Verificar si el cortante basal dinámico es mayor o igual al 80% o 85% del cortante basal estático. El porcentaje depende si la estructura es regular o irregular respectivamente según el apartado 6.2.2-B de la NEC-SE-DS.
- Verificar que los dos primeros modos de vibración sean traslacionales y el tercer modo de vibración sea traslacional – rotacional como recomendación de la dinámica estructural [24].
- Verificar que la participación de la masa dinámica sea de al menos el 90%, esto para que la frecuencia natural de la estructura se involucre dentro del análisis modal espectral según el apartado 6.2.2-E de la NEC-SE-DS.
- Verificar que la deriva inelástica sea menor al 2%, según el apartado 5.1 de la NEC-SE-DS.

2.10.1.2. Análisis estático no lineal

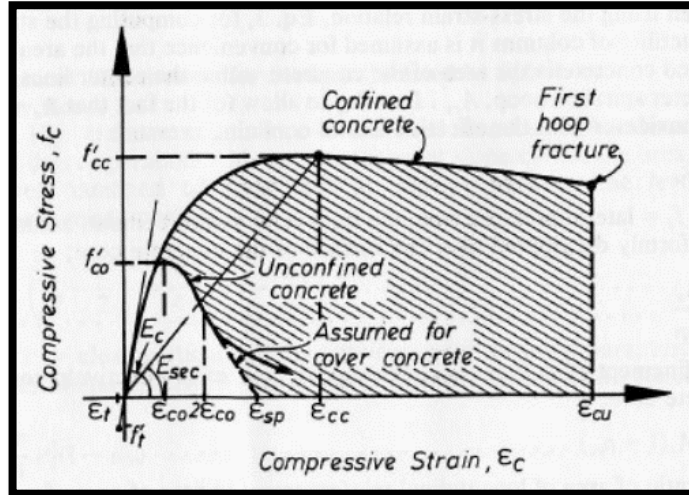
La mayoría de las edificaciones en la actualidad están diseñadas en base a análisis estáticos y dinámicos lineales, pero para garantizar que una estructura se comporte de manera adecuada ante diversas sollicitaciones sísmicas es necesario estudiar y comprender un sinnúmero de variables que influyen en el comportamiento estructural al momento de soportar la fuerza sísmica, cosa que al aplicar métodos lineales es imposible determinar debido a la imprecisión de los resultados que arrojan que estos métodos. Debido a esto los ingenieros han buscado nuevas formas para acercarse más al comportamiento real de elementos estructurales a partir de modelos matemáticos y es así como aparece el análisis estático no lineal, el cual trata de acercarse lo más posible a la realidad con respecto al comportamiento de los materiales y de la estructura en general, siendo uno de los métodos más conocidos el análisis estático no lineal de empuje incremental o pushover.

2.10.2. Modelo de Mander para el hormigón

En 1988 Mander, Park y Priestley tras varios estudios establecieron una curva de esfuerzo – deformación para hormigón, mismo que tiene su aplicación en secciones de concreto rectangulares y circulares, en este estudio se demostró que al confinar el

hormigón su resistencia a compresión aumenta junto con la capacidad que tiene para deformarse[22].

Figura 27. Diagrama esfuerzo-deformación para hormigón no confinado y confinado.

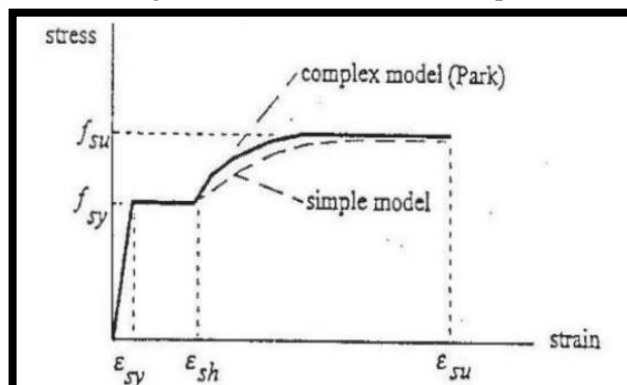


FUENTE: Mander, Park y Priestley, 1988

2.10.3. Modelo de Park - Paulay para el acero de refuerzo

En 1975 se propone el modelo de Park el cual es una aproximación del diagrama esfuerzo-deformación que sufre el acero cuando está sometido a cargas de tracción, según este modelo el diagrama se compone de algunas zonas entre las cuales se encuentran, la zona elástica, la zona de fluencia, zona plástica y punto de rotura, como se puede observar en la figura 28 [22].

Figura 28. Diagrama esfuerzo-deformación para el acero

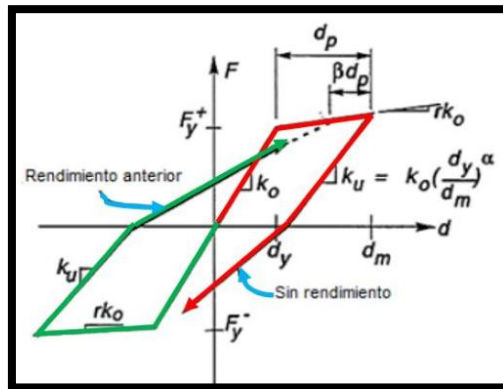


FUENTE: Mander, Paulay, 1975

2.10.4. Modelo de Takeda

En 1970 Takeda desarrolló un modelo histerético sofisticado a partir de varios ensayos realizados en hormigón armado. Este modelo incorpora cambios en la rigidez en agrietamientos por flexión, así como también el endurecimiento por deformación, esto se puede evidenciar a partir del modelo bilineal creado donde se señala una pérdida de rigidez en descarga, así como también una pérdida de rigidez en carga.

Figura 29. Modelo histerético de Takeda



FUENTE: R. Angel; M. Galarza [22]

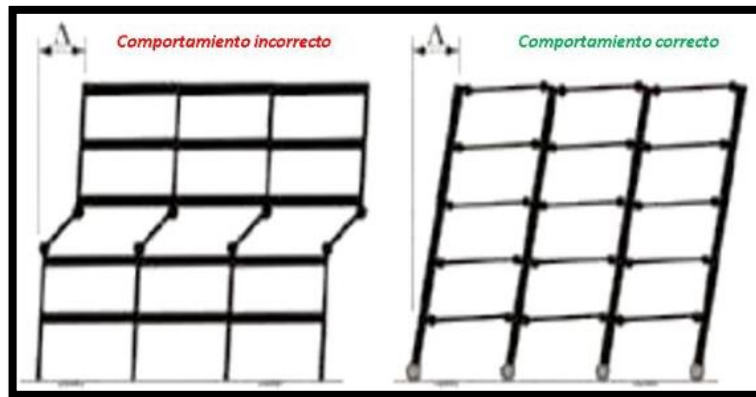
2.10.5. Rótulas plásticas

Las rótulas plásticas son mecanismos de disipación de energía que se encuentran en los diversos elementos estructurales de una edificación como vigas y columnas, gracias a la disipación energética que estas proporcionan se logra una redistribución de acciones y de esta forma mejora el comportamiento global de toda la estructura.

Su aplicación es muy importante dentro del análisis estático no lineal, debido a que este análisis requiere de una adecuada modelación de estas rótulas para poder obtener resultados adecuados respecto a la estructura que se está analizando [25].

Cuando estas rótulas plásticas se forman primero en las columnas significa que la estructura tiene una pérdida total de su capacidad, en cambio si las rótulas plásticas se forman primero en las vigas significa que la estructura tiene una excelente ductilidad.

Figura 30. Rótulas plásticas en columnas y vigas

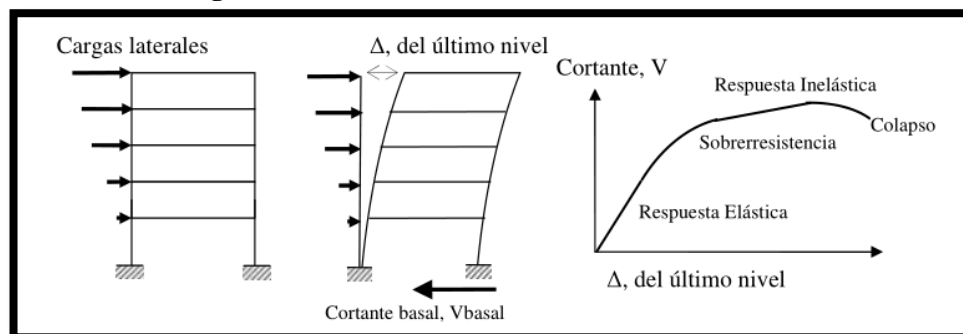


FUENTE: R. Angel; M. Galarza [22]

2.10.6. Análisis Pushover

Uno de los métodos de análisis no lineales más avanzado que se puede aplicar es el análisis no lineal dinámico, pero el esfuerzo computacional que requiere este método es mayor, por esta razón, el análisis estático no lineal (Pushover) representa el mejor equilibrio entre precisión y esfuerzo computacional y es el método de análisis generalmente utilizado para la evaluación sísmica [26]. Es por esto que el comportamiento no lineal de estructuras sometidas a excitaciones sísmicas se lo obtiene a partir de una serie de métodos que trabajan a partir de un análisis paso a paso o también denominado Pushover. Según FEMA 273 define a este análisis como una aproximación de la respuesta no lineal de una estructura cuando éste está expuesta a una carga dinámica de sismo[27].

Figura 31. Secuencia análisis PUSH OVER



FUENTE: FEMA 440

Este tipo de análisis consiste en aplicar una carga a una estructura existente tomando en cuenta la no linealidad de los materiales que componen a esta, la carga se aumenta de forma progresiva hasta lograr alcanzar un desplazamiento objetivo, o hasta que la estructura colapse bajo combinaciones de cargas impuestas, así como también la influencia de los efectos P-Delta, es decir la estructura es llevada a un punto más allá del rango elástico hasta su deformación máxima o hasta su colapso [27].

Este método tiene su fundamento en comparar espectros de demanda con espectros de capacidad mediante el cual se puede obtener un punto de desempeño estructural y de esta forma conseguir información del daño probable que pueda sufrir la estructura al aplicarse una carga dinámica (sismo); para lograr esto existe una serie de métodos propuestos tanto en las normas FEMA y ATC. Dentro de este análisis es muy importante revisar los puntos de plastificación global, así como también los puntos de colapso de la estructura analizada, gracias a la información que proporcionan dichos puntos podemos conocer datos sobre la ductilidad de la estructura [25].

2.10.7. Métodos no lineales de evaluación

2.10.7.1. Método de los coeficientes de modificación de desplazamientos

Según Aguiar R. “ El método del Coeficiente de Desplazamiento, propuesto por FEMA, Federal Emergency Management Agency, es un método que permite encontrar el desempeño sísmico en estructuras regulares en planta y elevación ”[28].

El desplazamiento objetivo que nos permite encontrar este método se obtiene al modificar el desplazamiento de un sistema elástico de un grado de libertad que equivale a un sistema no lineal de varios grados de libertad con un conjunto de coeficientes que representan factores que pueden alterar la respuesta máxima de desplazamientos [19].

El desplazamiento objetivo se obtiene mediante la fórmula:

$$\delta_t = C_0 * C_1 * C_2 * C_3 * S_a * \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad \text{Ec. 21- FEMA 440}$$

Dode:

δ_t = Desplazamiento objetivo

T_e = Periodo fundamental efectivo del edificio en la dirección considerada

C_0 = Factor que relaciona el desplazamiento de un sistema elástico de un grado de libertad que equivale a un sistema no lineal de varios grados de libertad

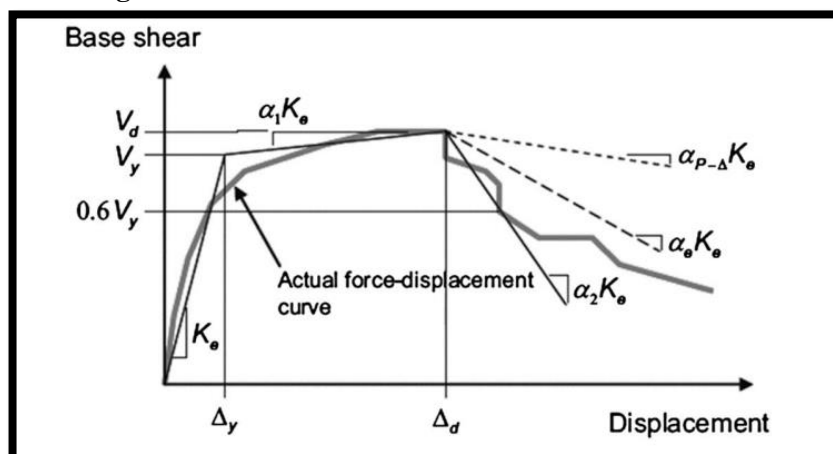
C_1 = Es un factor que relaciona el desplazamiento máximo inelástico con el desplazamiento elástico lineal calculado

C_2 = Factor que representa la forma de histéresis, degradación de la rigidez y el deterioro de la fuerza a la máxima respuesta del desplazamiento

C_3 = Factor de modificación para representar un aumento desplazamientos debidos a efectos dinámicos P- Δ .

g = Aceleración de la gravedad

Figura 32. Parámetros del método de coeficientes



FUENTE: FEMA 440

2.10.7.2. Método de espectro de capacidad por Linearización Equivalente – Método A:

El presente método integra la idealización bilineal de una curva Pushover convirtiendo un espectro de capacidad como un espectro de demanda en un espectro de respuesta de aceleraciones y desplazamientos es decir al formato ADRS [29]. Está compuesto de una serie de parámetros que permiten encontrar el desplazamiento máximo elástico del sistema los cuales son:

μ = razón de ductilidad, relaciona el desplazamiento máximo y el desplazamiento de fluencia

β_{eff} = fracción de amortiguamiento efectivo, se presenta como porcentaje del amortiguamiento crítico

Se lo calcula en función de la ductilidad μ

Para una ductilidad entre $1 < \mu < 4$ se utiliza la fórmula:

$$\beta_{eff} = 4.9 * (\mu - 1)^2 - 1.1(\mu - 1)^3 + \beta_0 \quad \text{Ec. 22– FEMA 440}$$

Para una ductilidad entre $4 < \mu < 6.5$ se utiliza la fórmula:

$$\beta_{eff} = 1.4 + 0.32(\mu - 1) + \beta_0 \quad \text{Ec. 23– FEMA 440}$$

Para una ductilidad mayor a 6.5 se utiliza la fórmula:

$$\beta_{eff} = 19 \left[\frac{10.64(\mu-1)-1}{[0.64(\mu-1)]^2} \right] \left(\frac{T_{eff}}{T_0} \right) \beta_0 \quad \text{Ec. 24– FEMA 440}$$

T_{eff} = es el periodo efectivo

De la misma forma este parámetro depende de la ductilidad μ

Para una ductilidad entre $1 < \mu < 4$ se utiliza la fórmula:

$$T_{eff} = (0.2 * (\mu - 1)^2 - 0.038(\mu - 1)^3 + 1)T_0 \quad \text{Ec. 25- FEMA 440}$$

Para una ductilidad entre $4 < \mu < 6.5$ se utiliza la fórmula:

$$T_{eff} = (0.28 + 0.13(\mu - 1) + 1)T_0 \quad \text{Ec. 26- FEMA 440}$$

Para una ductilidad mayor a 6.5 se utiliza la fórmula:

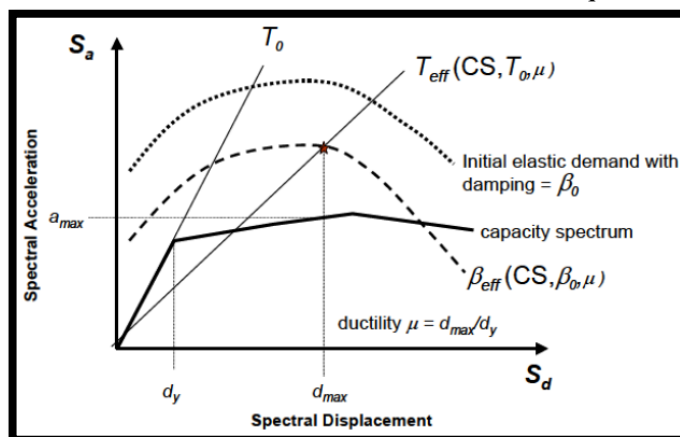
$$\beta_{eff} = (0.89 \left[\sqrt{\frac{(\mu-1)}{1+0.05(\mu-2)}} - 1 \right] + 1) T_0 \quad \text{Ec. 27- FEMA 440}$$

T_0 = Periodo inicial

$$T_0 = 2\pi\sqrt{m / k} \quad \text{Ec. 28- FEMA 440}$$

k la rigidez del sistema y m es la masa efectiva

Figura 33. Parámetros del Método A de Linearización Equivalente



FUENTE: FEMA 440

2.10.7.3. Método de espectro de capacidad por Linearización Equivalente – Método B:

Es un método muy similar al método de iteración directa, pero su diferencia radica en que el punto de desempeño de la estructura analizada se obtiene mediante la intersección de un espectro de demanda modificado o también llamado MADRS y el espectro de capacidad. Normalmente se requiere factores de reducción espectral para ajustar un espectro de respuesta inicial a un apropiado nivel de amortiguamiento efectivo y esto se obtiene al dividir las ordenadas de este espectro de respuesta para un factor M [29].

Ec. 29– FEMA 440

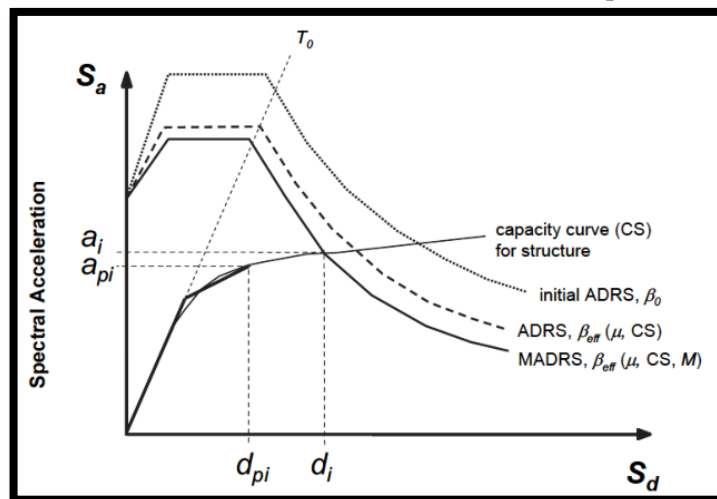
$$M = \left(\frac{T_{eff}}{T_0}\right)^2 * \left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2$$

En donde:

$$\left(\frac{T_0}{T_{sec}}\right)^2 = \frac{1 + \alpha(\mu - 1)}{\mu}$$

Ec. 30– FEMA 440

Figura 34. Parámetros del Método B de Linearización Equivalente

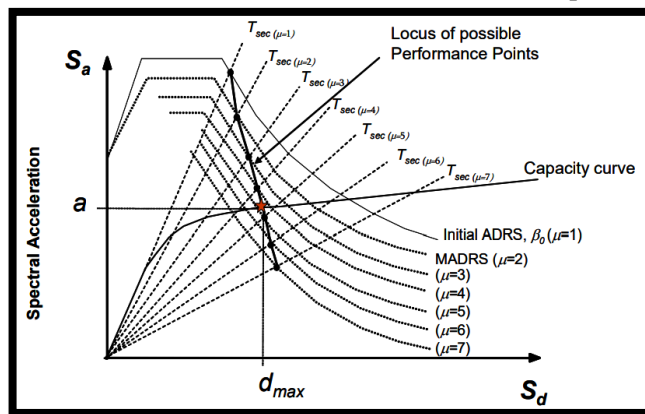


FUENTE: FEMA 440

2.10.7.4. Método de espectro de capacidad por Linearización Equivalente – Método C:

Es un método netamente gráfico. Lo que hace es usar el espectro modificado de aceleraciones para múltiples soluciones (μ , dpi) y sus correspondientes ductilidades para generar posibles puntos de desempeño. Es decir, se asumen distintos valores para μ obteniendo distintos puntos de desempeño probables. Posteriormente se unen cada uno de estos puntos de desempeño con líneas rectas, esta sucesión se la denomina Locus o lugar geométrico. El punto de desempeño real se encuentra en la intersección de este lugar geométrico y el espectro de capacidad [29].

Figura 35. Parámetros del Método C de Linearización Equivalente



FUENTE: FEMA 440

2.10.8. Desempeño estructural para muelles

El diseño basado en desempeño nació con el objetivo de superar las diversas limitaciones presentes en el diseño sísmico convencional. Lo que hace el diseño sísmico convencional es proporcionar a la estructura la capacidad de resistir una fuerza sísmica de diseño, pero no nos brinda información sobre el desempeño que tendrá esta estructura cuando se exceda el límite de equilibrio de fuerzas.

Es ahí donde entra el diseño basado en desempeño, según PINAC los muelles deben cumplir criterios que permitan satisfacer diversos objetivos tales como:

- Permitir que el proyecto continúe operativo después de sufrir un embate sísmico.
- Ahorrar los costos de reparación ocasionados luego de un sismo.
- Salvar las vidas de los usuarios del proyecto.

Según PINAC se utiliza dos tipos de sismos como referencia para diseño por desempeño los cuales son:

- Un sismo probable que pueda ocurrir durante la vida útil de la estructura (L1).
- Un sismo catalogado como raro (L2).

Los niveles de daño que sugiere el diseño por desempeño según PINAC se dan en función de las necesidades que tienen los propietarios de la estructura, es decir la categoría de daño se elige en función del tiempo y cantidad de trabajo que se necesite para restaurar la operatividad de la estructura después de un movimiento sísmico como se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 23. Niveles de daño aceptables

NIVEL ACEPTABLE DE DAÑO BASADO EN DESEMPEÑO		
NIVEL DE DAÑO	DAÑO ESPERADO	OPERACIONAL
NIVEL 1 SERVICIO	DAÑOS PEQUEÑOS O NULOS	PÉRDIDA MÍNIMA O NULA DE CAPACIDAD DE SERVICIO
NIVEL 2 REPARABLE	DAÑO CONTROLADO	PÉRDIDA DE CAPACIDAD DE SERVICIO A CORTO PLAZO
NIVEL 3 CERCA DEL COLAPSO	DAÑOS EXTENSOS CERCANOS AL COLAPSO	PÉRDIDA DE CAPACIDAD COMPLETA O A LARGO PLAZO
NIVEL 4 COLAPSO	PÉRDIDA TOTAL DE LA ESTRUCTURA	PÉRDIDA TOTAL DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO

FUENTE: PINAC

Una vez que hayamos identificado el tipo de sismo en el que se va a analizar el muelle, así como también el nivel de daño aceptable, el desempeño requerido de la estructura se especifica mediante el grado de desempeño apropiado según lo estipulado en la Tabla 19.

Tabla 24. Grado de desempeño de un muelle

GRADO	TERREMOTO DE DISEÑO	
	L1	L2
S	Nv.1 SERVICIO	Nv.1 SERVICIO
A	Nv.1 SERVICIO	Nv.2 REPARABLE
B	Nv.1 SERVICIO	Nv.3 CERCA DEL COLAPSO
C	Nv.2 REPARABLE	Nv.4 COLAPSO

FUENTE: PINAC

Se debe tomar en cuenta que las obras portuarias al prestar servicios de transporte marítimo también pueden servir como estructuras que brindan protección de vidas humanas, bases de emergencia y a menudo como protección contra derrames de materiales peligrosos. Debido a esto se debe optar por diseñar este tipo de estructuras para que presenten la menor cantidad de daño posible ante una eventualidad sísmica y que esto permita restaurar su capacidad operativa de manera rápida.

Los niveles de desempeño antes mencionado guardan su relación con los niveles de desempeño propuestos por FEMA 356, el mismo que define cuatro niveles de desempeño:

Tabla 25. Niveles de desempeño VISIÓN 2000

<u>NIVELES DE DESEMPEÑO VISIÓN 2000</u>		
	NIVEL DE DAÑO ESPERADO	OPERACION
1A OPERACIONAL	NO HAY DAÑO ESTRUCTURAL	EDIFICIO SEGURO DE OCUPAR
1B OCUPACIÓN INMEDIATA	DAÑO ESTRUCTURAL MENOR	EDIFICIO SEGURO DE OCUPAR Y LAS REPARACIONES SON PEQUEÑAS
3C SEGURIDAD DE VIDA	DAÑOS IMPORTANTES EN COMPONENTES ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES	EDIFICIO NO ES SEGURO PARA SU OCUPACION INMEDIATA Y LOS COSTOS DE REPARACION SON COSTOSOS
5E PREVENCIÓN DE COLAPSO	DAÑO ESTRUCTURAL GRAVE	EDIFICIO NO ES SEGURO PARA SU OCUPACION PÉRDIDA ECONÓMICA COMPLETA

FUENTE: Visión 2000

2.11. Hipótesis

El muelle de servicio impactado por el buque MN HUALCOPO puede no cumplir con las exigencias de las actuales normativas, así como también por los daños que presenta puede tener un incorrecto desempeño estructural poniendo en riesgo la integridad de sus usuarios.

3. CAPITULO III: METODOLOGÍA

3.1. MATERIALES Y EQUIPOS


3.1.1. Materiales

- Información bibliográfica: normas, artículos, libros, etc.
- Materiales de oficina como: hojas de papel, esferos, lápices, borradores, etc.

3.1.2. Equipos

3.1.2.1. Computadora


Tabla 26. Especificaciones del computador

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	Modelo: Dell Vostro 15 3578 Procesador: Intel Core i7 8va Gen. Sistema Operativo: Microsoft Windows 10 RAM: 16 GB Graficos: AMD Radeon 520 - 2GB

Fuente: Frías Córdova Christian

3.1.2.2. Cámara fotográfica


Tabla 27. Especificaciones de la cámara fotográfica

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	Modelo: Iphone XR Procesador: A12 Bionic Sistema Operativo: iOS 15 Cámara: 12 Mpx f 2/2 Graficos: GPU Apple 4 núcleos

Fuente: Frías Córdova Christian

3.1.2.3. Dron

Tabla 28. Especificaciones del dron


	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	Dimensiones: 91x214x84 mm Peso: 907 gr Altura máxima de vuelo: 6000 m.s.m. Batería: 31 min Cámara: Hasseblad Sensor 1" CMOS 20MP

Fuente: Frías Córdova Christian

3.1.2.4. Martillo esclerométrico

El esclerómetro es un equipo utilizado para realizar el ensayo esclerométrico mismo que mide la dureza de una superficie lisa de concreto mediante la lectura del número de rebotes, con lo cual se puede estimar la resistencia del concreto del elemento estructural analizado [13].

Tabla 29. Especificaciones del esclerómetro

	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
	<p>Energía de impacto: 2.207 Nm (N) Rango de resistencia a compresión: 20-150MPa Memoria: 400 series de 10 repeticiones Pantalla: Pantalla digital integrada Modelo: PROCEQ Voltaje: 110V</p>

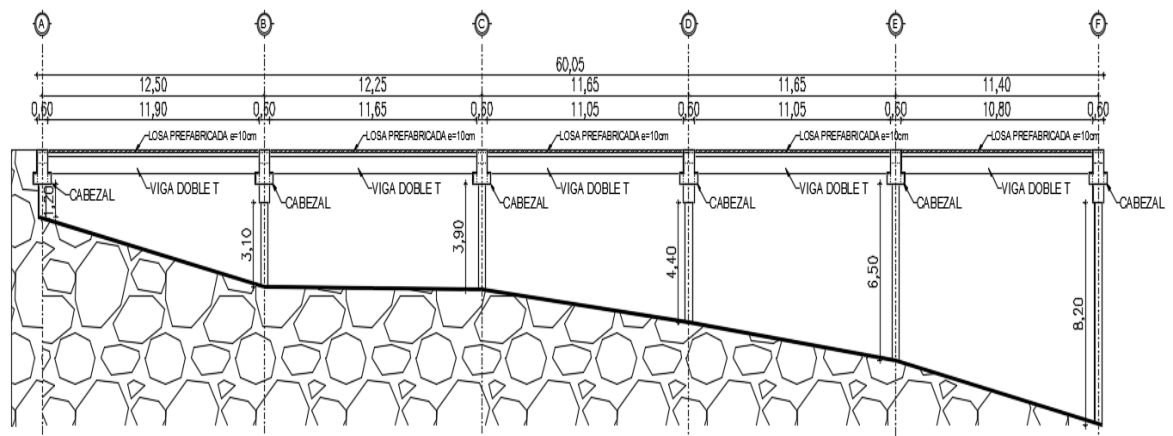
Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.RECOLECCIÓN DE DATOS

3.2.1. Planos del muelle

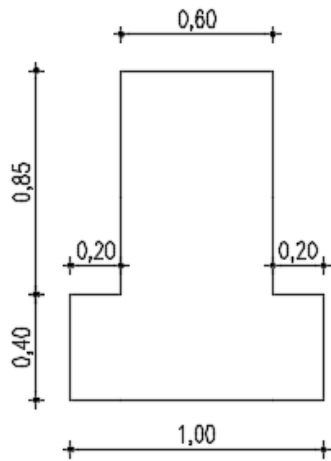
Planos arquitectónicos

Figura 36. Vista lateral del muelle

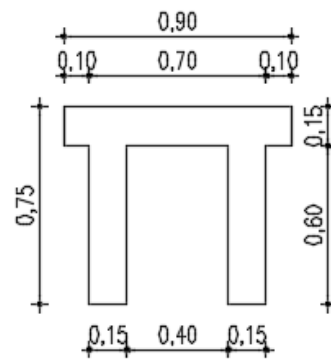


Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 37. Dimensiones viga T invertida y vigas doble T



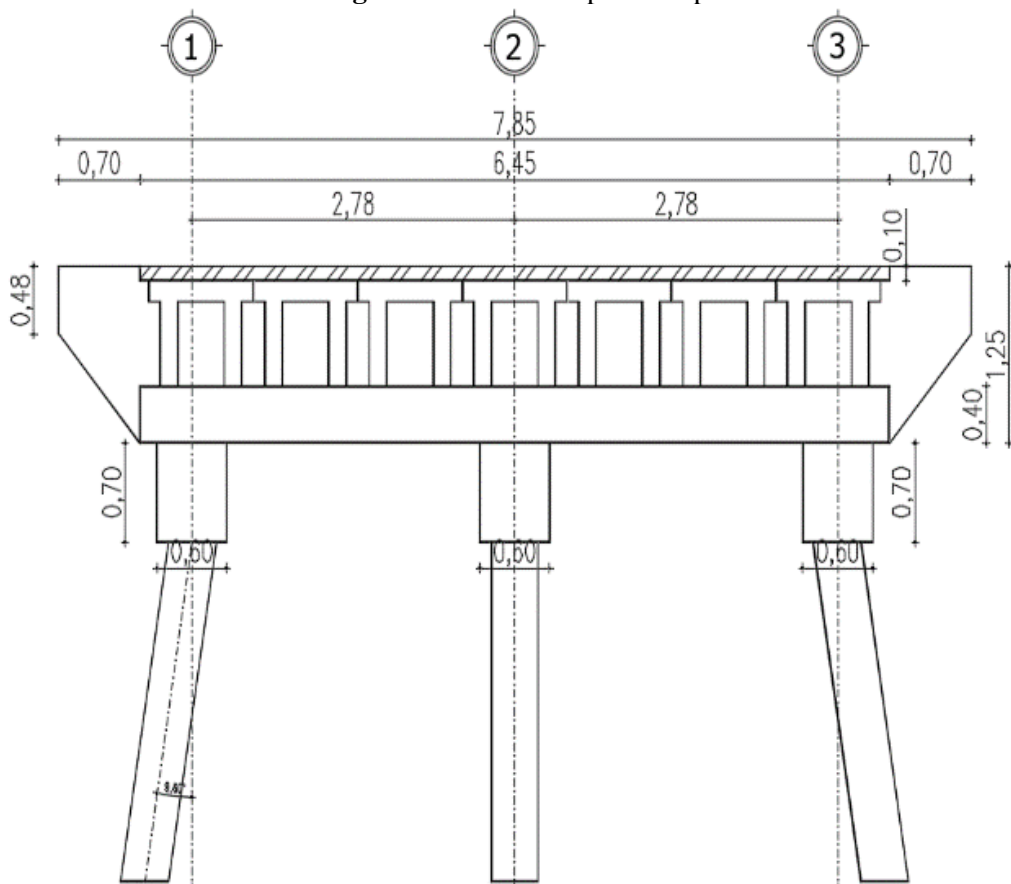
DETALLE CABEZAL
CABEZAL



DETALLE VIGA DOBLE T

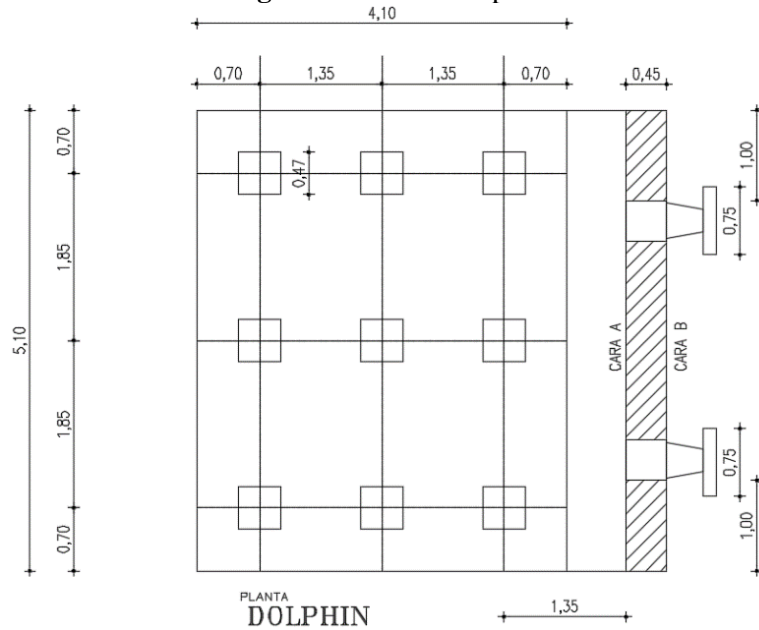
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 38. Elevación pórtico tipo



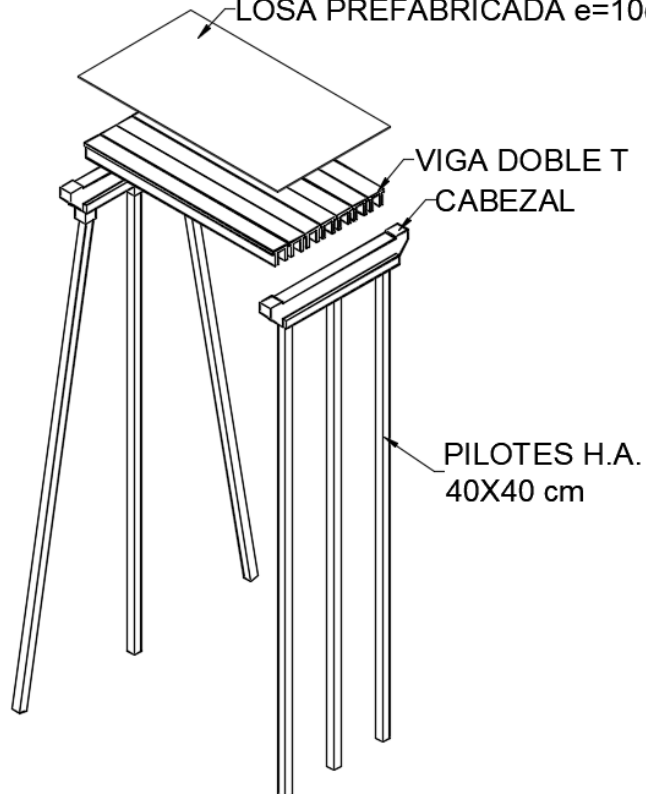
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 39. Planta Dolphin



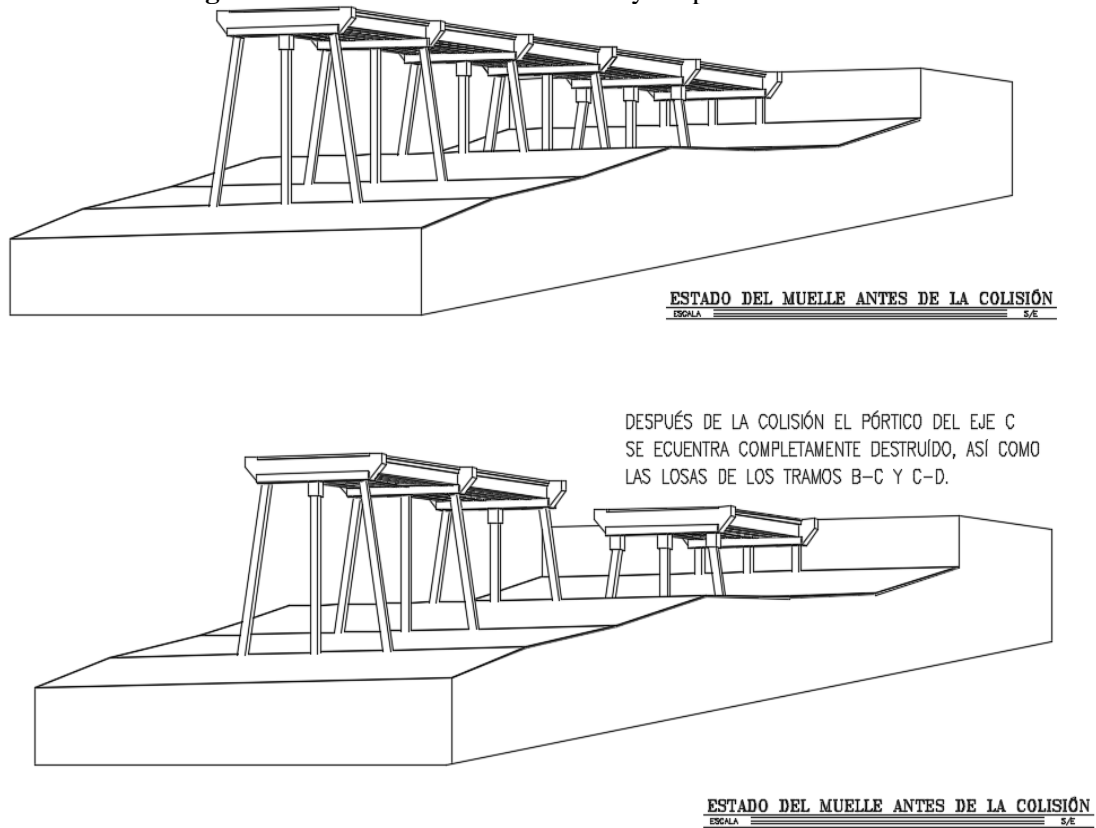
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 40. Isometría tramo inicial del muelle
LOSA PREFABRICADA e=10cm



Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 41. Isometría del muelle antes y después de la colisión

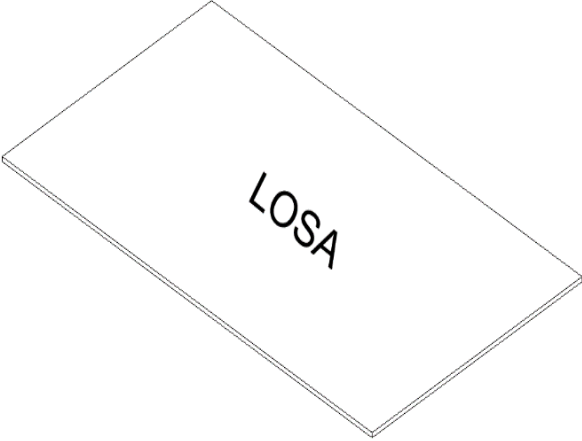


Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.2. Resistencia a compresión del hormigón

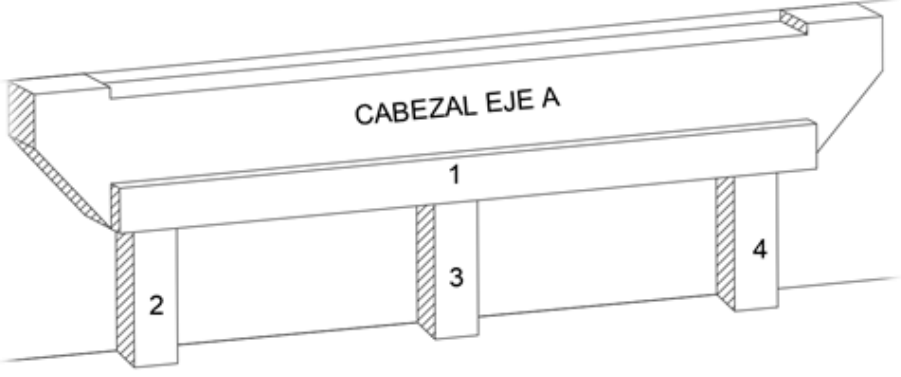
En base a los ensayos esclerómetros realizados en diferentes puntos de la estructura se obtuvieron los siguientes resultados que nos dan una idea acerca de la resistencia que tienen dichos elementos luego del impacto, se tomó un total de 10 lecturas en cada punto analizado siguiendo los lineamientos propuestos por la norma ASTM C805 descritos en el capítulo anterior.

Tabla 30. Ensayo esclerométrico losas

					
VIGA DOBLE T - 1			VIGA DOBLE T - 2		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	53.5	317	1	48.0	298
2	54.0		2	51.5	
3	51.5		3	49.0	
4	52.0		4	55.5	
5	53.0		5	52.0	
6	55.5		6	55.0	
7	57.0		7	54.4	
8	58.5		8	57.0	
9	58.0		9	56.0	
10	57.0		10	58.5	
PROMEDIO	55.0		PROMEDIO	53.7	

Fuente: Frías Córdova Christian

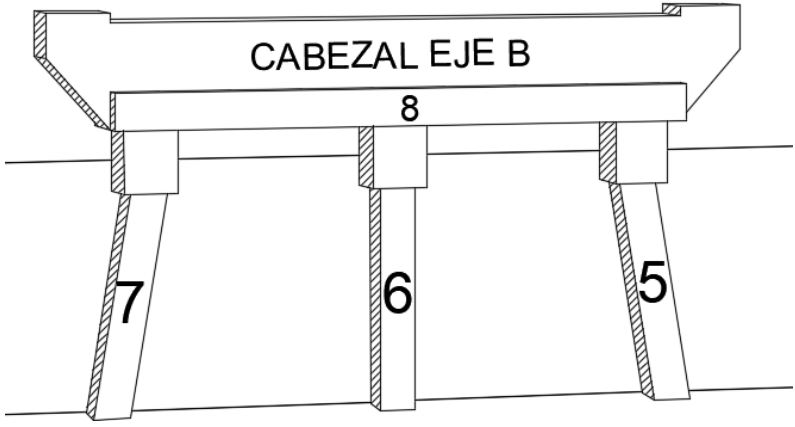
Tabla 31. Ensayo esclerométrico cabezal Eje A



ELEMENTO 1			ELEMENTO 2		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	63.0	375	1	58.0	320
2	59.5		2	59.5	
3	60.0		3	52.0	
4	63.0		4	51.5	
5	54.0		5	51.5	
6	58.0		6	56.0	
7	57.5		7	53.5	
8	59.0		8	50.0	
9	53.0		9	61.0	
10	56.5		10	58.9	
PROMEDIO	58.4		PROMEDIO	55.2	
ELEMENTO 3			ELEMENTO 4		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	52.5	260	1	52.0	265
2	54.0		2	53.0	
3	51.0		3	53.0	
4	50.5		4	51.5	
5	54.0		5	46.0	
6	50.5		6	45.5	
7	51.0		7	54.5	
8	44.5		8	47.0	
9	47.5		9	55.5	
10	54.0		10	55.0	
PROMEDIO	51.0		PROMEDIO	51.3	

Fuente: Frías Córdova Christian

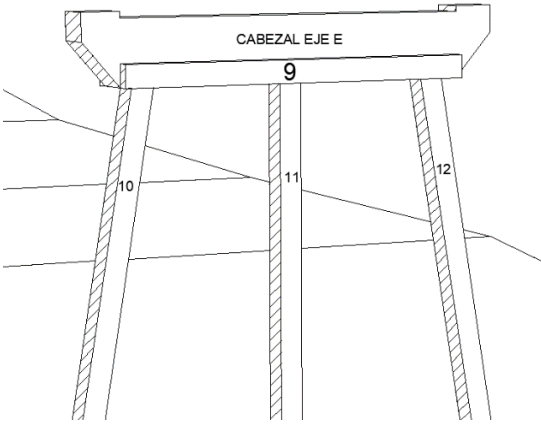
Tabla 32. Ensayo esclerométrico cabezal Eje B



ELEMENTO 5			ELEMENTO 6		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	44.5	145	1	39.5	165
2	37.5		2	38.0	
3	40.3		3	39.5	
4	39.5		4	46.0	
5	33.0		5	36.0	
6	33.0		6	39.5	
7	45.0		7	45.5	
8	36.0		8	37.5	
9	39.0		9	47.0	
10	40.0		10	44.5	
PROMEDIO	38.8		PROMEDIO	41.3	
ELEMENTO 7			ELEMENTO 8		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	36.0	127	1	64.0	485
2	38.5		2	66.0	
3	33.5		3	66.0	
4	33.0		4	69.0	
5	35.5		5	60.5	
6	37.0		6	60.6	
7	35.5		7	60.5	
8	34.5		8	66.5	
9	40.0		9	64.5	
10	32.0		10	61.5	
PROMEDIO	35.6		PROMEDIO	63.9	

Fuente: Frías Córdova Christian

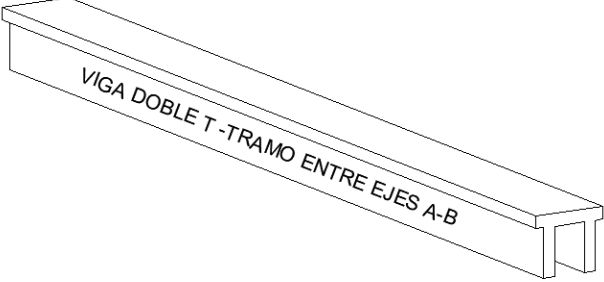
Tabla 33. Ensayo esclerométrico cabezal Eje E



ELEMENTO 9			ELEMENTO 10		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	61.0	415	1	56.0	373
2	61.0		2	60.5	
3	59.0		3	57.0	
4	63.0		4	60.0	
5	60.5		5	58.0	
6	61.0		6	61.0	
7	55.0		7	55.5	
8	64.0		8	63.0	
9	63.5		9	57.0	
10	58.0		10	56.0	
PROMEDIO	60.6		PROMEDIO	58.4	
ELEMENTO 11			ELEMENTO 12		
PUNTO	NÚMERO DE LA DUREZA	RESISTENCIA (kg/cm ²)	PUNTO	NÚMERO DE LA DUREZA	RESISTENCIA (kg/cm ²)
1	59.0	361	1	59.0	351
2	52.5		2	58.5	
3	57.0		3	54.0	
4	54.0		4	60.0	
5	60.5		5	56.0	
6	57.0		6	55.5	
7	61.0		7	53.5	
8	55.0		8	62.0	
9	59.0		9	55.5	
10	61.5		10	57.0	
PROMEDIO	57.7		PROMEDIO	57.1	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 34. Ensayo esclerométrico vigas doble T



VIGA DOBLE T - 1			VIGA DOBLE T - 2		
PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm2)	PUNTO	ÍDICE DE REBOTE Q	RESISTENCIA (kg/cm2)
1	49.0	272	1	48.0	291
2	51.0		2	51.5	
3	49.0		3	48.5	
4	54.5		4	55.5	
5	54.0		5	54.0	
6	52.0		6	55.0	
7	48.5		7	54.4	
8	53.0		8	53.0	
9	53.0		9	56.0	
10	54.0		10	56.0	
PROMEDIO	51.8		PROMEDIO	53.2	

Fuente: Frías Córdova Christian

Para determinar si los datos obtenidos durante el ensayo son correctos la norma ASTM C805 indica que de los 10 golpes realizados en cada ensayo se debe obtener una media de estos valores.

De la misma forma se debe identificar el valor máximo y el valor mínimo del grupo de los 10 valores, luego se debe calcular el error existente entre estos valores y la media calculada anteriormente, si los dos valores exceden en 6 unidades la muestra tomada en el ensayo no es válida [30].

Para esta validación se utilizará los datos del elemento 1, el proceso es el mismo para el resto de los elementos estructurales que componen el muelle.

$$Med. Q = \frac{\sum_{i=1}^n (\#golpes i)}{n} \quad \text{Ec. 24}$$

$$Med. Q = \frac{63.0 + 59.5 + 60.0 + 63.0 + 54.0 + 58.0 + 57.5 + 59.0 + 53.0 + 56.5}{10}$$

$$Med. Q = 58.40$$

A continuación, se calcula el error para validar la resistencia a compresión del concreto.

$$E \max = Valor \text{ máximo} - Med. Q \quad \text{Ec. 25}$$

$$E \max = 63.0 - 58.40$$

$$E \max = 4.60$$

$$E \min = Valor \text{ min} - Med. Q$$

$$E \min = 53.0 - 58.40$$

$$E \min = -5.4$$

Como se puede observar ambos datos están por debajo de las ± 6 unidades por lo tanto la muestra tomada es correcta.

Para tener la resistencia a compresión del hormigón de cada elemento estructural se determinó la media aritmética de cada uno de los conjuntos de datos pertenecientes a cada elemento estructural del muelle.

Primero se calculó la resistencia para las losas.

$$f'c = \frac{317 + 298}{2}$$

$$f'c = 307Kg/cm^2$$

Se obtiene resistencia para los pilotes del eje A

$$f'c = \frac{320 + 260 + 265}{3}$$

$$f'c = 281.67Kg/cm^2$$

$$f'c = 281Kg/cm2$$

Se calcula la resistencia de los pilotes de los tramos B y D.

$$f'c = \frac{145 + 165 + 127}{3}$$

$$f'c = 145.67Kg/cm2$$

$$f'c = 145Kg/cm2$$

Se obtiene la resistencia de los pilotes de los tramos E y F.

$$f'c = \frac{373 + 361 + 351}{3}$$

$$f'c = 361.67Kg/cm2$$

$$f'c = 361Kg/cm2$$

Se calcula la resistencia para los cabezales de todos los tramos

$$f'c = \frac{485 + 415 + 375}{3}$$

$$f'c = 425Kg/cm2$$

Por último, se calcula la resistencia de las vigas doble T.

$$f'c = \frac{272 + 291}{2}$$

$$f'c = 281.5Kg/cm2$$

$$f'c = 281Kg/cm2$$

Tabla 35. Resumen de resistencias de elementos estructurales

RESISTENCIAS ACTUALES		RESISTENCIAS ANTIGUAS	
Elemento estructural	Resistencia a compresión	Elemento estructural	Resistencia a compresión
Losas	307 Kg/cm2	Pilotes	370 Kg/cm2
Pilotes Ej. A	281 Kg/cm2	Vigas Doble T	350 Kg/cm2
Pilotes Ej. B,D	145 Kg/cm2	Vigas T inv.	450 Kg/cm2
Pilotes Ej. E,F	361 Kg/cm2	Losa	315 Kg/cm2
Vigas T inv.	425 Kg/cm2		
Vigas Doble T	281 Kg/cm2		

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.3. Acero de refuerzo

Al no disponer de planos estructurales completos de muelles tanto para la viga T invertida como para las vigas doble T que componen la estructura se asumió cuantías de acero mínimas cuyo cálculo se detalla a continuación.

$$A_s = \rho b d \quad \text{Ec. 26-ACI318}$$

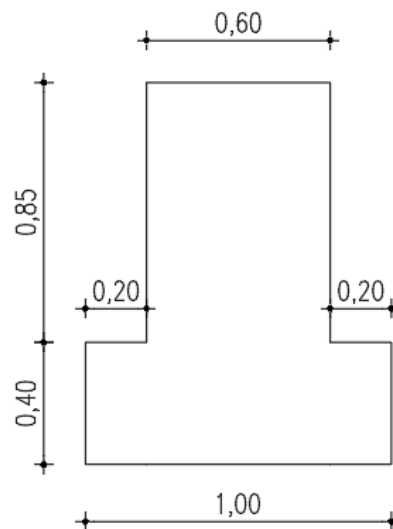
$$\rho = \frac{A_s}{b d} \quad \text{Ec. 27-ACI318}$$

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \quad \text{Ec. 28-ACI318}$$

$$\rho = \rho_{min} \quad \text{Ec. 29-ACI318}$$

3.2.3.1. Viga T invertida

Figura 42. Viga T invertida



DETALLE CABEZAL

Fuente: Frías Córdova Christian

$$\frac{A_s}{b d} = \frac{14}{f_y}$$

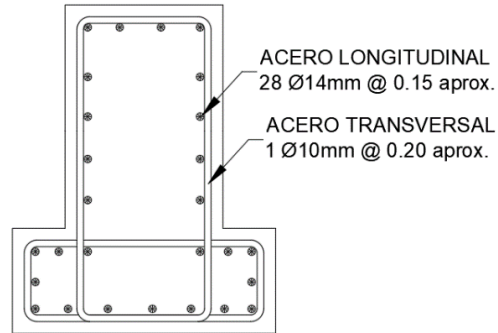
$$\frac{A_{s \text{ min}}}{A_{\text{cabezal}}} = \frac{14}{f_y}$$

$$\frac{A_{s \text{ min}}}{8400 \text{ cm}^2} = \frac{14}{2800 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$As_{min} = \frac{14}{2800 \frac{Kg}{cm^2}} \times 8400 cm^2$$

$$As_{min} = 42 cm^2$$

Figura 43. Armado Viga Cabezal



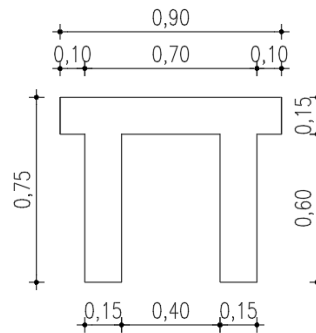
ARMADO VIGA T INVERTIDA

Fuente: Frías Córdova Christian

28 Ø 14 mm

3.2.3.2. Viga doble T

Figura 44. Viga Doble T



DETALLE VIGA DOBLE T

Fuente: Frías Córdova Christian

$$\frac{As}{bd} = \frac{14}{fy}$$

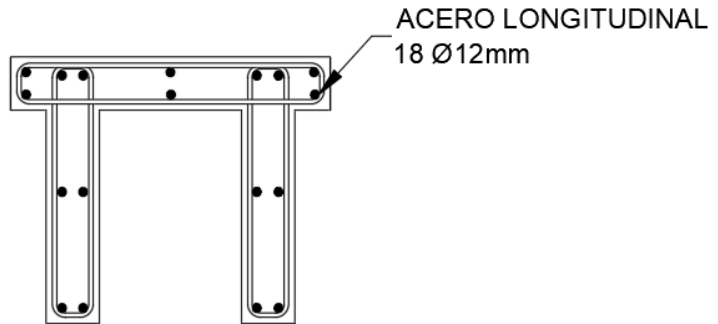
$$\frac{As_{min}}{A_{cabezal}} = \frac{14}{fy}$$

$$\frac{As_{min}}{3060 \text{ cm}^2} = \frac{14}{2800 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}}$$

$$As_{min} = \frac{14}{2800 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2}} \times 3060 \text{ cm}^2$$

$$As_{min} = 15.30 \text{ cm}^2$$

Figura 45. Viga Doble T



ARMADO VIGA DOBLE T

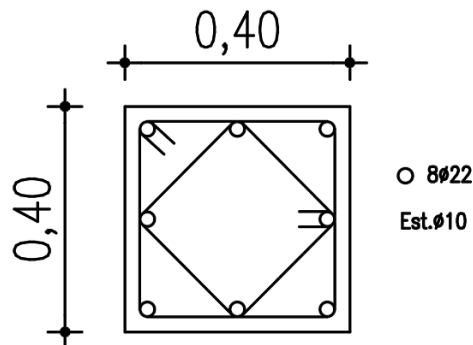
Fuente: Frías Córdova Christian

18 Ø 12 mm

PILOTES

Al existir los planos estructurales del armado de los pilotes se adoptará dichos armados para este estudio.

Figura 46. Armado de Pilotes



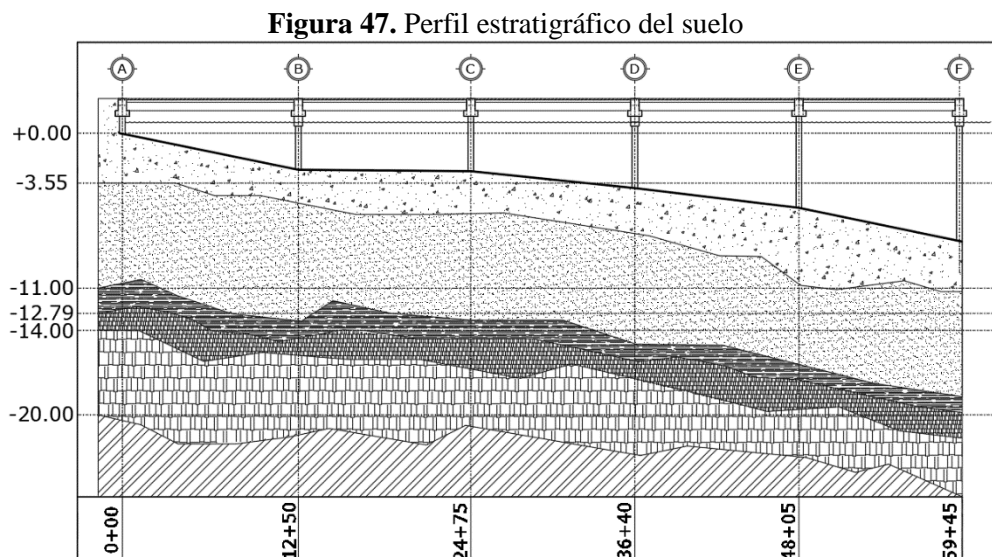
Fuente: Frías Córdova Christian

LOSA

la losa que se utilizó durante la construcción del muelle tiene un espesor de 10 cm con una malla electrosoldada de $\varnothing \frac{1}{4} @ 20\text{cm}$.

3.2.4. Tipo de Suelo

El perfil estratigráfico del suelo sobre el cual está cimentado el muelle de servicio en estudio se elaboró gracias a los datos de estudios de suelo proporcionados por la Marina del Ecuador, según el estudio proporcionado el primer estrato (3.55 m) está conformado por grava limosa, seguida de otro estrato (7.45 m) de arena limosa, posteriormente está una capa (1.50 m) de limo y (1.50 m) de arcilla, finalmente se tiene un estrato (6.00 m) de arena limosa. El número de golpes promedio del ensayo S.P.T. realizado es de 5.



Fuente: Frías Córdova Christian

Gracias a estos datos podemos saber en qué tipo de suelo está asentado el muelle de servicio con este fin determinamos primero la velocidad de la onda de corte el cual es el parámetro más importante que representa la rigidez que tienen las capas del suelo[31], para lo cual los investigadores Kirar, Maheshwari y Muley, propusieron una correlación entre la cantidad de golpes obtenidos en la prueba de penetración estándar SPT y la velocidad de onda de corte V_s mediante las siguientes fórmulas:

Tabla 36. Fórmulas de para obtener la velocidad de onda de corte
TIPO DE SUELO *FÓRMULA (m/s)*

<i>Arcilloso</i>	$v_s = 94.4 * N^{0.379}$
<i>Arenoso</i>	$v_s = 100.3 * N^{0.338}$
<i>Todo tipo de suelo</i>	$v_s = 99.5 * N^{0.345}$

Fuente: Kirar, Maheshwari, Muley [31]

Aplicando las fórmulas se determinó que la velocidad de la onda de corte del terreno donde está asentado el muelle en estudio es de 173.73 (m/s).

Una vez obtenida la velocidad de onda de corte se identifica el tipo de suelo según la tabla para clasificación de perfiles de suelo que nos proporciona la NEC-15.

Tabla 37. Caracterización del tipo de suelo NEC_SE_DS

E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180$ m/s
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 $w \geq 40\%$ $S_u < 50$ kPa

Fuente: NEC_SE_DS

Como el valor obtenido se encuentra dentro del rango de $V_s < 180$ m/s y de la misma forma el número de golpes obtenido en el ensayo S.P.T. es menor a 15 golpes, podemos inferir que el tipo de suelo analizado es un suelo E.

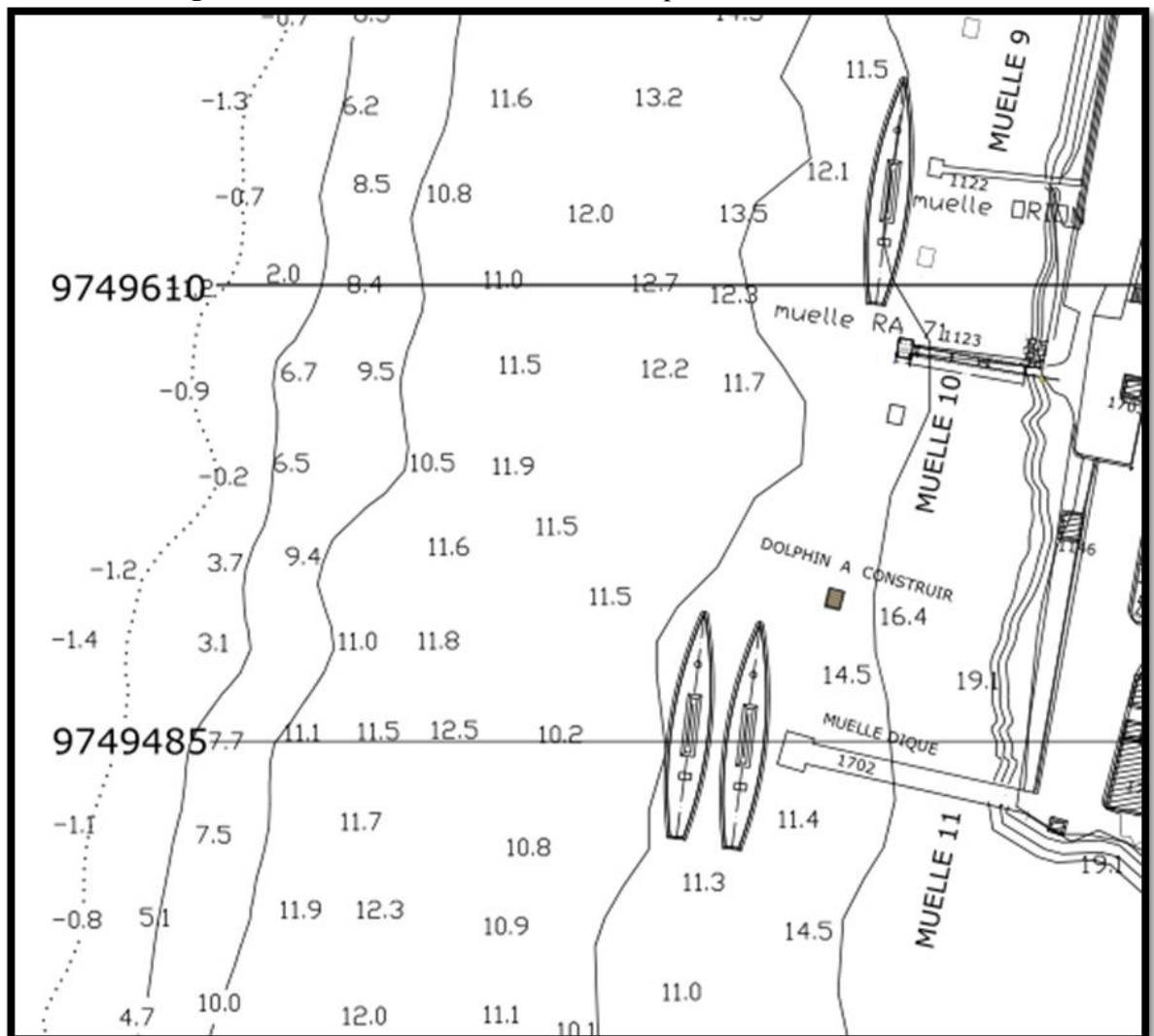
3.2.5. Perfil del suelo

Dentro de este tipo de estudio es muy importante conocer el relieve de la superficie subacuática, para este fin se utiliza la batimetría la cual consiste en encontrar las coordenadas en los sentidos (X,Y,Z), de tal forma que se pueda describir los fondos marinos así como también las anomalías que existan estos [32]. Para esto es necesario

utilizar embarcaciones con sistemas que absorban la vibración del motor y así poder tener datos más exactos y confiables.

Gracias a los datos de los estudios batimétricos realizados por la Armada del Ecuador en la zona donde se ubica el muelle se pudo determinar la forma del perfil del lecho marino del río para posteriores cálculos.

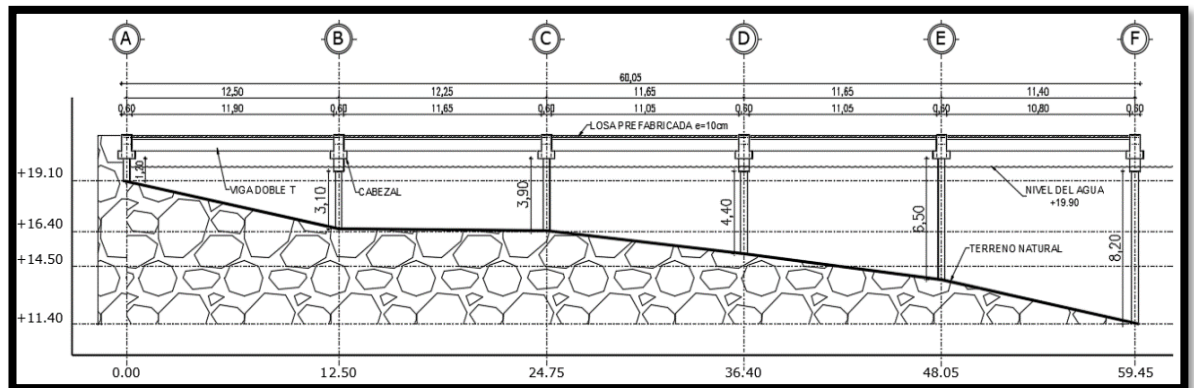
Figura 48. Batimetría del área donde se emplaza el muelle N°11



Fuente: Armada del Ecuador

Con estos datos se procedió a modelar el perfil del suelo en el lugar donde se encuentra implantado el muelle en estudio, en este caso sería el muelle número 11.

Figura 49. Perfil transversal donde se emplaza el muelle



Fuente: Armada del Ecuador

3.2.6. Datos del buque

En la tabla 38 se muestran los datos de la embarcación que colisionó contra el muelle de servicio, estos datos nos permitirán calcular la fuerza de impacto del buque contra el muelle.

Tabla 38. Datos de la embarcación



DATOS DEL BUQUE		
Tonelaje de peso muerto (ton)	TPM:	1852.81
Desplazamiento del buque a plena carga	Dpc:	3025
Eslora (m)	L:	98
Manga (m)	B:	16
Calado (m)	D1:	5.50
Capacidad de diésel (Gal)	CD:	190000
Puntal (m)	P:	7.27
Densidad del agua de mar (ton/m ³)	ρ_m :	1.029



Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.7. Función del muelle

El muelle de servicio propiedad de la empresa ASTINAVE EP, tiene como principal función recibir, atacar y dar mantenimiento a las embarcaciones pertenecientes a la Marina del Ecuador, así como también a embarcaciones incautadas durante los patrullajes realizados por la Marina, este muelle, no está diseñado para tareas de carga y descarga de contenedores y ningún otro tipo de actividad comercial. Las maniobras de atraque de las embarcaciones en el muelle se realizan exclusivamente por profesionales debidamente preparados para ejecutar este tipo de operaciones.

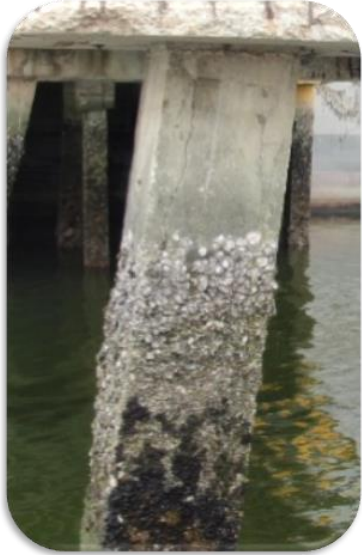

3.2.8. Condiciones de los elementos estructurales del muelle de servicio

Tabla 39. Estado de los pilotes ubicados en el eje A

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTES EJE A	
	FOTOGRAFÍA	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- SE PRESENTAN FISURAS Y MICROFISURAS EN LOS TRES PILOTES QUE COMPONEN EL PÓRTICO. 2.- HAY PRESENCIA DE GRIETAS HORIZONTALES EN LA UNIÓN PILOTE - VIGA CABEZAL 3.- SE EVIDENCIA PRESENCIA DE CARBONATACIÓN 4.- EXISTE LA FORMACIÓN DE POROS EN LOS TRES PILOTES DEL EJE A. 5.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS
	<p>ESQUEMA DE FISURAS</p> 	



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 40. Estado de los pilotes ubicados en el eje D

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO DERECHO EJE D	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE LA PRESENCIA DE UNA FISURA HORIZONTAL EN LA UNIÓN DEL PILOTES Y LA VIGA CABEZAL. 2.- EXISTEN FISURAS PARALELAS AL ACERO DE REFUERZO Y VARIAS MICROFISURAS A LO LARGO DEL PILOTE. 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 41. Estado de los pilotes ubicados en el eje D

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE D	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EL PILOTE PRESENTA GRAVES DAÑOS EN LA PARTE SUPERIOR (UNIÓN VIGA CABEZAL-PILOTE) 2.- SE EVIDENCIA GRIETAS PARALELAS AL REFIERZO LONGITUDINAL 3.- EXISTE DESPRENDIMIENTO DEL RECIBRIMIENTO DEJANDO EXPUESTO EL ACERO. 4.- EL ACERO DE REFUERZO EN EL NUDO POSEE UNA CORROSIÓN AVANZADA DEBIDO A LA EXPOSICIÓN CON EL AMBIENTE 5.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 42. Estado de los pilotes ubicados en el eje D

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE VERTICAL EJE D	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE LA PRESENCIA DE FISURAS VERTICALES EN LA UNIÓN VIGA CABEZAL - PILOTE. 2.-EXISTEN MICROFISURAS EN TODA LA LONGITUD DEL PILOTE. 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS 4.- EXSITE GRAN CANTIDAD DE POROS A LO LARGO DEL PILOTE.


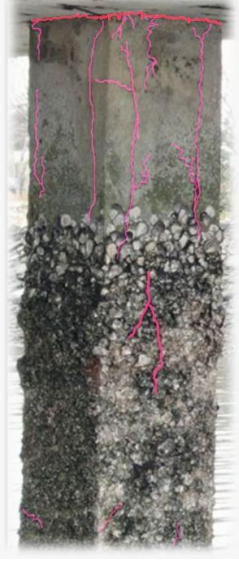
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 43. Estado de los pilotes ubicados en el eje E

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE E	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE UN GRAN CANTIDAD DE FISURAS PARALELAS AL ACERO DE REFIERZO. 2.- LAS MICROFISURAS SE EXTIENDEN A LO LARGO DE TODO EL PILOTE. 3.-HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS


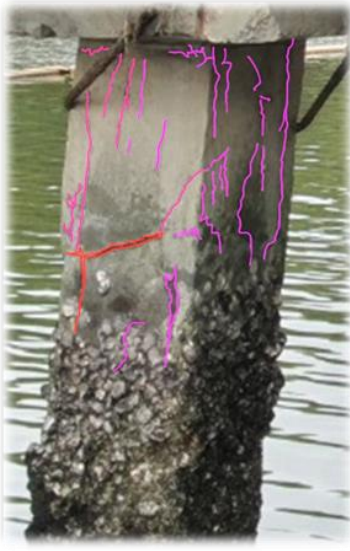
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 44. Estado de los pilotes ubicados en el eje E

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE VERTICAL EJE E	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- ESISTE LA PRESENCIA DE FISURAS EN SU MAYORIA PARALELAS AL REFUERZO LONGITUDINAL EN LA UNIÓN VIGA COLUMNA. 2.- LAS MICROFISURAS SE EXTIENDEN A LO LARGO DE TODO EL PILOTE. 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 45. Estado de los pilotes ubicados en el eje E

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO DERECHO EJE E	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- SE PRESENTA FISURACIÓN EXCESIVA PARALELA AL REFUERZO HORIZONTAL EN LA ZONA DE UNIÓN VIGA CABEZAL - PILOTE. 2.- EXISTE AGRIETAMIENTO HORIZONTAL 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 46. Estado de los pilotes ubicados en el eje E

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO DERECHO EJE E	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- SE PRESENTA FISURACIÓN EXCESIVA PARALELA AL REFUERZO HORIZONTAL EN LA ZONA DE UNIÓN VIGA CABEZAL - PILOTE. 2.- EXISTE AGRIETAMIENTO VERTICAL EN LA UNIÓN VIGA CABEZAL - PILOTE. 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 47. Estado de los pilotes ubicados en el eje F

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE F	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE LA PRESENCIA DE GRIETAS PARALELAS AL ACERO DE REFUERZO LONGITUDINAL EN LA UNIÓN PILOTE-VIGA CABEZAL PRODUCTO DE LA ALTA CONCENTRACIÓN DE ESFUERZOS PRESENTADA DURANTE EL IMPACTO DEL NAVÍO. 2.- EL PILOTE PRESENTA DESPRENDIMIENTOS DEL RECUBRIMIENTO. 3.- EXISTE LA PRESENCIA DE VARIAS FISURAS Y MICROFISURAS A LO LARGO DE TODO EL PILOTE 4.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 48. Estado de los pilotes ubicados en el eje F

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE F	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EL PILOTE VERTICAL SE ENCUENTRA DEFORMADO, NO ESTÁ ALINEADO CON SU EJE VERTICAL. 2.- EXISTE LA PRESENCIA DE GRIETAS UNA HORIZONTAL Y OTRA VERTICAL EN EL CABEZAL DEL PILOTE. 3.- EXISTE UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE FISURAS ENTRE EL CABEZAL Y EL PILOTE 4.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

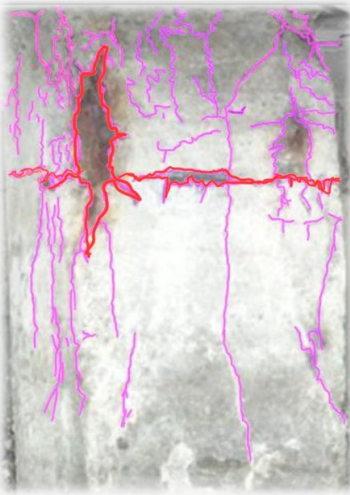
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 49. Estado de los pilotes ubicados en el eje F

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE F	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE LA PRESENCIA DE GRIETAS UNA HORIZONTAL Y OTRA VERTICAL CERCA DE LA UNIÓN PILOTE- VIGA CABEZAL 2.- EXISTE UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE FISURAS ENTRE EL CABEZAL Y EL PILOTE 3.- HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANISMOS MARINOS

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 50. Estado de los pilotes ubicados en el eje F

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE F	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- EXISTE LA PRESENCIA DE GRIETAS UNA HORIZONTAL Y OTRA VERTICAL CERCA DE LA UNIÓN PILOTE- VIGA CABEZAL 2.-EXISTE UNA CONSIDERABLE CANTIDAD DE FISURAS ENTRE EL CABEZAL Y EL PILOTE 3.-HAY DESPRENDIMIENTOS DEL RECUBRIMIENTO EN LA PARTE SUPERIOR DEL PILOTE 4.-HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANIZMOS MARINOS



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 51. Estado de los pilotes ubicados en el eje F

ESQUEMA DE DAÑOS PILOTES		
UBICACIÓN	PILOTE INCLINADO IZQUIERDO EJE F	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<ol style="list-style-type: none"> 1.- SE PUEDE OBSERVAR LA PÉRDIDA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL DEL HORMIGÓN DEL PILOTE JUSTO EN LA UNIÓN VIGA CABEZAL-PILOTE 2.-HAY DETERIORO DEL PILOTE DEBIDO A LA PRESENCIA DE ORGANIZMOS MARINOS 3.- EXISTE LA PRESENCIA DE GRAN CANTIDAD DE FISURAS Y MICROFISURAS A LO LARGO DE TODO EL PILOTE

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 52. Viga T invertida Eje A

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE A
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA Y GRÁN CANTIDAD DE FISURASA LO LARGO DE LA SECCIÓN EVIDENCIANDO UN ATAQUE POR CLORUROS.</p> <p>2.- SE PRESENTA EL DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DEJANDO EXPUESTO EL ACERO DE REFUERZO.</p> <p>3.- EL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO PRESENTA UN ALTOGRADO DE CORROSIÓN EVIDENCIANDO UN AUMENTO EN SU VOLUMEN EN SU SECCIÓN TRANSVERSAL.</p> <p>3.- SE OBSERVA LA CRISTALIZACION DE SALES EN ALGUNAS ZONAS DE LA VIGA CABEZAL</p>	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 53. Viga T invertida Eje B

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL		
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE B	
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS	DAÑOS ENCONTRADOS
		<p>1.- SE PRESENTA EL DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DEJANDO EXPUESTO EL ACERO DE REFUERZO.</p> <p>2.- EL ACERO DE REFUERZO EXPUESTO PRESENTA UN ALTOGRADO DE CORROSIÓN EVIDENCIANDO UN AUMENTO EN SU VOLUMEN EN SU SECCIÓN TRANSVERSAL EN UNAS PARTES Y PÉRDIDA DE SU SECCIÓN TRANSVERSAL EN OTRAS.</p> <p>3.- EXISTE FISURAS PRODUCTO DE LA CORROSIÓN DE LOS ACEROS DE REFUERZO</p>

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 54. Viga T invertida Eje B

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE B
FOTOGRAFÍA	ESQUEMA DE FISURAS
 <p>LOS CABEZALES QUE COMPONE LA PARTE SUPERIOR DE LOS PILOTES PRESENTAN UN ALTO GRADO DE POROSIDAD.</p>	


Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 55. Viga T invertida Eje D

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE D-FRONTAL
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- PÉRDIDA TOTAL DEL RECUBRIMIENTO EN LA ZONA DONDE SE APOYAN LAS VIGAS. 2.- CORROSIÓN DE LOS ACEROS EXPUESTOS 3.- FISURAS VERTICALES A LO LARGO DE LA VIGA CABEZAL</p>	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 56. Viga T invertida Eje D

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE D-POSTERIOR
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<ol style="list-style-type: none"> 1.- SE PRESENTA EL DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DEJANDO EXPUESTO EL ACERO DE REFUERZO. 2.- SE PRESENTA FISURACIÓN EXCESIVA A LO LARGO DE TODO EL ELEMENTO ESTRUCTURAL. 3.-EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA LO LARGO DE LA SECCIÓN LO QUE EVIDENCIA POSIBLE ATAQUE POR CLORUROS. 4.- LOS ACEROS EXPUESTOS PRESENTAN UN AUMENTO DE SU SECCIÓN TRANSVERSAL PRODUCTO DE UNA ALTA CORROSIÓN. 	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 57. Viga T invertida Eje E

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE E
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<ol style="list-style-type: none"> 1.- PRESENTA FISURAS A LO LARGO EN DIRECCION AL ACERO DE REFUERZO 2.-EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA LO LARGO DE LA SECCIÓN 3.- EXISTE DETERIORO Y DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DE LA VIGA CABEZAL 4.- CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO PRODUCTO DE LA EXPOSICION DE ESTE A LA INTERPERIE. 	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 58. Viga T invertida Eje F

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA CABEZAL	
UBICACIÓN	VIGA CABEZAL EJE F
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA LO LARGO DE LA SECCIÓN 2.- EXISTEN FISURAS A LO LARGO DE LA VIGA CABEZAL</p>	




Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 59. Tramo A-B viga doble T

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA DOBLE T	
UBICACIÓN	TRAMO A-B
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- PRESENTAN PEQUEÑOS DESPRENDIMIENTOS EN LA PARTE INFERIOR DE LA LOSA</p>	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 60. Tramo D-E viga doble T

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA DOBLE T	
UBICACIÓN	TRAMO D-E
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- EXPOSICIÓN DEL ACERO TANTO EN EN ALMA COMO EN LAS ALAS DE LAS VIGAS DOBLE T 2.- PRESENCIA DE FISURAS EN LOS EXTREMOS DE LAS VIGAS</p>	



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 61. Tramo E-F viga doble T

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA DOBLE T	
UBICACIÓN	TRAMO E-F
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- LAS VIGAS PRESENTAN DESCASCARAMIENTO DEL RECUBRIMIENTO 2.-SE PRESENTAN GRAN CANTIDAD DE FISURAS CERCA DE LOS APOYOS 3.- EXISTE EXPOSICIÓN DEL ACERO DE REFUERZO CERCA DE LOS APOYOS 4.-EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA LO QUE INDICA CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO.</p>	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 62. Tramo E-F viga doble T

ESQUEMA DE DAÑOS VIGA DOBLE T	
UBICACIÓN	TRAMO E-F
FOTOGRAFÍA	
	
ESQUEMA DE FISURAS	
	
DAÑOS ENCONTRADOS	
<p>1.- EXISTE FISURACIÓN Y DESPRENDIMIENTO DEL RECUBRIMIENTO DE ACERO EN LA PARTE CENTRAL DE LAS VIGAS DOBLE T DEL TRAMO ANALIZADO. 2.- LA CORROSIÓN DEL ACERO ES EVIDENTE. 3.-EXISTEN MANCHAS MARRONES DE TONALIDAD FÉRRICA</p>	

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.9. Cálculo de cargas actuantes sobre el muelle

3.2.9.1. Carga viva

La carga viva se introducirá en el programa de acuerdo con lo expuesto en el capítulo 2.

3.2.9.2.Carga por oleaje

Cada uno de los parámetros y fórmulas utilizadas para calcular la carga por oleaje fueron seleccionados y aplicados de acuerdo con lo mencionado en el capítulo 2 y las consideraciones se las realizó de acuerdo a las recomendaciones que constan en las normas ROM-2.0- 2011.

Tabla 63. Cálculo de carga por oleaje

FUERZA PRODUCIDA POR EL OLEAJE	
COEFICIENTE DE INERCIA (Cm)	2
DENSIDAD MARINA dm (Ton/m3)	1.029
ANCHO DEL PILOTE (m)	0.4
LONGITUD DEL PILOTE SUMERGIDO PARA 1m	1
VELOCIDAD DE LA CORRIENTE u (m/s)	2.38
VALOR ABSOLUTO DE LA VELOCIDAD /u/ (m/s)	2.38
GRAVEDAD (m/s2)	9.8
COMPONENTE HORIZONTAL DE LA ACELERACIÓN du/dt	0.8
SECCIÓN TRANSVERSAL DEL ELEMENTO A (m2)	0.4
FUERZA DE FRICCIÓN Fd (ton/m)	0.24
FUERZA DE INERCIA Fm (ton/m)	0.03
FUERZA POR EL OLEAJE Wa=Fd+Fm (ton/m)	0.28

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.9.3. Cálculo de carga de atraque

Tabla 64. Cálculo del coeficiente de excentricidad

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE EXCENTRICIDAD

$$C_e = \frac{K^2 + R^2 \cdot (\cos \phi)^2}{K^2 + R^2}$$

CÁLCULO DE K

Obtención del coeficiente del buque (Cb)

$$C_b = \frac{\text{Desplazamiento}}{\text{Eslora entre perp.} \times \text{Manga} \times \text{Calado} \times \gamma_w}$$

Cb: 0.34087979

$$k = (0,19 C_b + 0,11) \cdot L$$

Radio de giro del buque (m)	K:	17.1271817
-----------------------------	----	------------

R= Distancia entre el punto de impacto y el centro de gravedad del buque (m)	9.8	B
Ángulo entre punto de contacto, el centro de gravedad del buque, y el vector de velocidad (grados)	69	
Coeficiente de Excentricidad Ce	0.7850	

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 65. Cálculo del coeficiente de masa

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE MASA

Peso Adicional = $\frac{\pi}{4} * Calado\ de\ Diseño^2 * L * \gamma_w$
 Peso Adicional = 2664.32573 T

$$C_m = \frac{M_b + M_w}{M_b}$$

Calado de diseño (m)
5.8

Cm = 1.88076884

Cm	1.88076884	Ce	0.7850	Cg	0.95
Cc	1	Cs	1	Cb	0.75

Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 66. Cálculo de la fuerza de atraque

Energía cinética desarrollada por el buque en atraque

$$E = (1/2g) \cdot C_m \cdot \Delta \cdot (V_b)^2$$

Ec = 79.6204027 Ton*m

ENERGÍA ABSORVIDA POR EL SISTEMA DE ATRAQUE

$$E_f = \left[\frac{1}{2} \cdot C_m \cdot M_b \cdot (V_b)^2 \right] \cdot C_e \cdot C_g \cdot C_c \cdot C_s$$

Ef = 59.3790447 Ton*m

ENERGÍA ANORMAL

ENERGÍA ANORMAL ABSORVIDA

$$E_A = \eta * E_n$$

Factor η = 2

E_A = 118.758089 Ton*m

FUERZA DE ATRAQUE

PORCENTAJE DE REACCIÓN DE LA ESTRUCTURA	11%
FUERZA DE ATRAQUE COMO CARGA PUNTUAL	125.069 Ton
FUERZA DE ATRAQUE COMO CARGA PUNTUAL A CADA PÓRTICO	20.845 Ton

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.9.4.Carga por impacto


Para este tipo de carga se consideró el impacto producido por la embarcación M.N. HUALCOPO durante las maniobras de atraque, cabe recalcar que para el cálculo de esta fuerza se consideró un impacto frontal del navío contra la parte lateral del muelle, cabe recalcar que este tipo de carga hace referencia a un evento extraordinario, es decir que puede ocurrir o no durante la vida útil del muelle, por lo que muchos calculistas optan por no utilizar este tipo de carga, pero para este estudio si se la considera debido a que este evento extraordinario sí se produjo y esto ayudará a encontrar los desplazamientos reales producidos en cada uno de los pórticos al momento de la colisión.

Tabla 67. Cálculo de fuerza impacto accidental

CÁLCULO DE LA FUERZA DE IMPACTO ACCIDENTAL

DATOS DE ENTRADA	
DATOS DE SALIDA	

$$F_i = 0.88 \sqrt{TPM} * \left(\frac{V_{b,a}}{8}\right)^{\frac{2}{3}} * \left(\frac{\Delta_{impacto}}{\Delta_{PC}}\right)^{\frac{1}{3}}$$



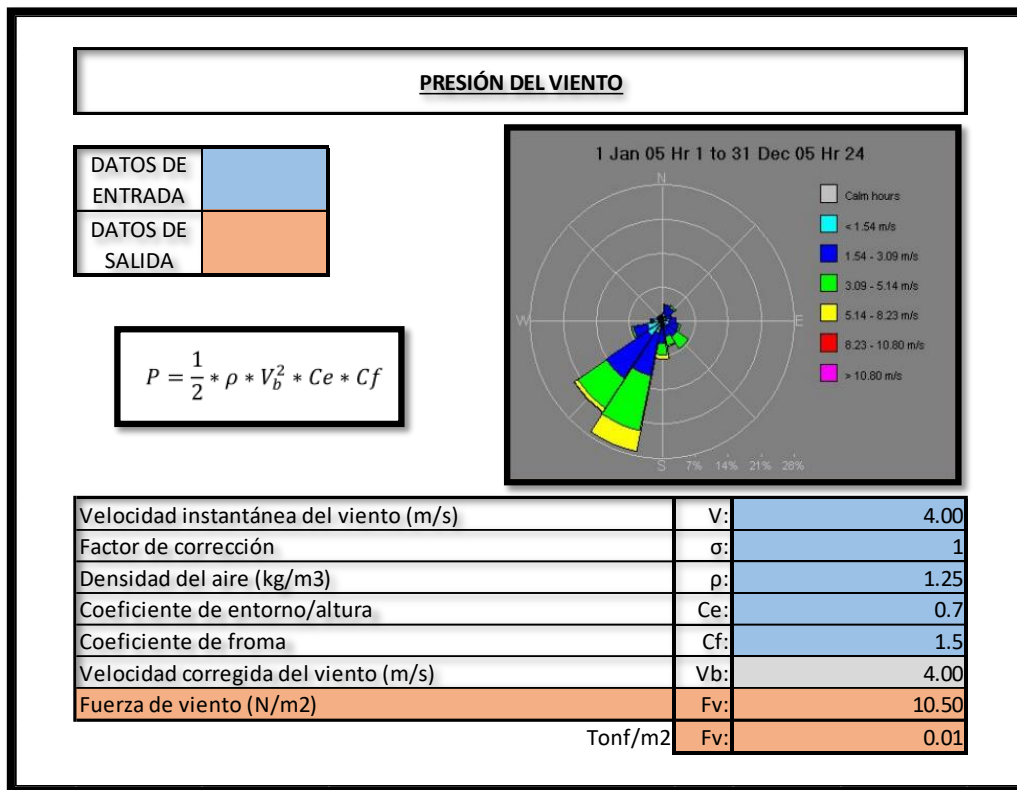
Tonelaje de peso muerto (ton)	TPM:	1852.81
Desplazamiento del buque a plena carga	Dpc:	3025
Desplazamiento del buque en el instante del impacto (ton)	Di:	3025
Velocidad absoluta del buque (m/s)	Vb:	2.3815
Fuerza de impacto (MN)	Fi:	16.89
	Fi:	1722.02 ton

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.9.5.Carga por viento

Los vientos que predominan en la zona de estudio son de baja intensidad, los registros tanto de largo como corto periodo muestran que la dirección predominante del viento es en dirección Suroeste con una velocidad que va desde 1.5 a 3.0 m/s. La velocidad media donde se implanta el proyecto es de 4 m/s.

Tabla 68. Cálculo de fuerza de viento



Fuente: Frías Córdova Christian

Debido a que la carga producida por viento en la zona es relativamente baja no se toma en cuenta dentro de los respectivos análisis.

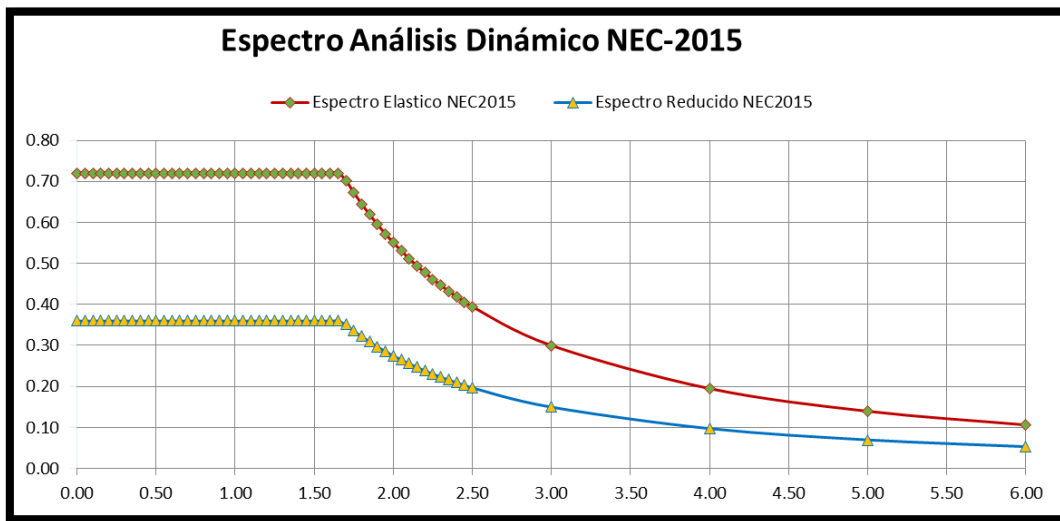
3.2.9.6. Espectro elástico de aceleraciones

Tabla 69. Cálculo del espectro de aceleraciones

			Capítulo	Página
Factor de importancia	I=	1.500	4.1	39
Categoría Sísmica	Zona Sísmica=	V	3.1.1	27
Valor de factor Z	Z=	0.400	3.1.1	27
Perfil del Suelo	Suelo Tipo=	E	3.2.1	29
Amplificación del suelo en la zona de periodo corto	Fa=	1.000	3.2.2 a)	31
Coef. Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca	Fd=	1.600	3.2.2 b)	31
Comportamiento no lineal de los suelos	Fs=	1.900	3.2.2 c)	32
Factor usado en el espectro de diseño elástico	r=	1.500	3.3.1	34
relación de amplificación espectral	η=	1.800	3.3.1	34
Coefficiente de Reduccion de Respuesta Estructural	R=	3	6.3.4 b)	64-65
Irregularidad en planta	ΦP=	1.000	5.2	48-52
Irregularidad en elevacion	ΦE=	1.000	5.2	48-52

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 50. Espectro de aceleraciones



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 70. Tabla de valores del espectro de aceleraciones

ESPECTRO PARA ANÁLISIS DINÁMICO			1.300	0.720	0.360
T seg.	Elástico	Reducido	1.350	0.720	0.360
	Sa (g)	Sa (g)	1.400	0.720	0.360
0.000	0.720	0.360	1.450	0.720	0.360
0.050	0.720	0.360	1.500	0.720	0.360
0.100	0.720	0.360	1.550	0.720	0.360
0.150	0.720	0.360	1.600	0.720	0.360
0.200	0.720	0.360	1.650	0.720	0.360
0.250	0.720	0.360	1.700	0.702	0.351
0.300	0.720	0.360	1.750	0.672	0.336
0.350	0.720	0.360	1.800	0.645	0.322
0.400	0.720	0.360	1.850	0.619	0.309
0.450	0.720	0.360	1.900	0.594	0.297
0.500	0.720	0.360	1.950	0.572	0.286
0.550	0.720	0.360	2.000	0.550	0.275
0.600	0.720	0.360	2.050	0.530	0.265
0.650	0.720	0.360	2.100	0.512	0.256
0.700	0.720	0.360	2.150	0.494	0.247
0.750	0.720	0.360	2.200	0.477	0.239
0.800	0.720	0.360	2.250	0.461	0.231
0.850	0.720	0.360	2.300	0.446	0.223
0.900	0.720	0.360	2.350	0.432	0.216
0.950	0.720	0.360	2.400	0.419	0.209
1.000	0.720	0.360	2.450	0.406	0.203
1.050	0.720	0.360	2.500	0.394	0.197
1.100	0.720	0.360	3.000	0.300	0.150
1.150	0.720	0.360	4.000	0.195	0.097
1.200	0.720	0.360	5.000	0.139	0.070
1.250	0.720	0.360	6.000	0.106	0.053

Fuente: Frías Córdova Christian

3.2.10. Cálculo del peso del muelle

Para el cálculo del peso total del muelle se consideró una densidad del concreto de 2400 Kg/m³.

Tabla 71. Cálculo del peso del muelle

Elemento estructural	HORMIGÓN m ³	PESO ESPECÍFICO DEL HORMIGÓN Kg/m ³	PESO Kg
Cabezal	39.57	2400	94968
Losa	36.41	2400	87384
Vigas 2T	124.47	2400	298728
Pilotes	65.45	2400	157080
Bordillos	19.2	2400	46080
TOTAL (ton)			684.24

Fuente: Frías Córdova Christian

3.3. ANÁLISIS ESPECTRAL

3.3.1. Definición de materiales

El muelle al tratarse de una estructura construida hace más de 50 años y al no poseer planos estructurales con los que se construyó él mismo se supone un acero con un límite de fluencia $f_y = 2800 \text{ Kg/cm}^2$, de la misma forma la cantidad de acero de los elementos estructurales que componen el muelle se los asumirá con cuantías mínimas.

3.3.1.1. Acero

Figura 51. Definición de las propiedades del acero

Fuente: SAP 2000

3.3.1.2.Hormigón

Figura 52. Hormigón $f^c= 375 \text{ Kg/cm}^2$

The image shows a screenshot of the 'Material Property Data' dialog box in SAP 2000. The dialog is titled 'Material Property Data' and contains several sections for defining material properties. The 'General Data' section includes fields for 'Material Name and Display Color' (LOSA $f^c=375 \text{ kg/cm}^2$), 'Material Type' (Concrete), 'Material Grade' ($f^c=375 \text{ kg/cm}^2$), and 'Material Notes' (Modify/Show Notes...). The 'Weight and Mass' section has 'Weight per Unit Volume' (2.403E-03) and 'Mass per Unit Volume' (2.450E-06). The 'Units' section is set to 'Kgf, cm, C'. The 'Isotropic Property Data' section includes 'Modulus Of Elasticity, E' (229530.54), 'Poisson, U' (0.2), 'Coefficient Of Thermal Expansion, A' (9.900E-06), and 'Shear Modulus, G' (95637.73). The 'Other Properties For Concrete Materials' section has 'Specified Concrete Compressive Strength, f^c ' (307.), 'Expected Concrete Compressive Strength' (307.), and a checkbox for 'Lightweight Concrete' (unchecked). Below this is a 'Shear Strength Reduction Factor' field. At the bottom, there is a checkbox for 'Switch To Advanced Property Display' (unchecked) and 'OK' and 'Cancel' buttons.

Fuente: SAP 2000

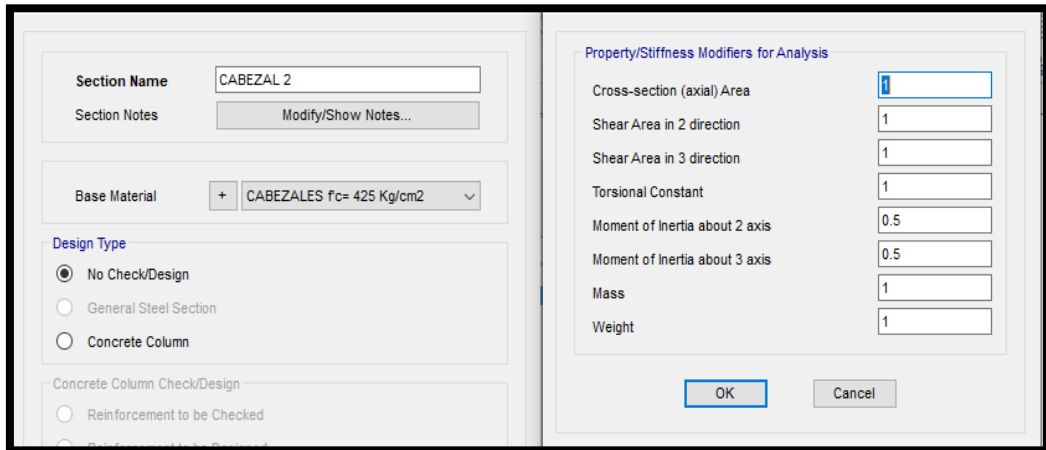
Se configura de la misma forma el resto de las resistencias a compresión del hormigón que se obtuvo mediante el ensayo esclerométrico.

3.3.2. Geometría de los elementos estructurales

Al no ser secciones típicas precargadas en el programa tanto la viga T invertida como las vigas doble T se deben diseñar con la herramienta Section Designer.

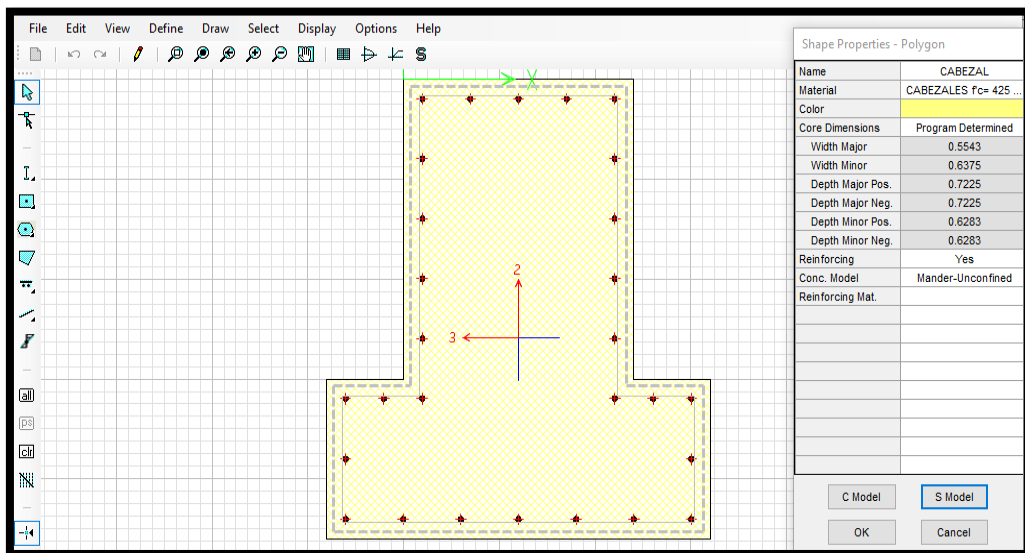
3.3.2.1. Viga T invertida

Figura 53. Parámetros viga T invertida



Fuente: SAP 2000

Figura 54. Viga T invertida en “Section Designer”



Fuente: SAP 2000

3.3.2.2. Viga doble T

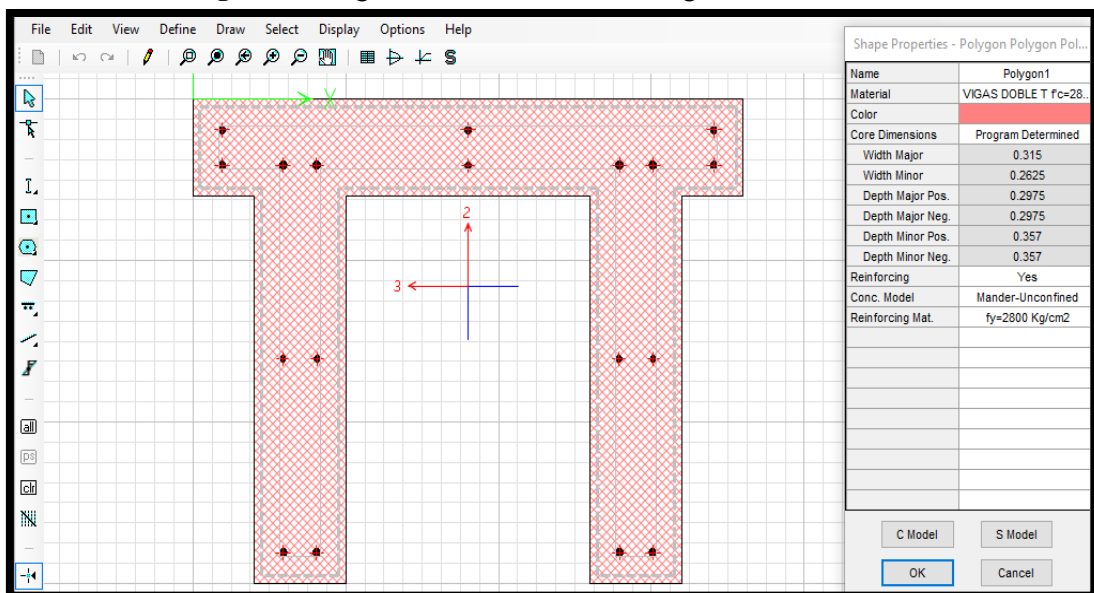
Figura 55. Parámetros viga doble T

Section Name: VIGA DOBLE T 2
Section Notes: Modify/Show Notes...
Base Material: + VIGAS DOBLE T f'c=281 kg/cm2
Design Type:
 No Check/Design
 General Steel Section
 Concrete Column
Concrete Column Check/Design:
 Reinforcement to be Checked

Property/Stiffness Modifiers for Analysis
Cross-section (axial) Area: 1
Shear Area in 2 direction: 1
Shear Area in 3 direction: 1
Torsional Constant: 1
Moment of Inertia about 2 axis: 0.5
Moment of Inertia about 3 axis: 0.5
Mass: 1
Weight: 1
OK Cancel

Fuente: SAP 2000

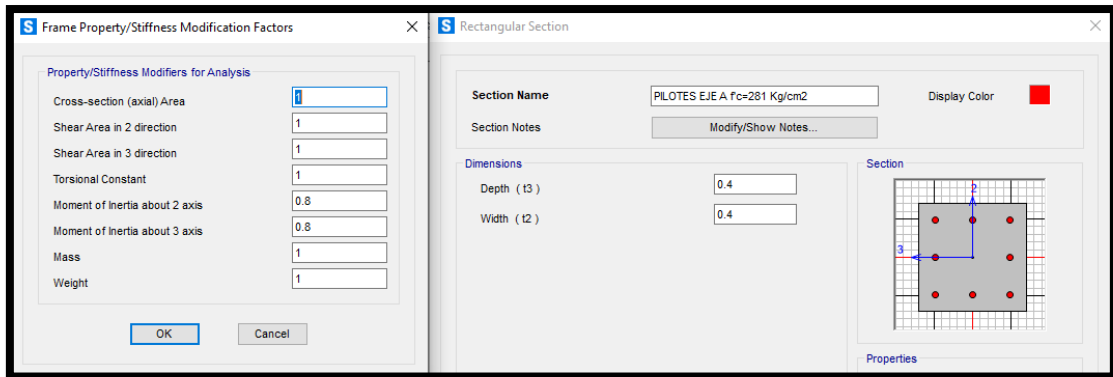
Figura 56. Viga cabezal en "Section Designer"



Fuente: SAP 2000

3.3.2.3. Pilotes

Figura 57. Parámetros pilotes Eje A



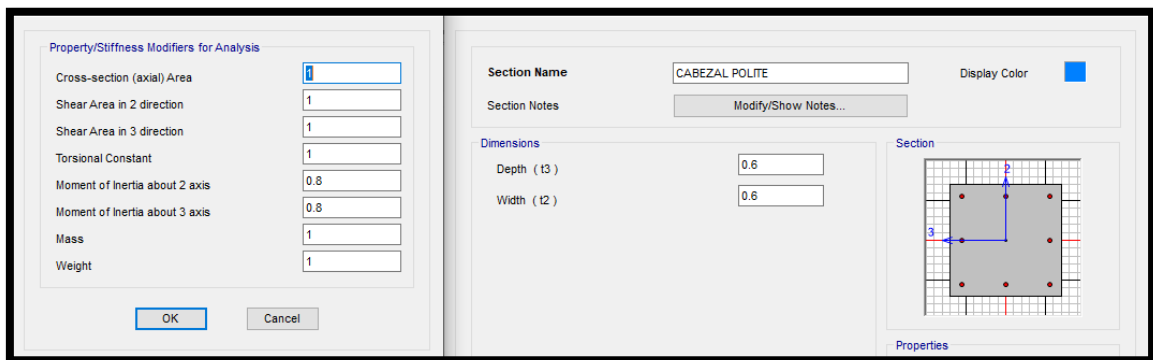
Fuente: SAP 2000

Con el mismo proceso se configuraron el resto de los pilotes que componen cada uno de los pórticos del muelle con sus respectivas resistencias a compresión del hormigón expuestas en la tabla 35.

3.3.2.4. Cabezal

A continuación, se configura el cabezal que está ubicado en la parte superior de algunos pilotes que sostienen la estructura del muelle los cuales aportan una mayor rigidez en la unión viga T invertida y pilote.

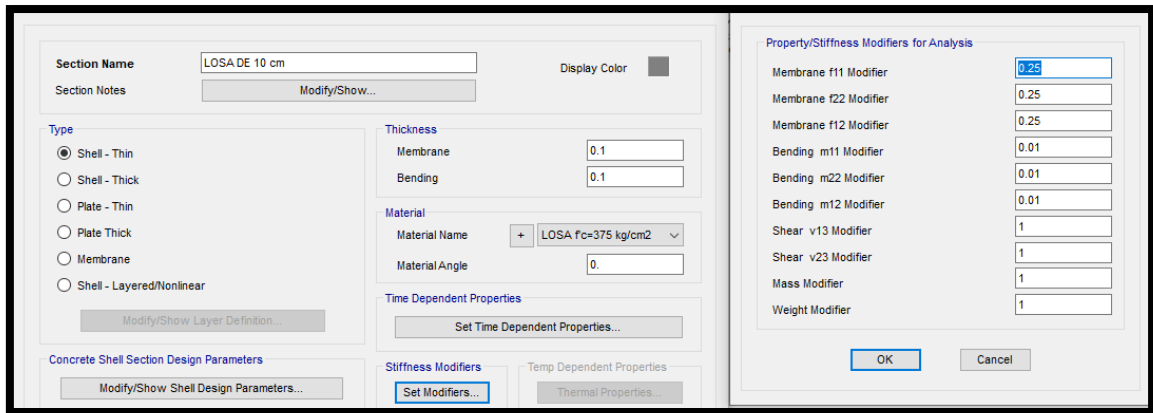
Figura 58. Parámetros cabezal



Fuente: SAP 2000

3.3.2.5.Losa

Figura 59. Parámetros losa

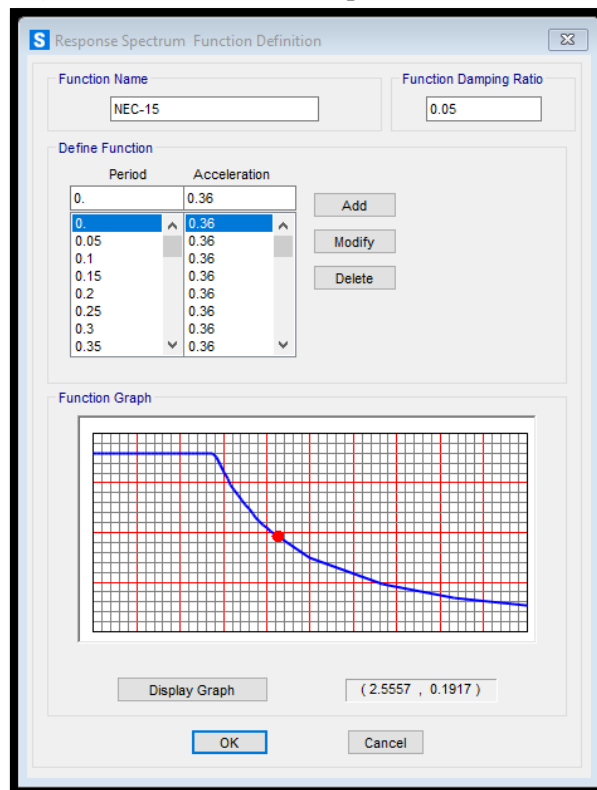


Fuente: SAP 2000

3.3.3. Definición del espectro sísmico

Cada uno de los parámetros necesarios para generar el espectro de respuesta se describen en el capítulo 2.

Figura 60. Definición del espectro NEC-15

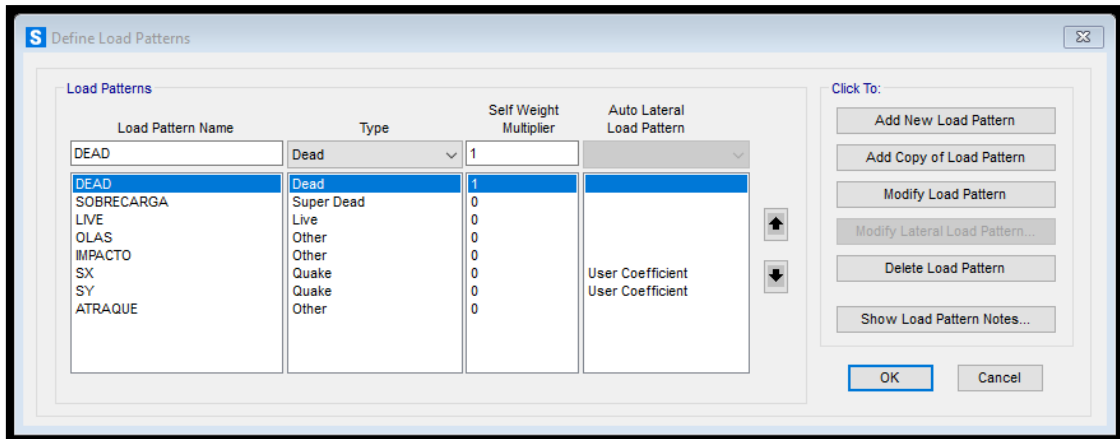


Fuente: SAP 2000

3.3.4. Definición de patrones de carga

A continuación, se define los patrones de carga viva, carga muerta, sobrecarga, sismo en x, sismo en y, carga producida por las olas, la fuerza de impacto accidental y atraque.

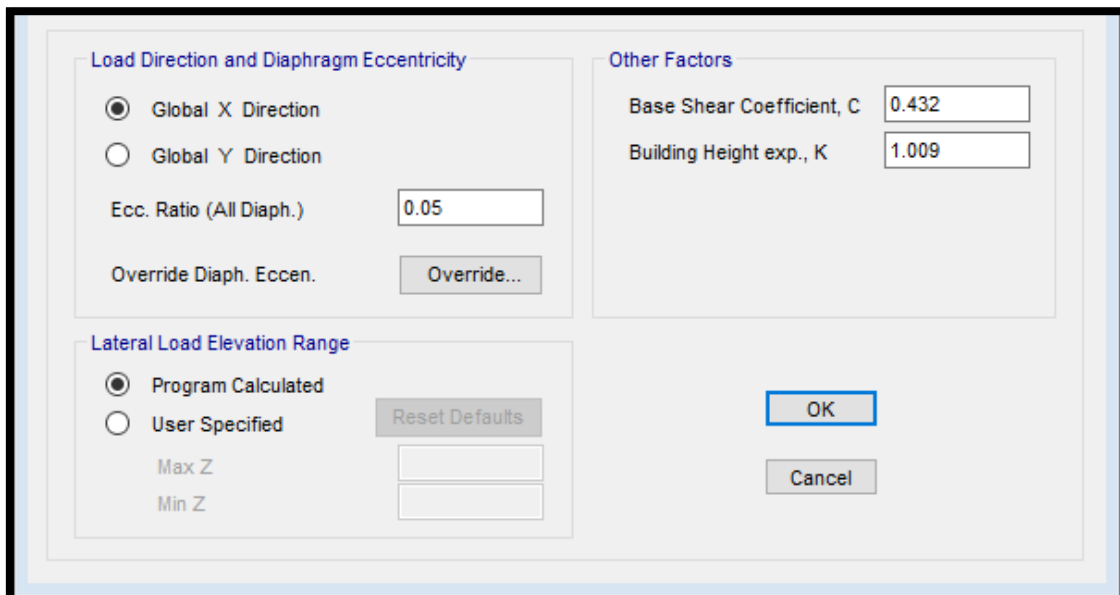
Figura 61. Definición de patrones de carga



Fuente: SAP 2000

3.3.4.1. Definición del sismo estático en x

Figura 62. Definición sismo estático x



Fuente: SAP 2000

3.3.4.2. Definición del sismo estático en y

Figura 63. Definición sismo estático y

Load Direction and Diaphragm Eccentricity

Global X Direction

Global Y Direction

Ecc. Ratio (All Diaph.)

Override Diaph. Eccen.

Other Factors

Base Shear Coefficient, C

Building Height exp., K

Lateral Load Elevation Range

Program Calculated

User Specified

Max Z

Min Z

Fuente: SAP 2000

3.3.5. Definición de los casos de carga

Figura 64. Definición de casos de carga

Load Cases

Load Case Name	Load Case Type
DEAD	Linear Static
MODAL	Modal
SOBRECARGA	Linear Static
LIVE	Linear Static
OLAS	Linear Static
IMPACTO	Linear Static
MODAL ESPEC X	Response Spectrum
MODAL ESPEC Y	Response Spectrum
C SISMIC X	Linear Static
C SISMIC Y	Linear Static

Click to:

Display Load Cases

Fuente: SAP 2000

3.3.5.1. Definición de la carga modal espectral en x

Figura 65. Definición carga modal x

The screenshot shows the 'Load Case Data - Response Spectrum' dialog box for a modal load case named 'MODAL ESPEC X'. The 'Modal Combination' section has 'CQC' selected. The 'Directional Combination' section has 'SRSS' selected. The 'Mass Source' is set to 'Previous (MSSSRC1)'. The 'Diaphragm Eccentricity' is set to 0.05. The 'Loads Applied' table contains one entry: 'U1' with a scale factor of 9.81. The 'Other Parameters' section shows 'Modal Damping' set to 'Constant at 0.05'.

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	NEC-15	9.81

Fuente: SAP 2000

3.3.5.2. Definición de la carga modal espectral en y

Figura 66. Definición carga modal y

The screenshot shows the 'Load Case Data - Response Spectrum' dialog box for a modal load case named 'MODAL ESPEC Y'. The 'Modal Combination' section has 'CQC' selected. The 'Directional Combination' section has 'SRSS' selected. The 'Mass Source' is set to 'Previous (MSSSRC1)'. The 'Diaphragm Eccentricity' is set to 0.05. The 'Loads Applied' table contains one entry: 'U2' with a scale factor of 9.81. The 'Other Parameters' section shows 'Modal Damping' set to 'Constant at 0.05'.

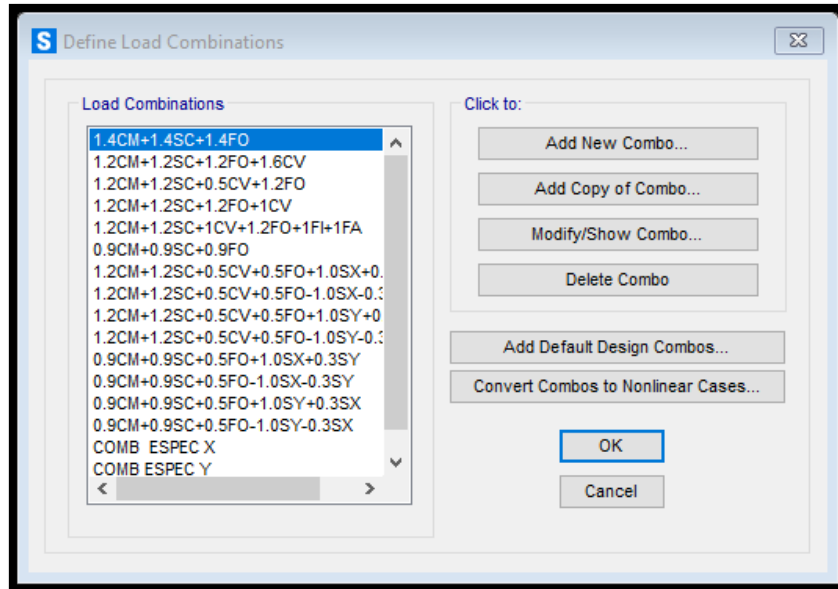
Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U2	NEC-15	9.81

Fuente: SAP 2000

3.3.6. Definición de las combinaciones de carga

Las combinaciones de carga que se ingresan en el programa se describen en el capítulo 2.

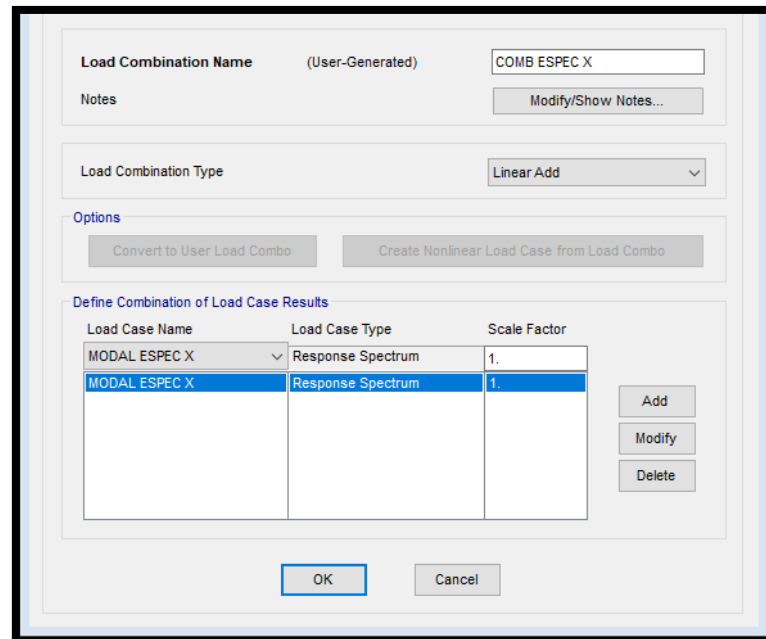
Figura 67. Definición de combinaciones de carga



Fuente: SAP 2000

3.3.6.1. Definición de la combinación espectral en x

Figura 68. Definición de combinación de carga espectral x



Fuente: SAP 2000

3.3.6.2. Definición de la combinación espectral en y

Figura 69. Definición de combinación de carga espectral y

Load Combination Name (User-Generated)

Notes

Load Combination Type

Options

Define Combination of Load Case Results

Load Case Name	Load Case Type	Scale Factor
MODAL ESPEC Y	Response Spectrum	1.
MODAL ESPEC Y	Response Spectrum	1.

Fuente: SAP 2000

3.3.7. Definición de la masa sísmica participativa

Figura 70. Definición de la masa participativa

Mass Source Name

Mass Source

Element Self Mass and Additional Mass

Specified Load Patterns

Mass Multipliers for Load Patterns

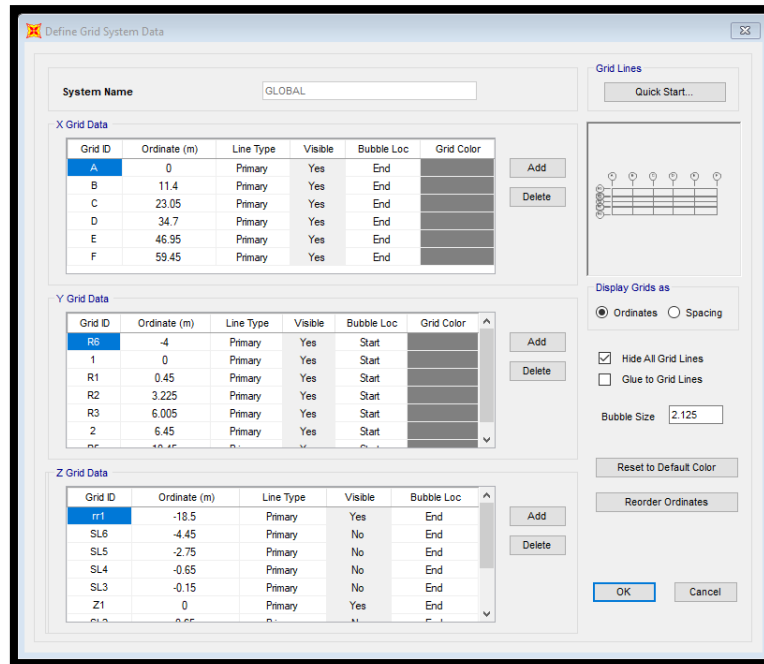
Load Pattern	Multiplier
LIVE	0.5
SOBRECARGA	1.
LIVE	0.5

Fuente: SAP 2000

3.3.8. Definición de las grillas

A continuación, se define en los dejes tanto en X, Y y Z de acuerdo con los datos arquitectónicos del muelle proporcionados por la Base Naval Sur.

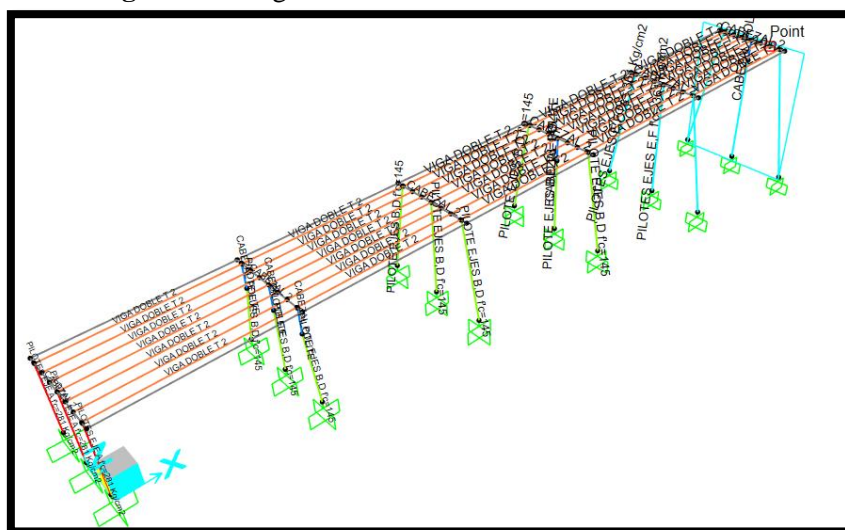
Figura 71. Definición de las grillas



Fuente: SAP 2000

3.3.9. Asignación de los elementos estructurales al programa

Figura 72. Asignación de elementos estructurales



Fuente: SAP 2000

3.3.10. Empotramiento de la estructura

Tal como se menciona en el capítulo anterior el empotramiento que se debe aplicar para una obra portuaria sostenida sobre pilotes es 5 veces la dimensión lateral del pilote por debajo del nivel del suelo.

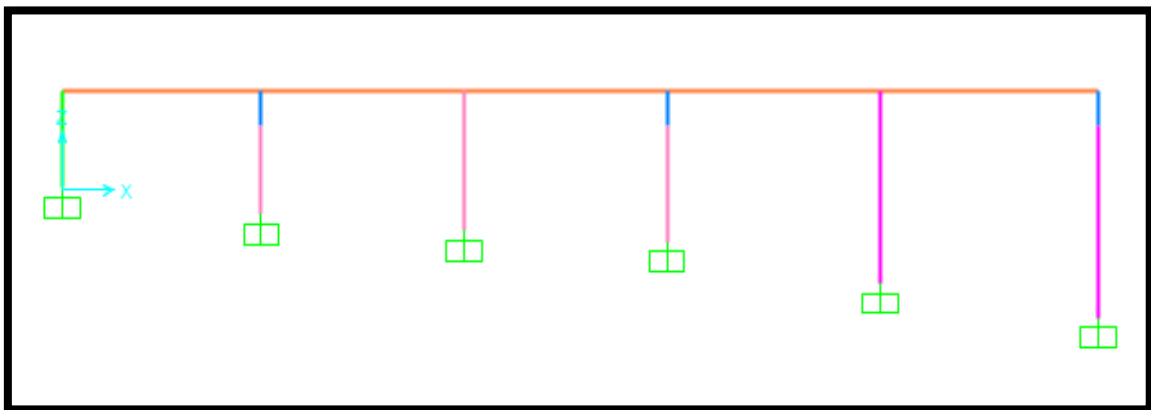
Para el caso de estudio los pilotes que sostienen el muelle presentan una sección cuadrada de 40x40 cm, entonces:

$$5dl = \text{profundidad de empotramiento}$$

$$5 * 0.40\text{m} = \text{profundidad de empotramiento}$$

$$2.0\text{m} = \text{profundidad de empotramiento}$$

Figura 73. Empotramiento del muelle



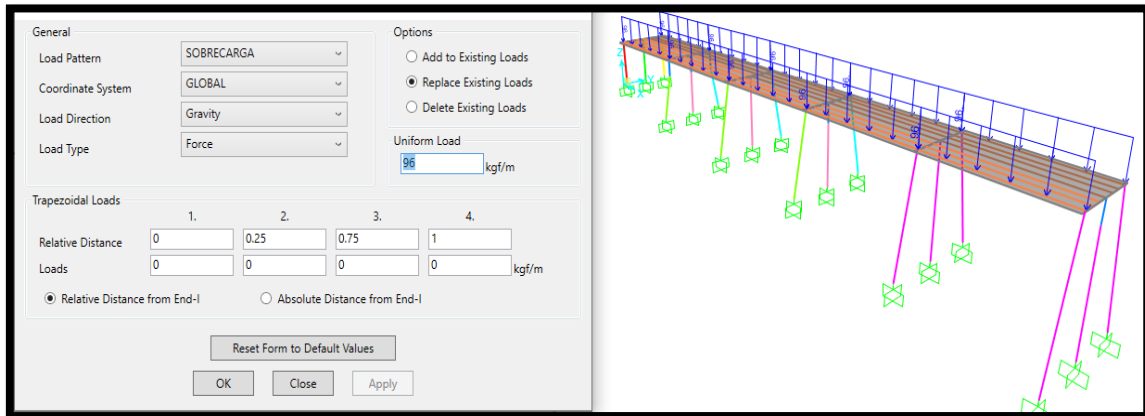
Fuente: SAP 2000

3.3.11. Asignación de cargas actuantes a la estructura del muelle

3.3.11.1. Sobrecarga

Para este tipo de carga gravitacional se tomó en cuenta los bordillos existentes en las partes laterales del muelle, así como también las instalaciones que posee el mismo para lo cual se calculó en forma de carga lineal que se distribuye en todo el largo del muelle.

Figura 74. Asignación de la sobrecarga

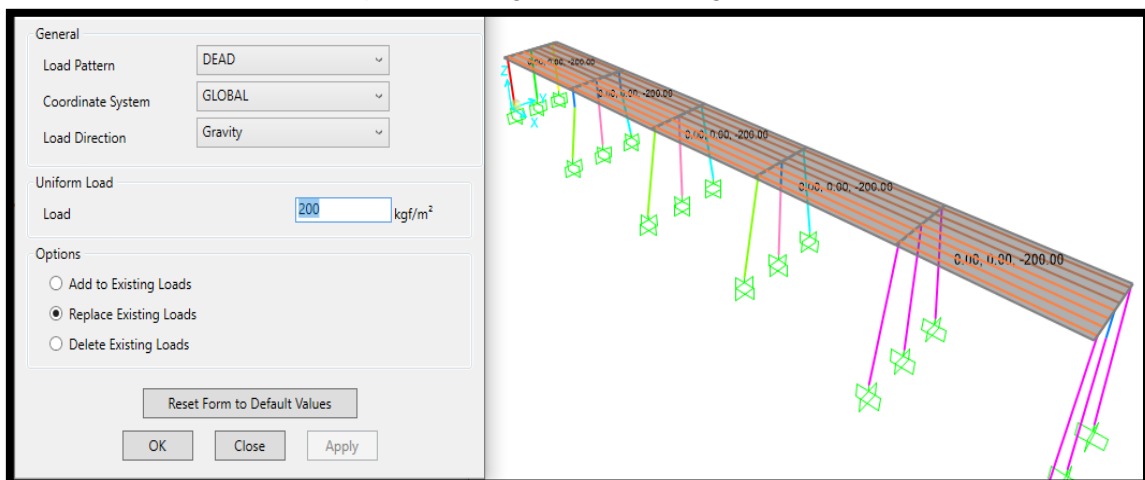


Fuente: SAP 2000

3.3.11.2. Carga viva

La carga viva que se le asigna al muelle, se la define en el capítulo anterior de acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15).

Figura 75. Asignación de la carga viva

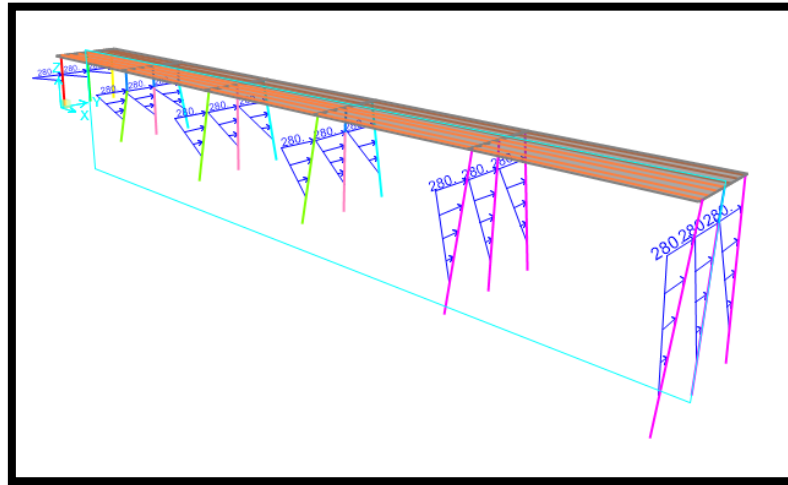


Fuente: SAP 2000

3.3.11.3. Carga por oleaje

La carga por oleaje se la define en forma de una carga tipo triangular la cual parte desde su valor máximo al nivel del río hasta un valor nulo a nivel de la arena del río.

Figura 76. Asignación de la carga por oleaje

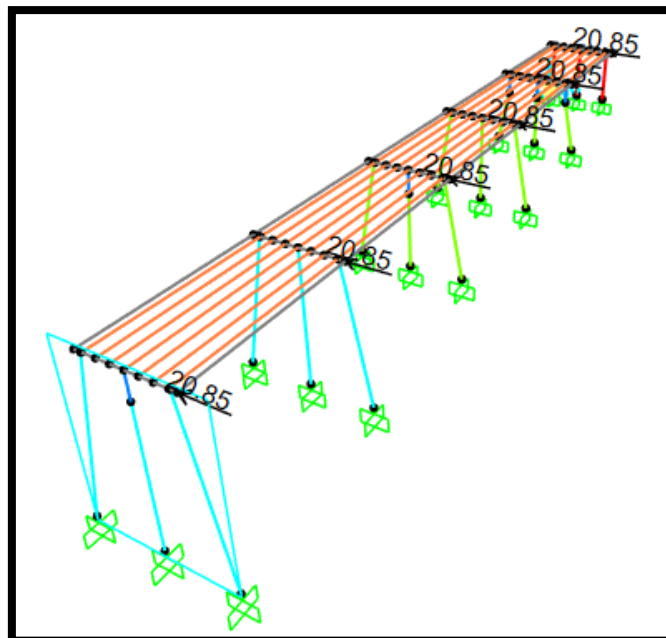


Fuente: SAP 2000

3.3.11.4. Fuerza de atraque

Este tipo de fuerza toma en cuenta la energía liberada hacia el muelles producto del atraque lateral que se consideró para este muelle.

Figura 77. Asignación de la carga por atraque

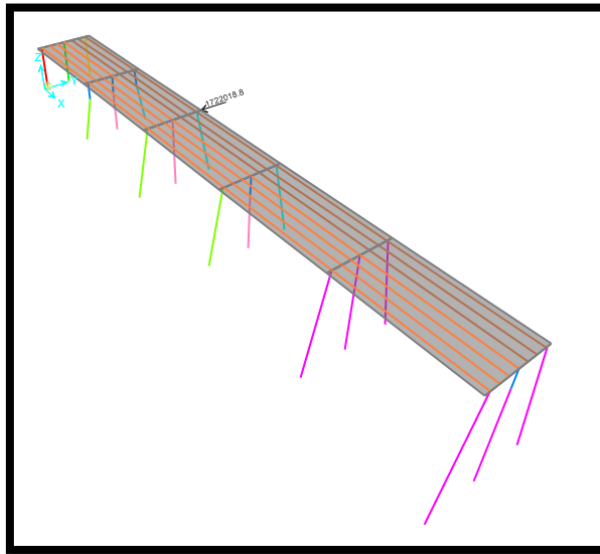


Fuente: SAP 2000

3.3.11.5. Fuerza de impacto

La fuerza de impacto que se utilizó para este estudio es la fuerza que causó la colisión del barco M.N. Hualcopo contra el muelle y su cálculo se lo establece en el capítulo anterior. Por los motivos anteriormente mencionados esta carga se la definió como una carga puntual aplicada al pórtico donde sucedió el accidente.

Figura 78. Asignación de la fuerza de impacto



Fuente: SAP 2000

Figura 79. Momento del impacto de la embarcación



Fuente: Armada del Ecuador

3.3.12. Brazos rígidos y diafragmas

Los brazos rígidos se consideraron con un factor de 0.9

Figura 80. Asignación de brazos rígidos

Options for End Offset Along Length

Automatic from Connectivity

User Defined Lengths

Parameters

User Defined Length Offset at End-I Auto

User Defined Length Offset at End-J Auto

Rigid Zone Factor 0.9

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Fuente: SAP 2000

Se corre el análisis

A continuación, se procede a correr el programa con los datos ingresados y revisar los resultados que el programa arroja para poder valorar el estado en el que se encuentra el muelle de servicio.

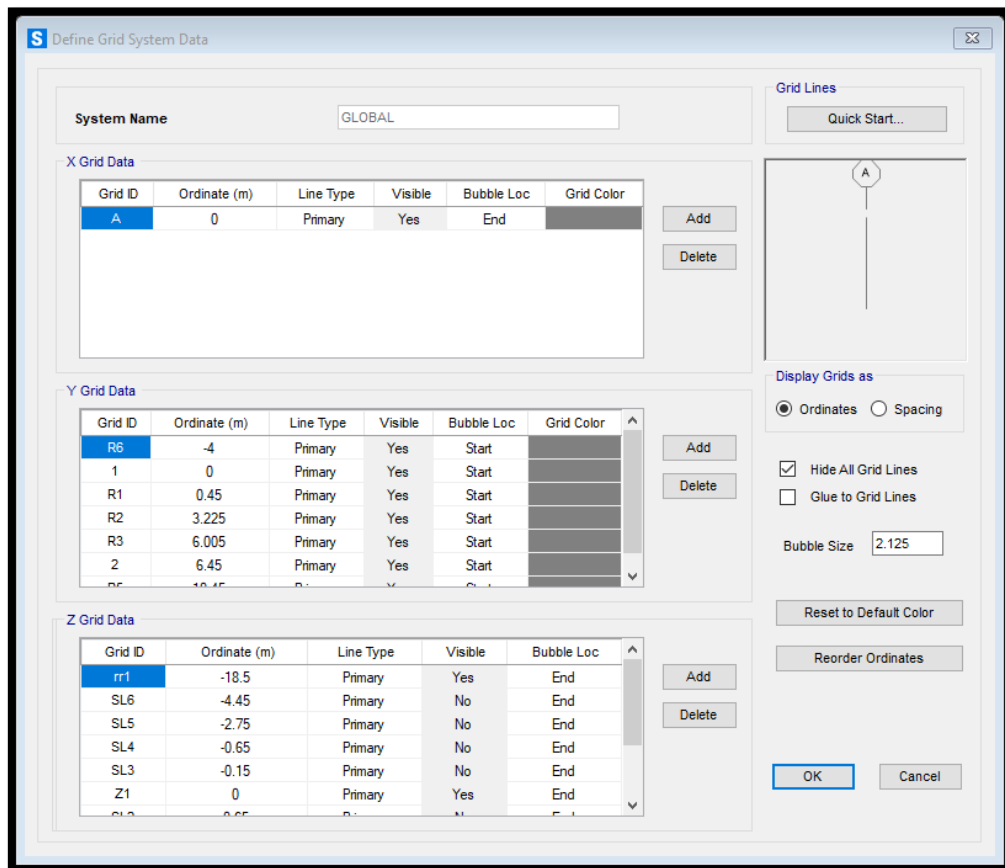
3.4. ANÁLISIS NO LINEAL PUSH OVER

Para el presente análisis no lineal se analizarán individual mente cada uno de los pórticos que componen el muelle, a continuación, se muestra los pasos para el pórtico B, el proceso es el mismo para el resto de los pórticos.

3.4.1. Definición de las grillas

Se crean los ejes para cada uno de los pórticos de tal forma que se puedan analizar en un medio de 2 dimensiones.

Figura 81. Definición de las grillas



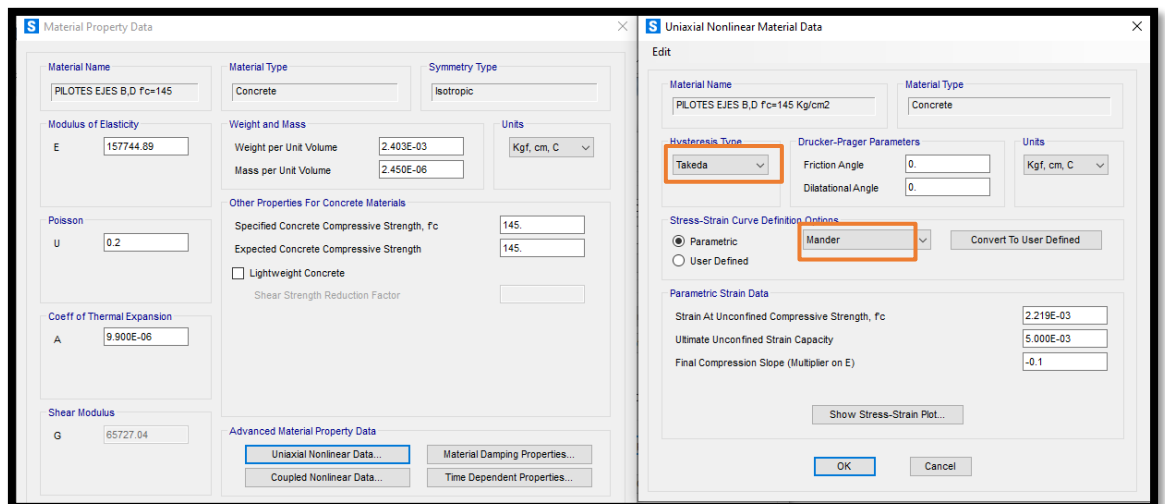
Fuente: SAP 2000

3.4.2. Parámetros no lineales de los materiales

Para el concreto se utilizó las resistencias obtenidas en el análisis esclerométrico en Kg/cm² y el módulo elástico obtenido a partir de la fórmula $E_c = 13100 * \sqrt{f'_c}$ en Kg/cm², dentro de los parámetros no lineales el concreto será analizado por el modelo de Mander y Takeda.

3.4.2.1. Parámetros no lineales del concreto f'c 145 Kg/cm²

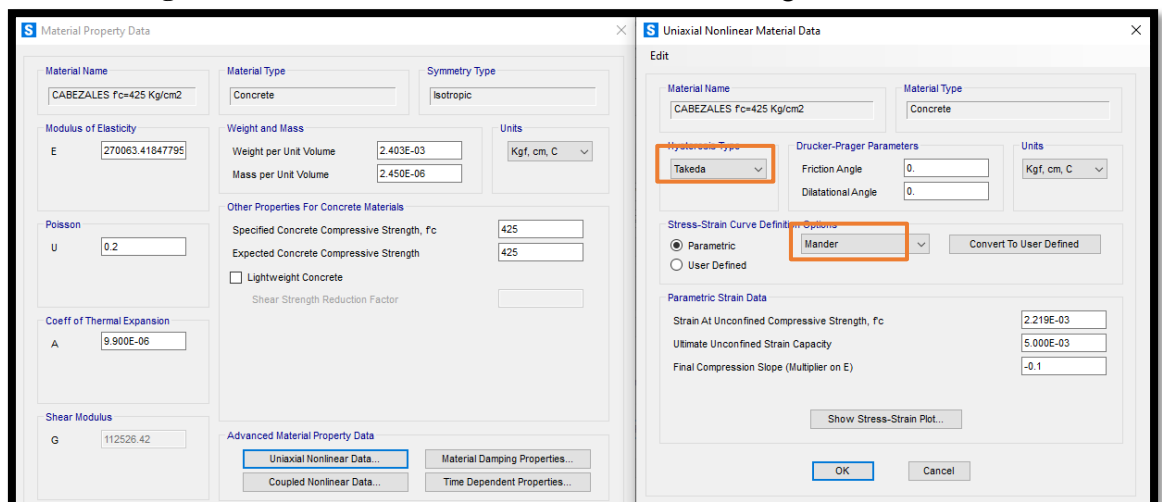
Figura 82. Parámetros no lineales concreto f'c= 145 Kg/cm²



Fuente: SAP 2000

3.4.2.2. Parámetros no lineales del concreto f'c 425 Kg/cm²

Figura 83. Parámetros no lineales concreto f'c= 425 Kg/cm²



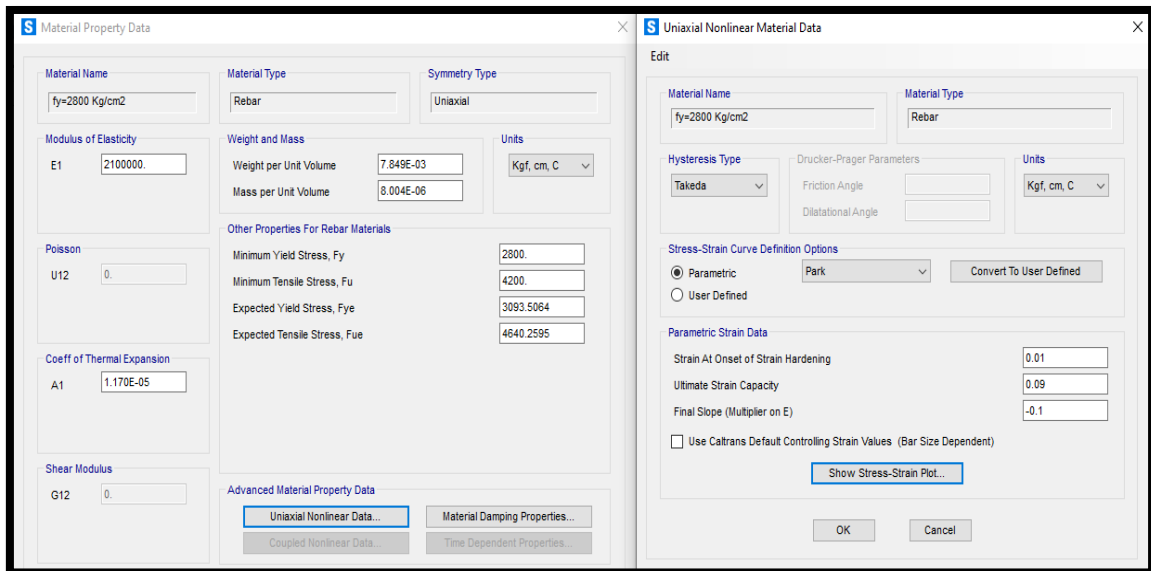
Fuente: SAP 2000

El modelo histerético de Takeda que se utiliza en este estudio es uno de los más sofisticados dentro de las simulaciones matemáticas debido a que satisface el comportamiento estático y dinámico del hormigón, de la misma forma este modelo representa los estados agrietado, no agrietado y de fluencia del concreto.

3.4.2.3. Parámetros no lineales del acero

El acero se trabaja en el estudio con una fluencia de $f'_c = 2800 \text{ Kgf/cm}^2$ y dentro de los parámetros no lineales el acero se analizará con los modelos de Takeda y Park.

Figura 84. Parámetros no lineales del acero



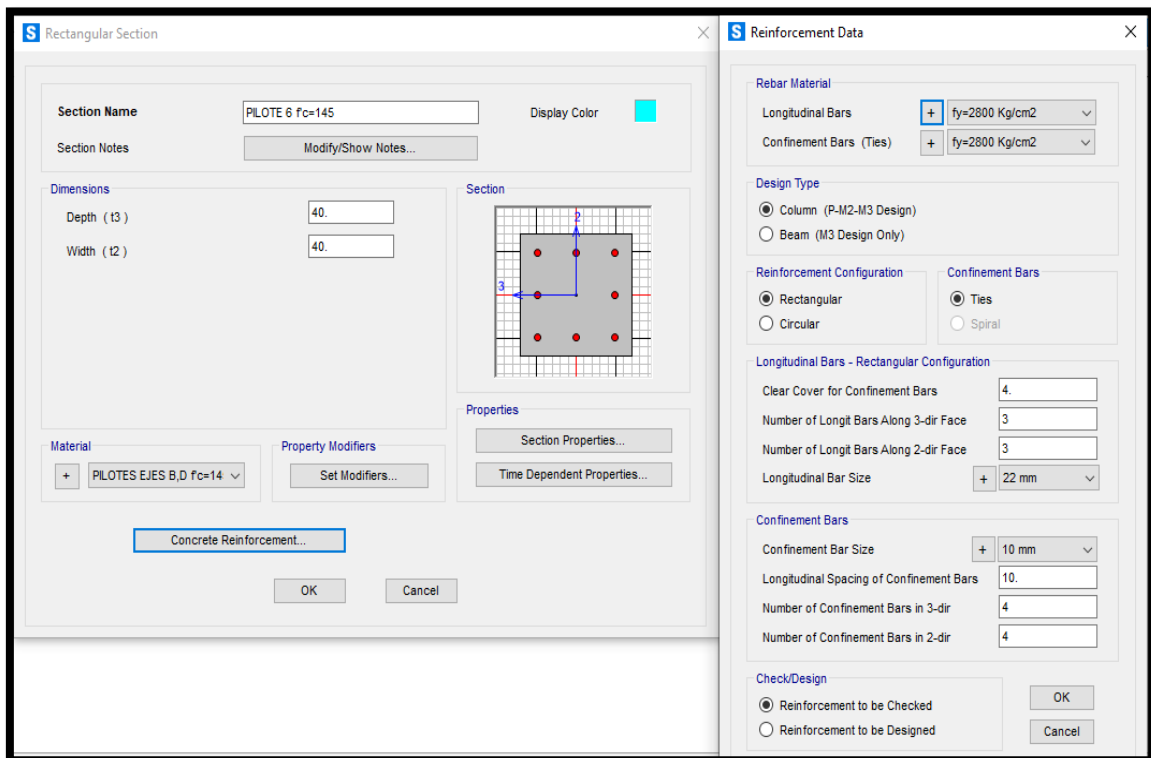
Fuente: SAP 2000

3.4.3. Acero de refuerzo en elementos estructurales

Se modelan los elementos con sus respectivos aceros para el análisis no lineal.

3.4.3.1. Acero de refuerzo en pilotes

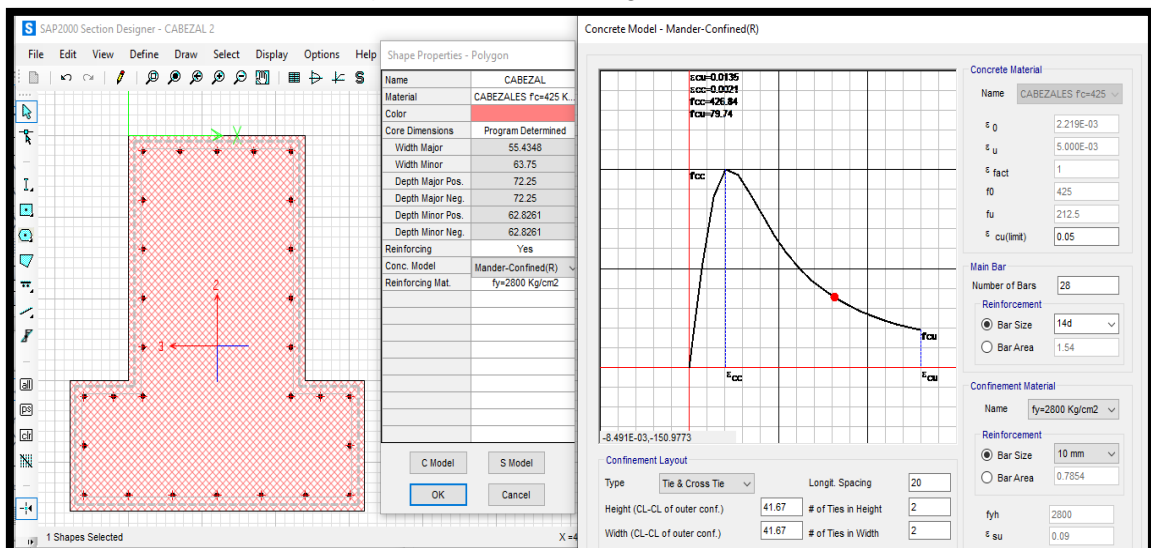
Figura 85. Aceros en pilotes



Fuente: SAP 2000

3.4.3.2. Acero de refuerzo en viga T invertida

Figura 86. Aceros en viga T invertida

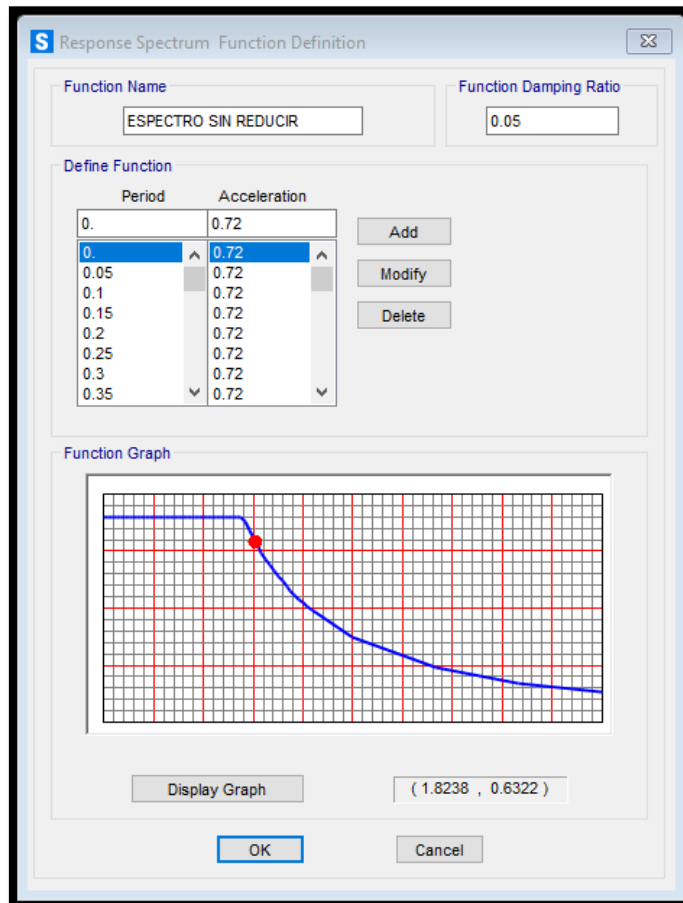


Fuente: SAP 2000

3.4.4. Espectro elástico

A continuación, se define el espectro elástico de aceleraciones, para este análisis no lineal se aplicó un factor de reducción $R=1$ para obtener el cortante basal máximo y determinar los diferentes niveles de daño de la estructura.

Figura 87. Espectro elástico

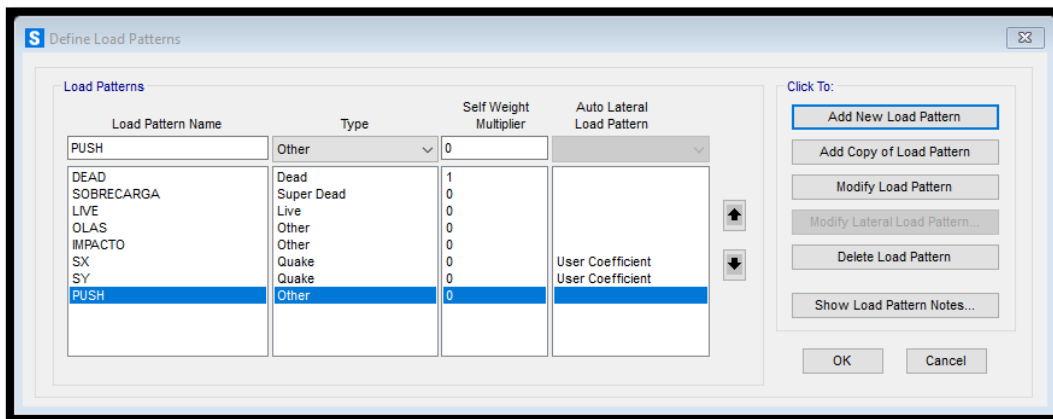


Fuente: SAP 2000

3.4.5. Definición de carga monotónica (PUSH)

Se definen los patrones de carga, así como también una carga monotónica denominada PUSH para el análisis no lineal la cual será de suma importancia al momento de realizar los estudios y obtener la curva de capacidad de cada uno de los pórticos que componen el muelle de servicio.

Figura 88. Definición de carga PUSH

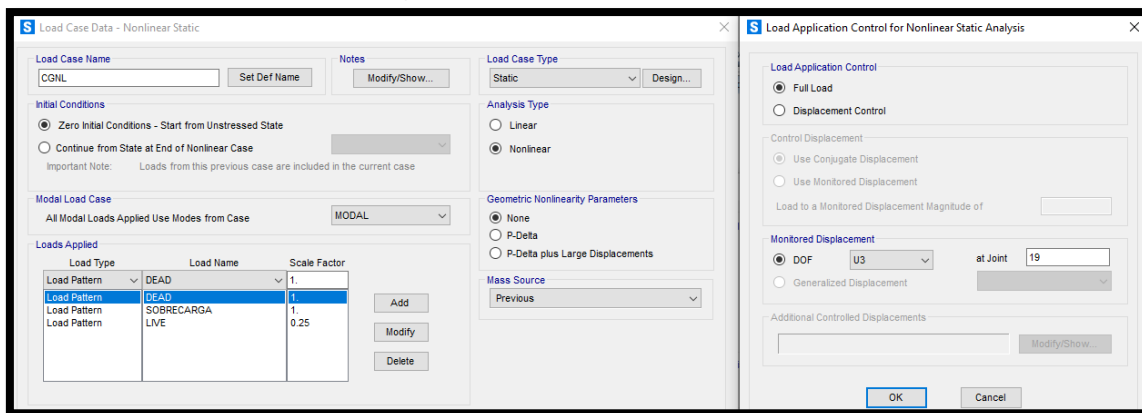


Fuente: SAP 2000

3.4.6. Definición de carga gravitacional no lineal (CGNL)

Se le debe indicar al programa que debe trabajar en la dirección U3 y comprobar que la carga se aplique en el punto donde se genere los máximos desplazamientos.

Figura 89. Definición de CGNL

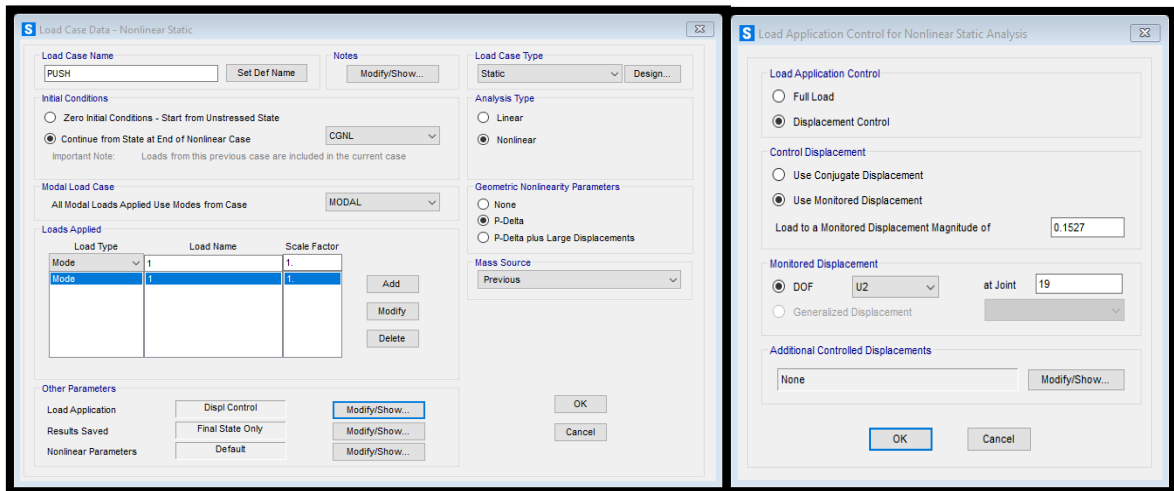


Fuente: SAP 2000

3.4.7. Definición de caso de carga no lineal (PUSH)

Se define el caso de carga no lineal push, esta trabajará en la dirección U2 es decir en la dirección donde se generan los máximos desplazamientos.

Figura 90. Definición de la carga no lineal PUSH y el desplazamiento objetivo

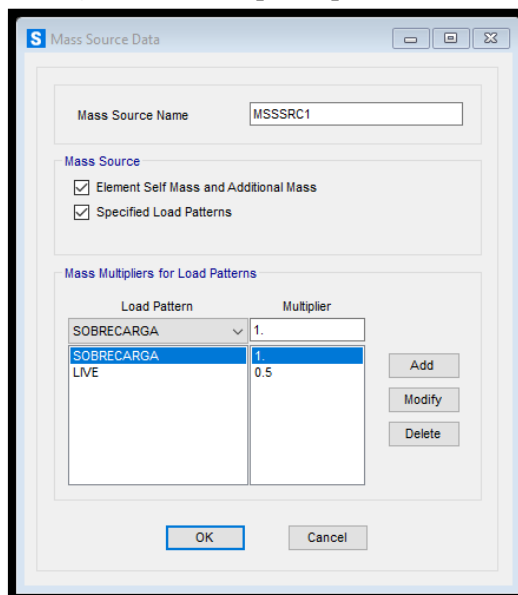


Fuente: SAP 2000

El desplazamiento objetivo usado para analizar cada uno de los pórticos se obtuvo a partir del cálculo de los desplazamientos producidos al momento del impacto del navío contra el muelle.

3.4.8. Definición de la masa participativa

Figura 91. Masa participativa

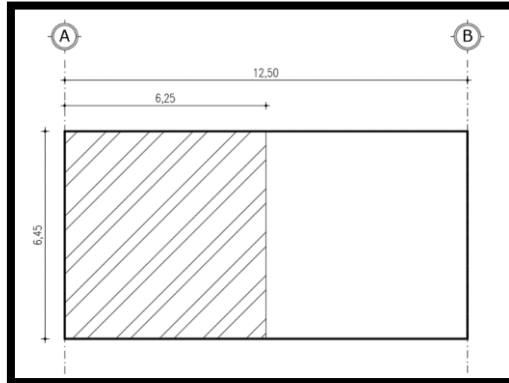


Fuente: SAP 2000

3.4.9. Cálculo de cargas lineales

Se calculan las áreas cooperantes para obtener las cargas lineales actuantes sobre cada pórtico.

Figura 92. Área cooperante para el pórtico eje A



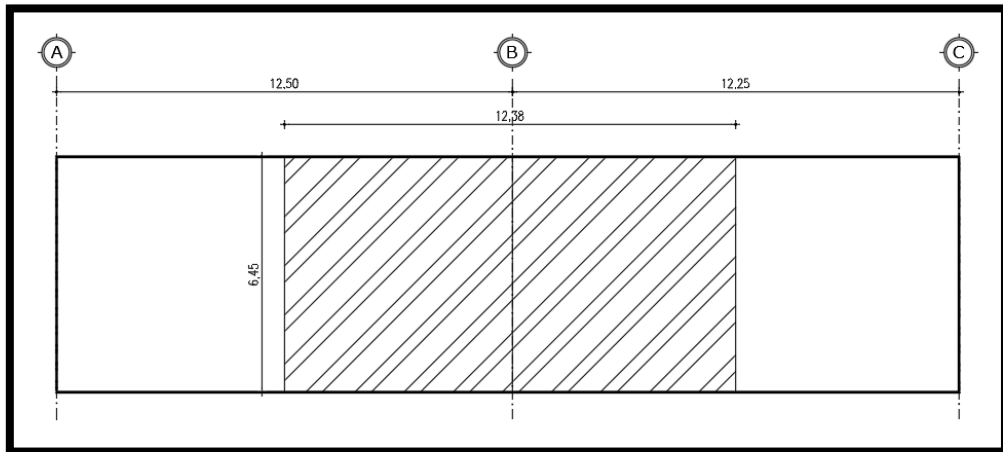
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 72. Cálculo de cargas lineales para el pórtico A

EJE A			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	40.31	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	33169.5	6.45	5142.56
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso específico H.A		2400	Kg/m ³
Vol losa para 1ml		0.625	m ³
CARGA LINEAL		1500	Kg/ml
LOSA	1500	6.45	9675.00
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	6642.56		42844.50
	Kg/ml		Total Kg
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77		186.05
	Kg/m ²		Total Kg/m
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200		1250.00
	Kg/m ²		Total Kg/m

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 93. Área cooperante para el pórtico eje B



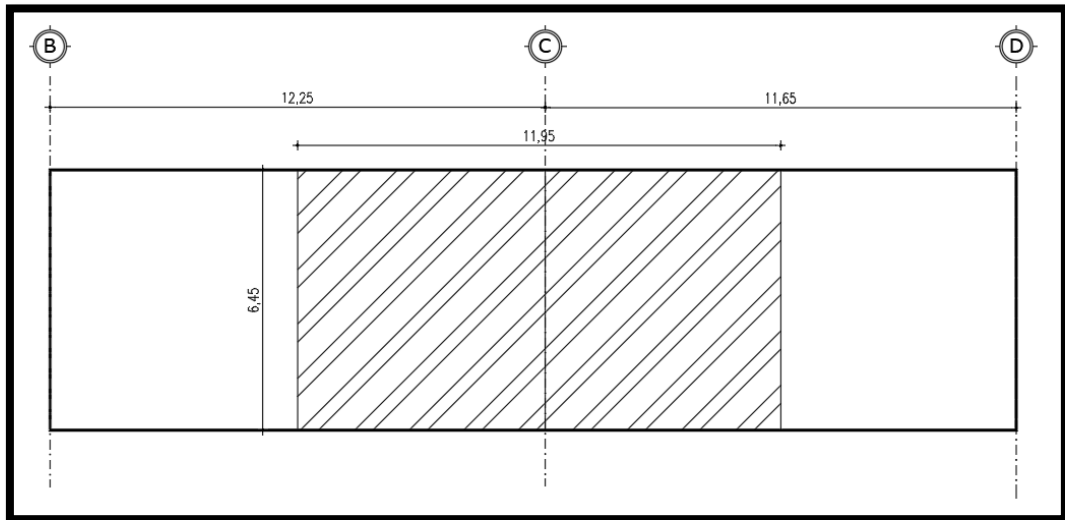
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 73. Cálculo de cargas lineales para el pórtico B

EJE B			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	79.85	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	65702.1456	6.45	10186.38
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso específico H.A	2400	Kg/m ³	
Vol losa para 1ml	1.238	m ³	
CARGA LINEAL	2971.2	Kg/ml	
LOSA	2971.2	6.45	19164.24
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	13157.58	84866.39	
	Kg/ml	Total Kg	
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77	368.52	
	Kg/m ²	Total Kg/m	
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200	2475.97	
	Kg/m ²	Total Kg/m	

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 94. Área cooperante para el pórtico eje C



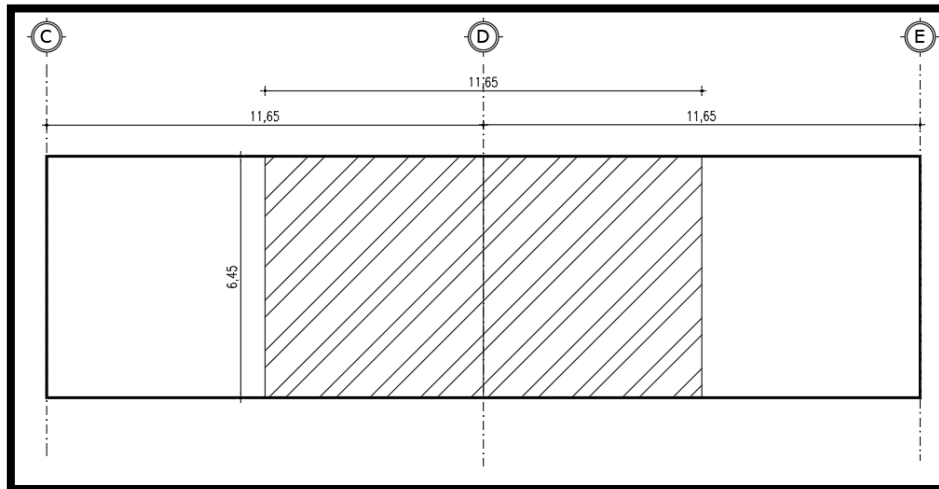
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 74. Cálculo de cargas lineales para el pórtico C

EJE C			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	77.07	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	63420.084	6.45	9832.57
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso específico H.A	2400	Kg/m ³	
Vol losa para 1ml	1.195	m ³	
CARGA LINEAL	2868	Kg/ml	
LOSA	2868	6.45	18498.60
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	12700.57	81918.68	
	Kg/ml	Total Kg	
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77	355.72	
	Kg/m ²	Total Kg/m	
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200	2389.77	
	Kg/m ²	Total Kg/m	

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 95. Área cooperante para el pórtico eje D



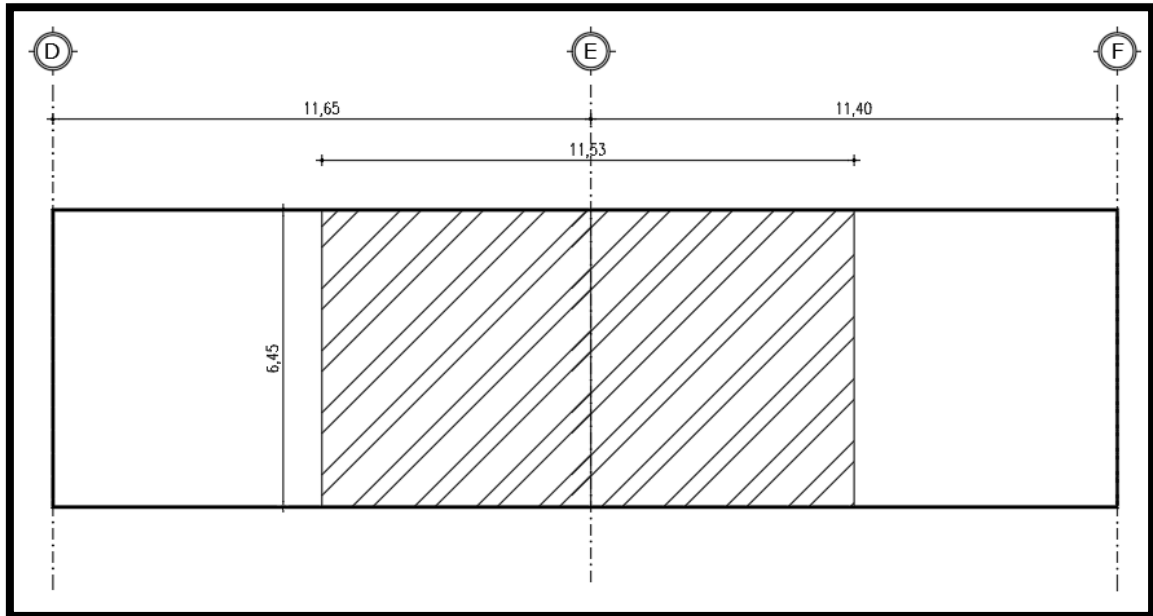
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 75. Cálculo de cargas lineales para el pórtico D

EJE D			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	75.14	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	61827.948	6.45	9585.73
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso específico H.A	2400		Kg/m ³
Vol losa para 1ml	1.165		m ³
CARGA LINEAL	2796		Kg/ml
LOSA	2796	6.45	18034.20
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	12381.73		79862.15
	Kg/ml		Total Kg
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77		346.79
	Kg/m ²		Total Kg/m
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200		2329.92
	Kg/m ²		Total Kg/m

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 96. Área cooperante para el pórtico eje E



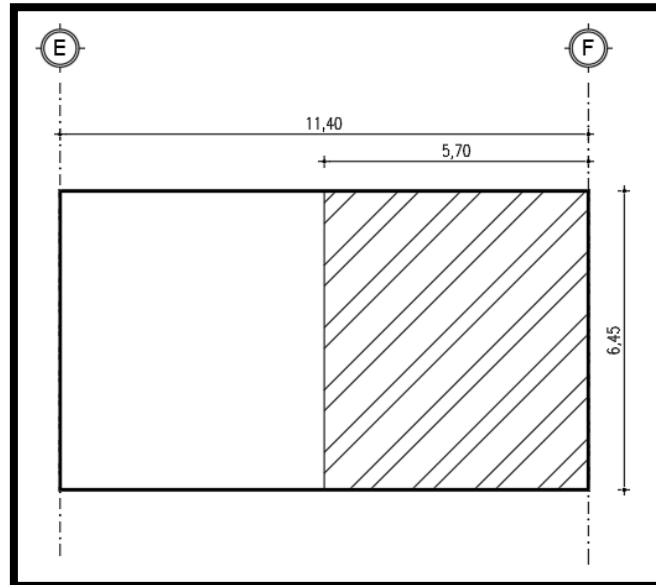
Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 76. Cálculo de cargas lineales para el pórtico E

EJE E			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	74.37	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	61191.0936	6.45	9486.99
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso especifico H.A	2400	Kg/m ³	
Vol losa para 1ml	1.153	m ³	
CARGA LINEAL	2767.2	Kg/ml	
LOSA	2767.2	6.45	17848.44
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	12254.19	79039.53	
	Kg/ml	Total Kg	
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77	343.22	
	Kg/m ²	Total Kg/m	
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200	2306.05	
	Kg/m ²	Total Kg/m	

Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 97. Área cooperante para el pórtico eje F



Fuente: Frías Córdova Christian

Tabla 77. Cálculo de cargas lineales para el pórtico F

EJE F			
ÁREA TRIBUTARIA (m ²)	36.77	LONG CABEZAL (m)	6.45
CARGAS LINEALES			
CARGA MUERTA			
VIGAS DOBLE T	30250.584	6.45	4690.01
	Total Kg	Long (m)	Total Kg/ml
LOSA			
Peso específico H.A	2400	Kg/m ³	
Vol losa para 1ml	0.57	m ³	
CARGA LINEAL		1368	Kg/ml
LOSA	1368	6.45	8823.60
	Kg/ml	Long (m)	Total Kg
TOTAL	6058.01	39074.18	
	Kg/ml	Total Kg	
SOBRECARGA			
SOBRECARGA	29.77	169.67	
	Kg/m ²	Total Kg/m	
CARGA VIVA			
CARGA VIVA	200	1140.00	
	Kg/m ²	Total Kg/m	

Fuente: Frías Córdova Christian

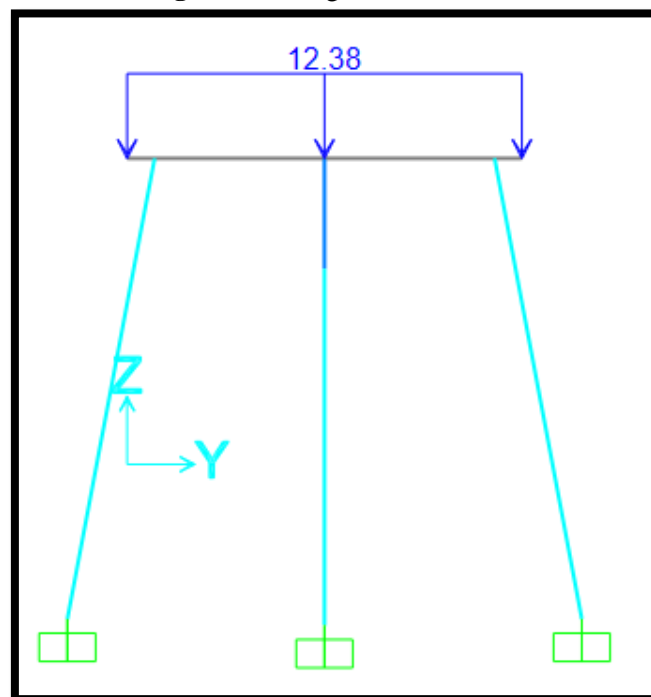
Para el pórtico el cual se está poniendo de ejemplo se utilizará los datos de la tabla 22, mismos que se proceden a ingresar en el programa como se muestra a continuación.

3.4.10. Asignación de cargas al pórtico

3.4.10.1. Carga muerta

La carga muerta ingresada proviene de la suma de la carga generada por las 7 vigas doble T que descansan sobre la viga T invertida principal y la losa la cual con un espesor de 10cm, al cuantificar estas cargas tenemos un resultado de 12.38 Ton/m en cual se aplica como una carga distribuida sobre la viga T invertida, este mismo criterio se aplica para el resto de cargas gravitacionales.

Figura 98. Carga muerta

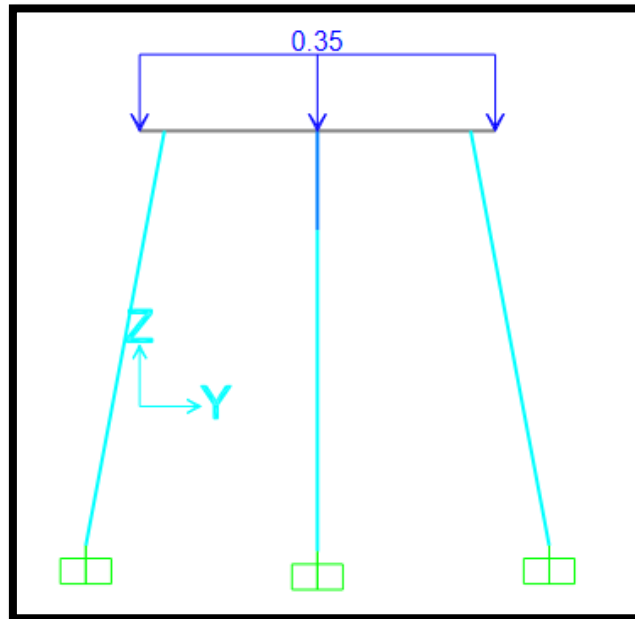


Fuente: SAP 2000

3.4.10.2. Sobrecarga

La sobrecarga viene dada de los elementos no estructurales del muelle como es el caso de los bordillos que se encuentran a cada extremo de la plataforma para lo cual se tiene un valor de 0.35 Ton/m.

Figura 99. Sobrecarga

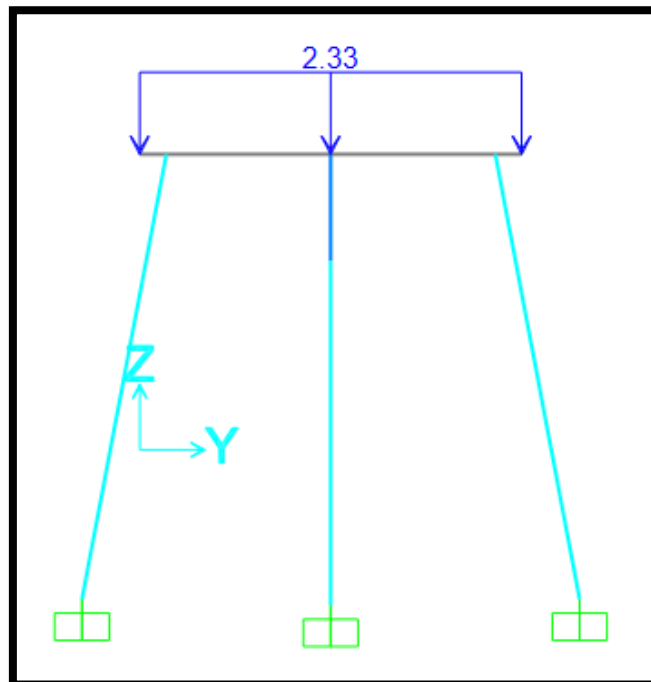


Fuente: SAP 2000

3.4.10.3. Carga viva

La carga viva se la hacen no de acuerdo con lo descrito en el capítulo anterior obteniendo una carga lineal para el pórtico mostrado de 2.33 Ton/m.

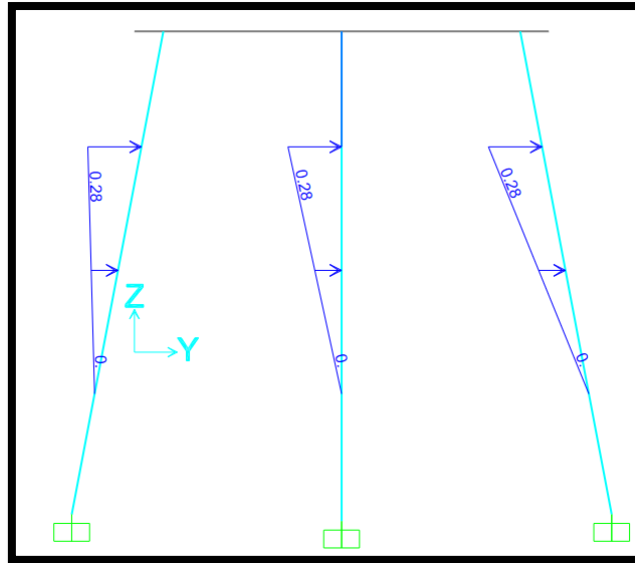
Figura 100. Carga Viva



Fuente: SAP 2000

3.4.10.4. Carga producida por las olas

Figura 101. Carga por olas

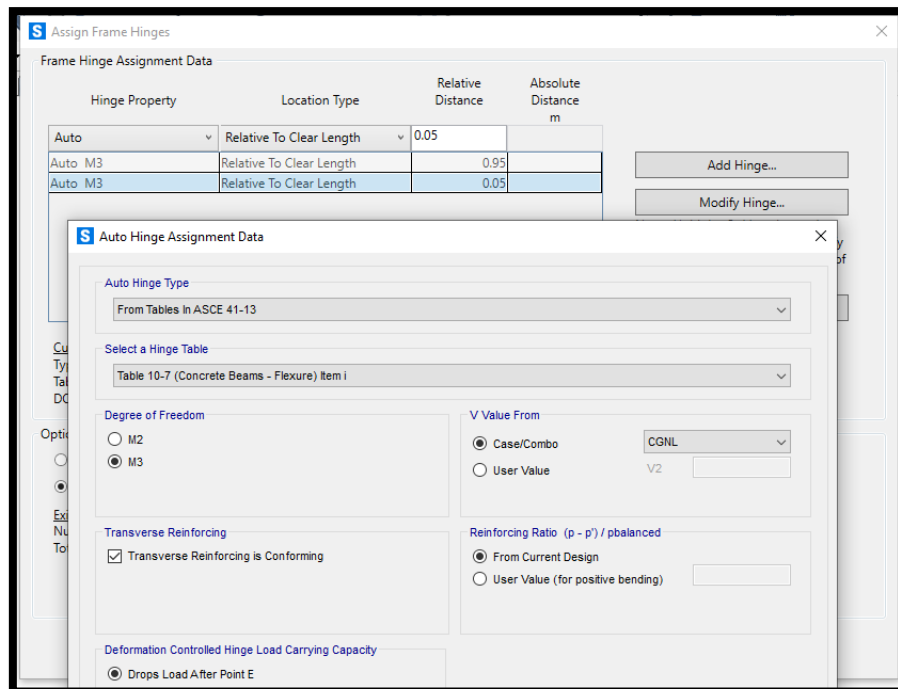


Fuente: SAP 2000

3.4.11. Asignación de rótulas plásticas

3.4.11.1. Rótulas plásticas en cabezal

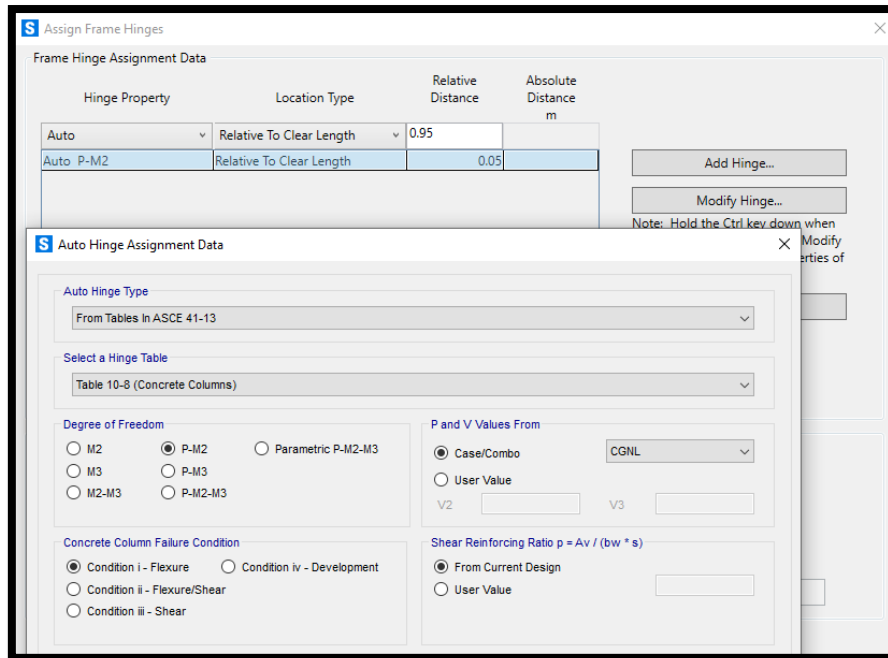
Figura 102. Rotulas plásticas en cabezal



Fuente: SAP 2000

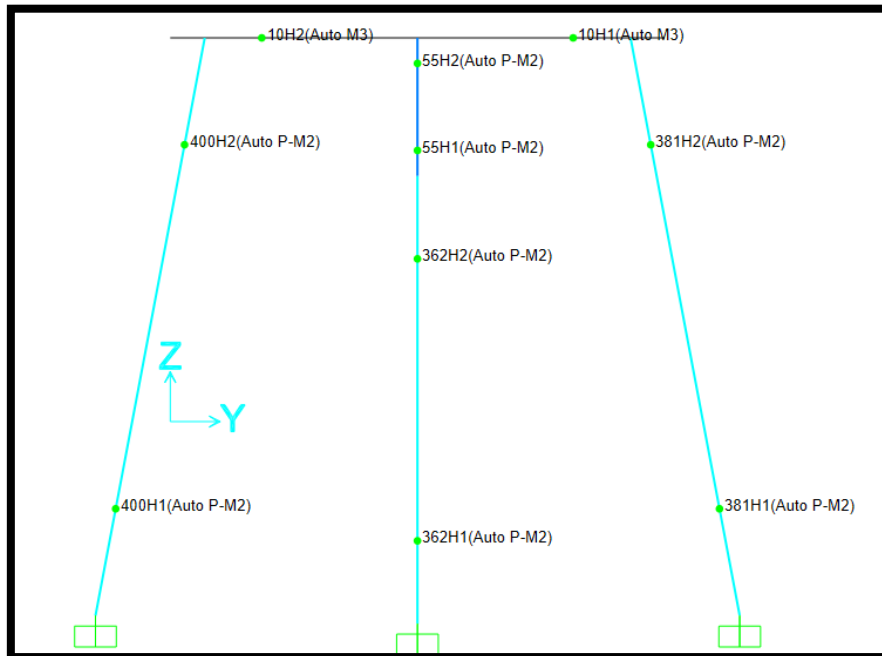
3.4.11.2. Rótulas plásticas en pilotes

Figura 103. Rotulas plásticas en pilotes



Fuente: SAP 2000

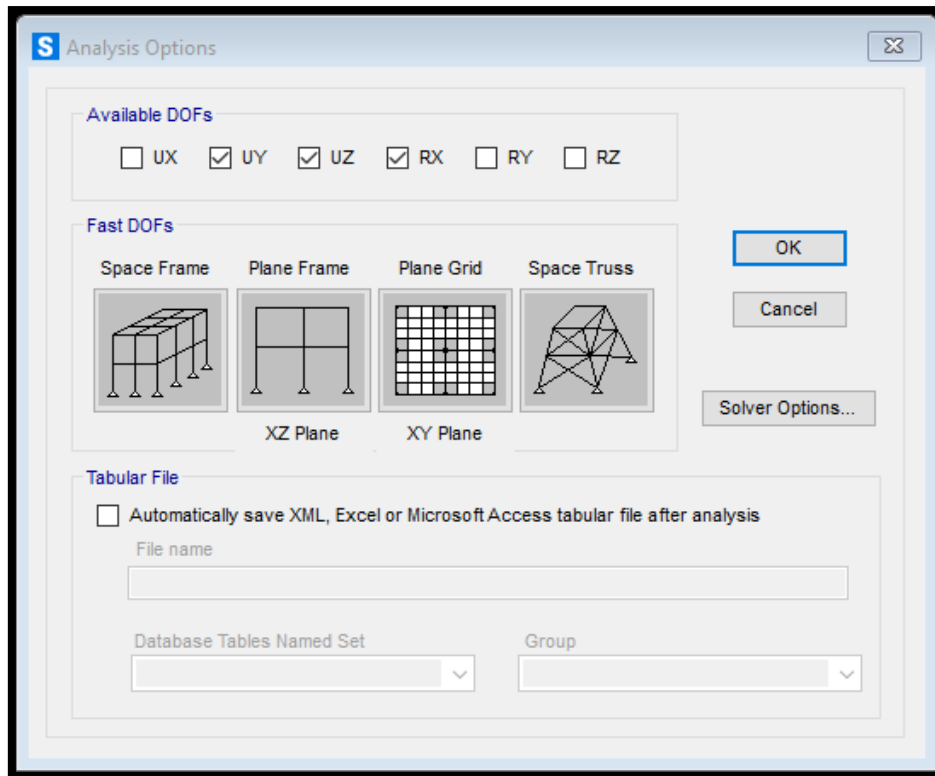
Figura 104. Vista de rótulas plásticas en vigas y pilotes



Fuente: SAP 2000

Una vez definidos correctamente todos los parámetros para el análisis no lineal configuramos al programa para que nos analice en el plano correcto el pórtico ingresado.

Figura 105. Parámetros de análisis no lineal



Fuente: SAP 2000

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Resultados de la inspección visual para verificar el estado del muelle.

Los daños causados luego del impacto producido del buque contra el muelle de servicio no fueron reparados en su totalidad por lo que se evidencia el deterioro progresivo de cada uno de los elementos estructurales mostrando las siguientes patologías:

- Existe una gran cantidad de grietas y fisuras en la unión de la viga T invertida - pilotes de todos los pórticos afectando en gran medida a la estabilidad y rigidez del muelle, de la misma forma las fisuras se extienden a lo largo de toda la sección longitudinal de cada uno de los pilotes.
- La pérdida del recubrimiento tanto en pilotes como en vigas T invertidas y vigas doble T causa que el acero de refuerzo presente un muy elevado nivel de corrosión provocando que en muchos puntos la sección transversal de este acero aumente y/o presente resquebrajamientos.
- Todos los pilotes tienen presencia de organismos marinos impregnados en el pilote lo que causa un constante deterioro de estos principalmente en las áreas fisuradas adentrándose al interior de cada pilote.
- Los pilotes del eje F son los que se encuentran mayormente afectados debido al fuerte agrietamiento, pérdida de sección transversal del pilote central afectando su resistencia y deformación permanente en todos los pilotes del eje disminuyendo la estabilidad de estos.
- El hormigón de la viga T invertida del pórtico del eje B presenta diversos daños como desprendimiento del recubrimiento en sus partes laterales dejando completamente expuesto al ambiente marino al acero de refuerzo motivo por el cual en esta sección el acero de refuerzo presenta pérdida de la sección transversal y el hormigón adyacente a este punto presenta gran cantidad de fisuras y porosidad.

4.2. Resultados del análisis modal espectral

4.2.1. Masa participativa de la estructura

Tabla 78. Verificación de la participación de masa

OutputCase	StepType	StepNum	Period	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
	Text	Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
MODAL	Mode	1	1.879656	0.998	3.644E-10	1.902E-10	0.998	3.644E-10	1.902E-10	1.144E-14	0.0004803	4.953E-10	1.144E-14	0.0004803	4.953E-10
MODAL	Mode	2	1.065474	7.567E-10	0.603	1.637E-08	0.998	0.603	1.656E-08	0.0006559	7.904E-09	0.363	0.0006559	0.0004803	0.363
MODAL	Mode	3	0.570616	8.655E-12	0.37	5.413E-09	0.988	0.37	2.207E-08	0.00194	6.356E-09	0.597	0.002598	0.0004803	0.597
MODAL	Mode	4	0.302915	1.842E-11	0.00906	4.688E-10	0.998	0.982	2.254E-08	0.0007102	7.217E-10	0.024	0.003306	0.0004803	0.985

Fuente: SAP 2000

El modelo matemático introducido en el programa alcanza el 90% de la masa participativa dentro de los 3 primeros modos de vibración, así como también los 2 primeros modos de vibración son traslacionales, lo que significa que cumple con la norma.

4.2.2. Periodo fundamental dinámico método 1 NEC-SE-DS

Cabe recalcar que las alturas tomadas para este caso van desde el punto de empotramiento hasta la parte superior del muelle.

PÓRTICO EJE A

H=4.45m

Tabla 79. Periodo fundamental pórtico Eje A (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	4.450	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coefficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.211	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

PÓRTICO EJE B

H=7.05m

Tabla 80. Periodo fundamental pórtico Eje B (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	7.050	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.319	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

PÓRTICO EJE C

H=7.15m

Tabla 81. Periodo fundamental pórtico Eje C (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	7.150	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.323	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

PÓRTICO EJE D

H=8.35m

Tabla 82. Periodo fundamental pórtico Eje D (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	8.350	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.371	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

PÓRTICO EJE E

H=9.75m

Tabla 83. Periodo fundamental pórtico Eje E (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	9.750	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.427	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

PÓRTICO EJE F

H=12.10m

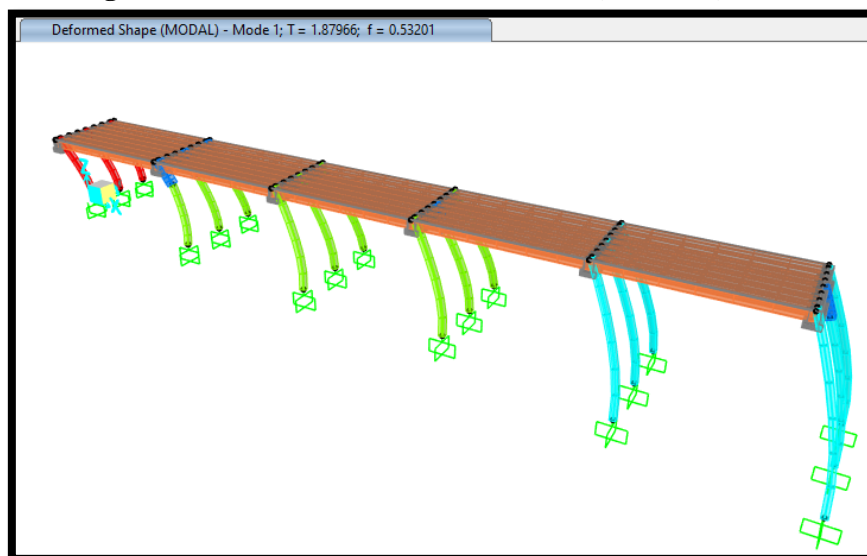
Tabla 84. Periodo fundamental pórtico Eje F (Método 1)

Altura de la edificación en metros	hn=	12.100	Capítulo	Página
Tipo Estructura	Porticos Espaciales de H.A. sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras			
Coficiente que depende del tipo de edificio	Ct=	0.055	6.3.3	62
	α =	0.900	6.3.3	62
Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.519	6.3.3 a)	62

Fuente: Frías Córdova Christian

Para el cálculo rige el periodo con mayor valor de los calculados para cada pórtico en este caso el periodo que se tomará para el estudio es de T=0.519

Figura 106. Periodo modal de la estructura (Método 2)



Fuente: SAP 2000

Tabla 85. Periodo fundamental Método 1 y periodo fundamental máximo permitido

Periodo de Vibracion Metodo 1	Ta CODIGO=	0.519	6.3.3 a)	62
Periodo de Vibracion Metodo 2	1.3 * Ta Codigo	0.674	6.3.3 b)	63

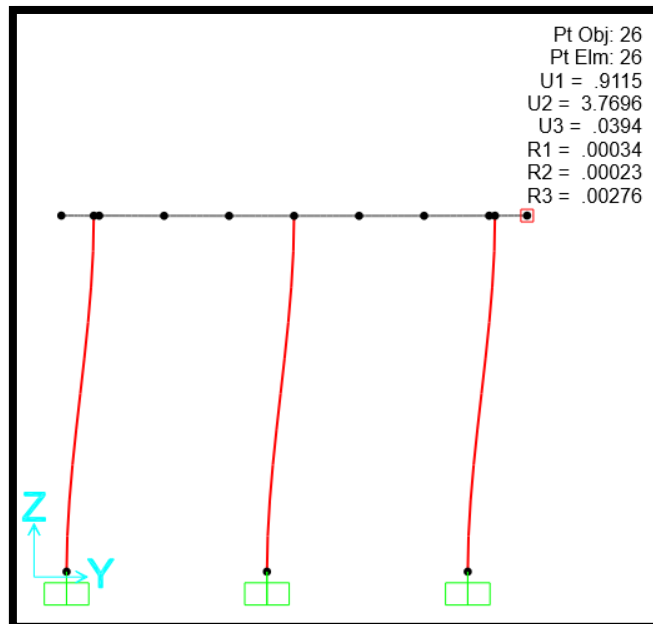
Fuente: Frías Córdova Christian

El periodo calculado por el método 2 de la estructura nos arroja un valor de $T=1.88$ mismo que no cumple con el período máximo permitido con la norma que es de $T=0.674$.

4.2.3. Análisis de derivas de pórticos

Pórtico eje A

Figura 107. Desplazamiento del pórtico A en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

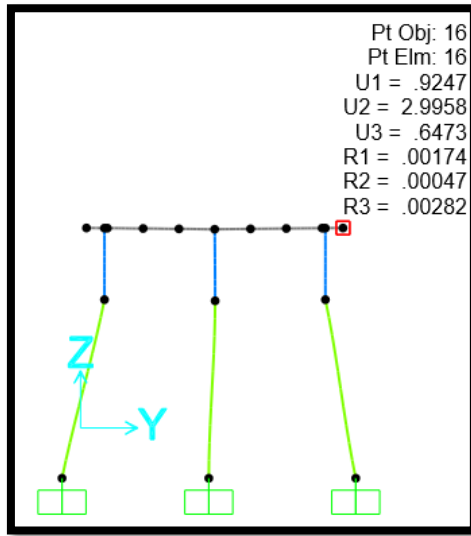
Tabla 86. Derivas inelásticas Pórtico Eje A

PÓRTICO A		R									3	
Joint	OutputCase	Δx	Δy	Elevación	X	Y	DERIVA	DERIVA	DERIVA MAX	X	Y	
		cm	cm	cm			INELÁSTICA X	INELÁSTICA Y	NEC -15			
25	SISMO X	27.135392	0.078546	492.65	0.05508047	0.00015944	12.39%	0.0%	2.00%	NO CUMPLE	CUMPLE	
25	SISMO Y	0.911247	3.769639	492.65	0.00184968	0.00765176	0.42%	1.7%	2.00%	CUMPLE	CUMPLE	
26	SISMO X	27.135012	0.077501	492.65	0.0550797	0.00015731	12.39%	0.0%	2.00%	NO CUMPLE	CUMPLE	
26	SISMO Y	0.911459	3.769601	492.65	0.00185011	0.00765168	0.42%	1.7%	2.00%	CUMPLE	CUMPLE	

Fuente: Frías Córdova Christian

Pórtico eje B

Figura 108. Desplazamiento del pórtico B en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

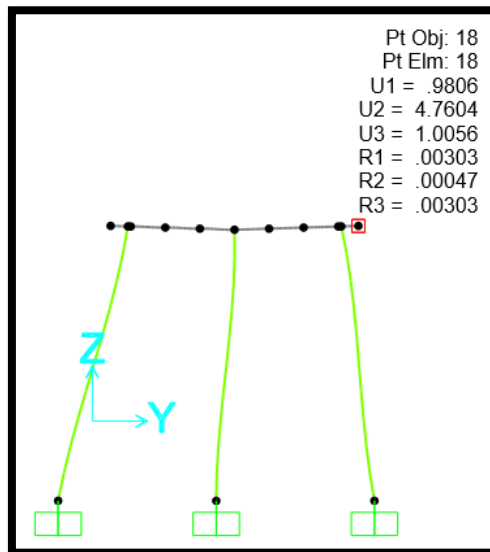
Tabla 87. Derivas inelásticas Pórtico Eje B

PÓRTICO B					R		3				
Joint	OutputCase	Δx	Δy	Elevación	X	Y	DERIVA	DERIVA	DERIVA MAX	X	Y
		cm	cm	cm			INELÁSTICA X	INELÁSTICA Y	NEC -15		
15	SISMO X	26.853371	0.03451	626.5	0.04286252	5.5084E-05	9.6%	0.01%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
15	SISMO Y	0.92453	2.995704	626.5	0.00147571	0.00478165	0.3%	1.08%	2%	CUMPLE	CUMPLE
16	SISMO X	26.853092	0.034556	626.5	0.04286208	5.5157E-05	9.6%	0.01%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
16	SISMO Y	0.924732	2.995786	626.5	0.00147603	0.00478178	0.3%	1.08%	2%	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: Frías Córdova Christian

Pórtico eje C

Figura 109. Desplazamiento del pórtico C en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

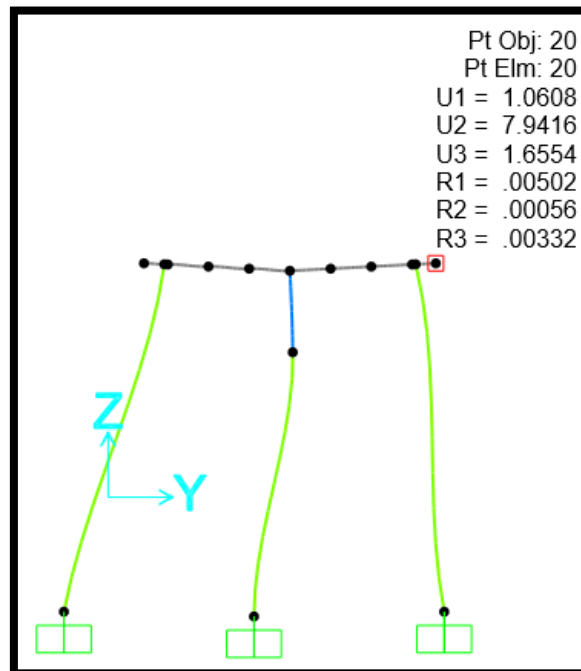
Tabla 88. Derivas inelásticas Pórtico Eje C

PÓRTICO C		R			3					X	Y
Joint	OutputCase	Δx	Δy	Elevación	X	Y	DERIVA	DERIVA	DERIVA MAX		
		cm	cm	cm			INELÁSTICA X	INELÁSTICA Y	NEC -15		
17	SISMO X	26.719283	0.020282	708.16	0.03773057	2.864E-05	8.5%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
17	SISMO Y	0.980439	4.760243	708.16	0.00138449	0.00672199	0.3%	1.5%	2%	CUMPLE	CUMPLE
18	SISMO X	26.719078	0.021075	708.16	0.03773028	2.976E-05	8.5%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
18	SISMO Y	0.980613	4.760363	708.16	0.00138473	0.00672216	0.3%	1.5%	2%	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: Frías Córdova Christian

Pórtico eje D

Figura 110. Desplazamiento del pórtico D en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

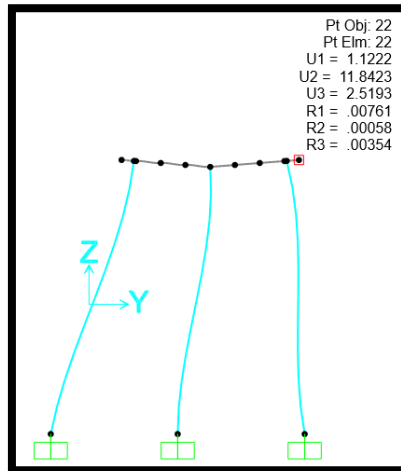
Tabla 89. Derivas inelásticas Pórtico Eje D

PÓRTICO D		R			3					X	Y
Joint	OutputCase	Δx	Δy	Elevación	X	Y	DERIVA	DERIVA	DERIVA MAX		
		cm	cm	cm			INELÁSTICA X	INELÁSTICA Y	NEC -15		
19	SISMO X	26.583886	0.067381	763.33	0.0348262	8.8272E-05	7.8%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
19	SISMO Y	1.060592	7.941365	763.33	0.00138943	0.01040358	0.3%	2.3%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE
20	SISMO X	26.583715	0.068738	763.33	0.03482598	9.005E-05	7.8%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
20	SISMO Y	1.060754	7.941551	763.33	0.00138964	0.01040382	0.3%	2.3%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Frías Córdova Christian

Pórtico eje E

Figura 111. Desplazamiento del pórtico E en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

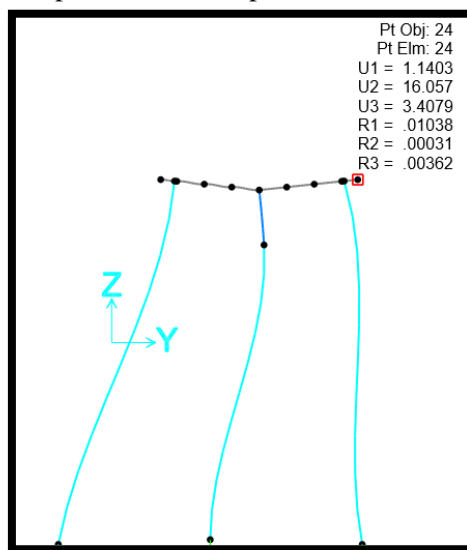
Tabla 90. Derivas inelásticas Pórtico Eje E

PÓRTICO E		R			3		DERIVA		DERIVA MAX		
Joint	OutputCase	Δx	Δy	Elevación	X	Y	INELÁSTICA X	INELÁSTICA Y	NEC -15	X	Y
		cm	cm	cm							
21	SISMO X	26.394101	0.12324	971.88	0.02715778	0.00012681	6.1%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
21	SISMO Y	1.122056	11.84206	971.88	0.00115452	0.01218469	0.3%	2.7%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE
22	SISMO X	26.393929	0.125151	971.88	0.0271576	0.00012877	6.1%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
22	SISMO Y	1.122237	11.842349	971.88	0.00115471	0.01218499	0.3%	2.7%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Frías Córdova Christian

Pórtico eje F

Figura 112. Desplazamiento del pórtico F en el Sentido Y



Fuente: SAP 2000

Tabla 91. Derivas inelásticas Pórtico Eje F

PÓRTICO F		R 3									
Joint	OutputCase	Δx cm	Δy cm	Elevación cm	X	Y	DERIVA INELÁSTICA X	DERIVA INELÁSTICA Y	DERIVA MAX NEC -15	X	Y
23	SISMO X	26.259557	0.186271	1145.71	0.0229199	0.00016258	5.2%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
23	SISMO Y	1.139974	16.056364	1145.71	0.00099499	0.01401434	0.2%	3.2%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE
24	SISMO X	26.259392	0.188714	1145.71	0.02291975	0.00016471	5.2%	0.0%	2%	NO CUMPLE	CUMPLE
24	SISMO Y	1.140328	16.057005	1145.71	0.0009953	0.01401489	0.2%	3.2%	2%	CUMPLE	NO CUMPLE

Fuente: Frías Córdova Christian

Resumen de resultados de derivas

Tabla 92. Cuadro resumen de derivas inelásticas

CUADRO RESUMEN DE DERIVAS	
PÓRTICO	DERIVA (%)
A	1.72%
B	1.08%
C	1.5%
D	2.3%
E	2.7%
F	3.2%

Fuente: Frías Córdova Christian

Como se puede observar únicamente los pórticos del eje A y B están dentro del rango permitido por la Norma Ecuatoriana de la Construcción, misma que nos dice que la deriva inelástica máxima permitida es del 2%, el resto de los pórticos superan por mucho lo dispuesto en la norma lo que significa que dichos pórticos presentarán desplazamientos excesivos ante un evento sísmico lo que deriva en posibles daños graves en los elementos estructurales.

4.2.3.1. Nivel de desempeño estructural en función de las distorsiones de los pórticos del muelle

En base a las derivas elásticas obtenidas se puede obtener un nivel de desempeño esperado para la edificación analizada compuesta por pórticos de hormigón armado gracias a la correlación propuesta por el manual técnico HAZUS-MH-MR3 elaborado por la Agencia Federal para el Manejo de Desastres de Estados Unidos FEMA, en cual nos permite

relacionar la distorsión de la estructura y su comportamiento ante eventuales movimientos sísmicos, estas consideraciones las podemos encontrar en la tabla 93 presentada a continuación.

Tabla 93. Cuadro resumen de derivas inelásticas

Estado de Daño	Descripción	Distorsión Límite	Deriva Inelástica Permitida Para el Muelle
Leve	Puede observarse grietas de flexión y/o corte cerca de algunas vigas y columnas	0.0033	0.7%
Moderado	La mayoría de vigas y columnas presentan agrietamiento, algunos elementos han alcanzado fluencia. Se evidencia largas grietas de flexión y desprendimiento de recubrimiento.	0.0057	1.28%
Extenso	Algunos pórticos han alcanzado su capacidad última, se evidencia largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado.	0.0156	3.5%
Completo	La estructura a colapsado o está en peligro inminente de colapso debido a falla frágil, agotamiento de la ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.	0.04	9.0%

Fuente: HAZUS-MH-MR3 [33]

En base a las consideraciones presentadas anteriormente las distorsiones propuestas por HAZUS-MH-MR3 se transformaron a derivas inelásticas consiguiendo de esta forma tener una idea aproximada del daño que tendrán los pórticos de la estructura analizada ante un eventual evento sísmico, los resultados se presentan a continuación en la tabla 94.

Tabla 94. Cuadro resumen de derivas inelásticas

ESTADO DE DAÑO DE PÓRTICOS		
PÓRTICO	DERIVA (%)	DAÑO
A	1.72%	MODERADO
B	1.08%	MODERADO
C	1.5%	MODERADO
D	2.3%	MODERADO
E	2.7%	EXTENSO
F	3.2%	EXTENSO

Fuente: Frías Córdova Christian

4.2.4. Chequeo del cortante basal estático y dinámico

Tabla 95. Cuadro resumen de derivas inelásticas

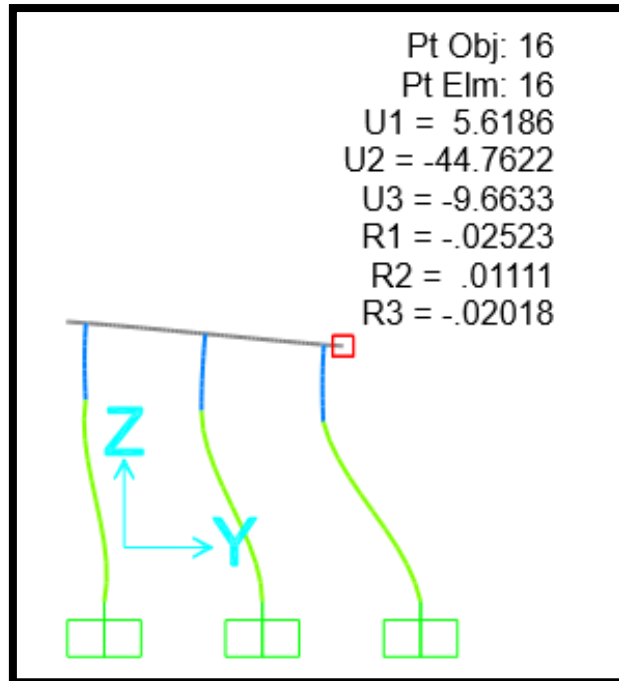
TABLE: Base Reactions										
OutputCase	CaseType	StepType	GlobalFX	GlobalFY	GlobalFZ	GlobalMX	GlobalMY	GlobalMZ		
Text	Text	Text	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf-cm	Kgf-cm	Kgf-cm		
SX	LinStatic		-229420.78	-7.822E-08	5.905E-10	0.00003581	-114086663	81277432		
SY	LinStatic		7.091E-08	-229420.78	2.503E-09	114086662.8	-0.000006356	-752595894		
COMB ESPEC X	Combination	Max	85033.86	3.58	35.98	11772.85	42333984.12	30133783.7	-2.15839	-51267.2
COMB ESPEC X	Combination	Min	-85033.86	-3.58	-35.98	-11772.85	-42333984	-30133783.7	2.158395	51267.21
COMB ESPEC Y	Combination	Max	3.58	125689.6	64.03	59188357.74	178008.75	460779607	-51267.2	-1.46024
COMB ESPEC Y	Combination	Min	-3.58	-125689.6	-64.03	-59188358	-178008.75	-460779607	51267.21	1.460237

Fuente: Frías Córdova Christian

No cumple el chequeo del V dinámico >80% V estático

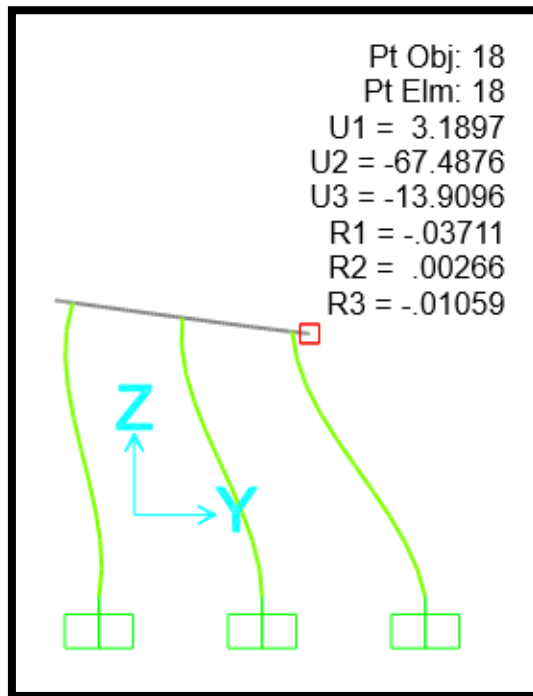
4.2.5. Resultado de los desplazamientos producidos debido a la fuerza de impacto y a la fuerza de atraque

Figura 113. Desplazamiento del pórtico B en el Sentido Y



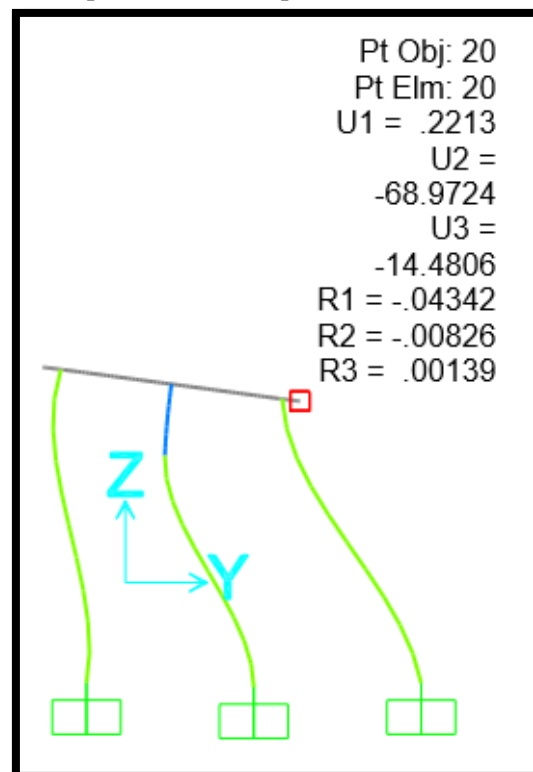
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 114. Desplazamiento del pórtico C en el Sentido Y



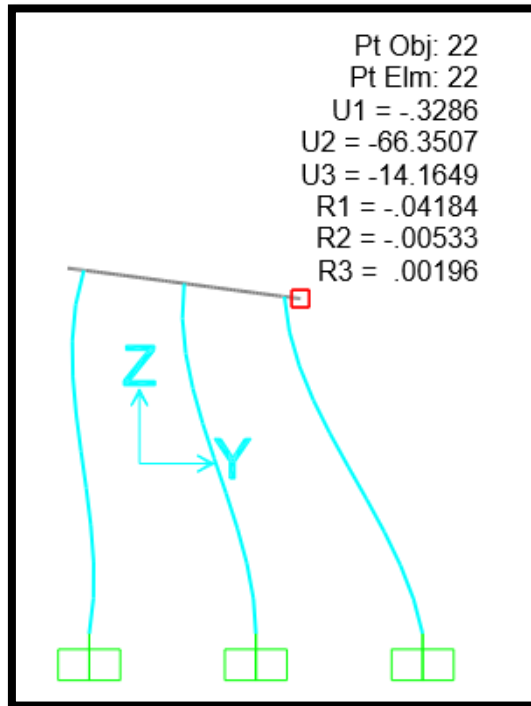
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 115. Desplazamiento del pórtico D en el Sentido Y



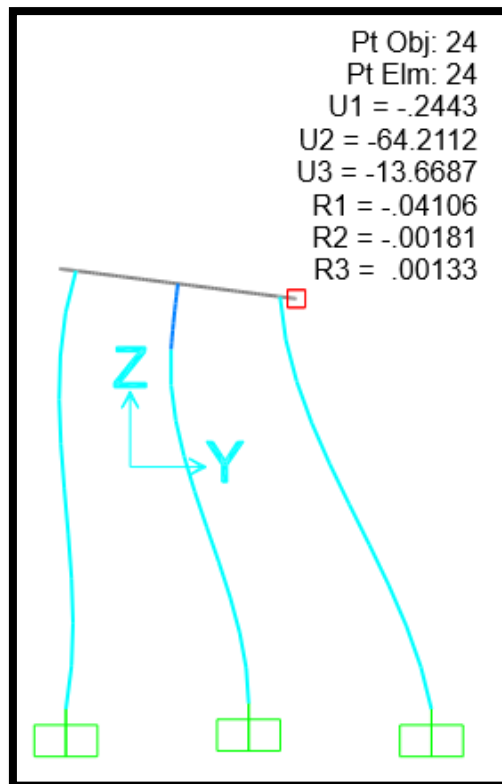
Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 116. Desplazamiento del pórtico E en el Sentido Y



Fuente: Frías Córdova Christian

Figura 117. Desplazamiento del pórtico F en el Sentido Y

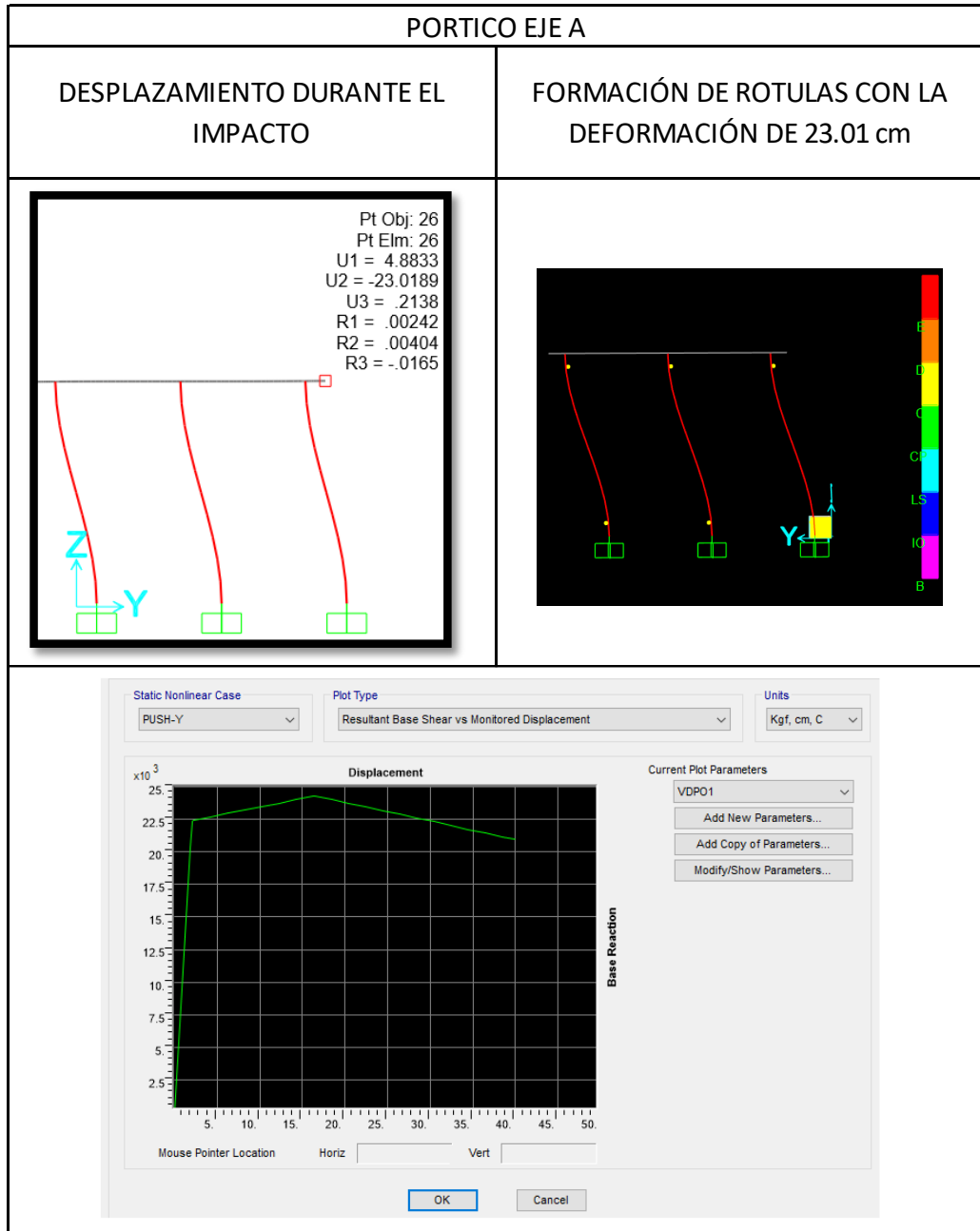


Fuente: Frías Córdova Christian

4.3. Resultados del análisis no lineal PUSHOVER

4.3.1. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje A

Tabla 96. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico A



Fuente: Frías Córdova Christian

Al aplicar el desplazamiento generado al momento del impacto se puede verificar la formación de rótulas plásticas al inicio y al final de pilotes del eje A, las mismas que se

encuentran entre el límite C y D.

4.3.2. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje

A

Tabla 97. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje A

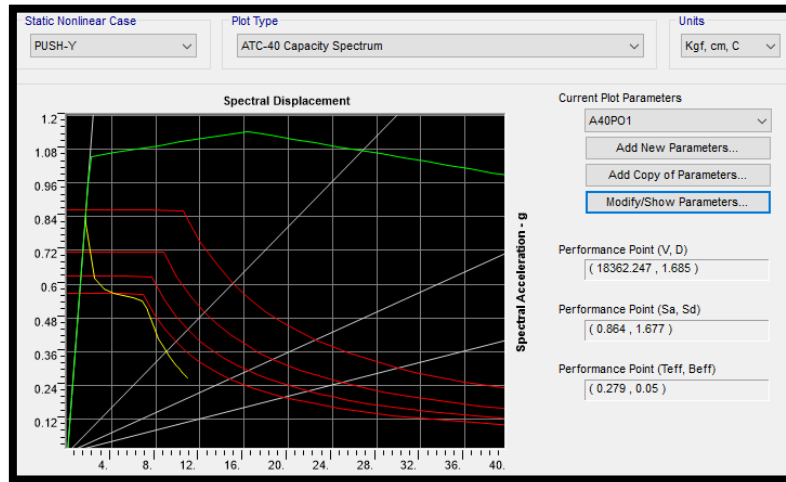
HISTORIAL DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN EL PÓRTICO A												
LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH-Y	0	0.000061	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	1	0.018641	20319.75	6	2	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	2	0.021363	22327.88	3	5	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	3	0.022021	22409.7	2	6	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	4	0.042021	22678.51	2	4	2	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	5	0.062021	22956.65	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	6	0.082021	23222.97	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	7	0.102021	23487.94	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	8	0.122021	23753.08	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	9	0.142021	24017.58	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	10	0.161935	24273.25	2	0	4	0	0	2	0	0	8
PUSH-Y	11	0.164846	24287.77	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	12	0.184846	24011.11	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	13	0.204846	23721.84	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	14	0.224846	23445.33	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	15	0.244846	23153.66	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	16	0.264846	22877.34	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	17	0.284846	22585.94	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	18	0.304846	22309.8	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	19	0.324846	22018.93	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	20	0.344846	21742.97	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	21	0.364846	21452.65	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	22	0.384846	21176.89	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	23	0.400061	20955.08	2	0	0	0	0	6	0	0	8

Fuente: Frías Córdova Christian

En la tabla 97 se puede verificar que de las ocho rótulas ingresadas en el pórtico seis incurrieron en el límite entre C y D lo que significa que dichas rótulas sufrieron una pérdida de resistencia a la carga lateral, y el resto de las rótulas pertenecientes a la viga T invertida se encuentran entre A y B; esto al alcanzar el desplazamiento máximo generado al momento de la colisión con el buque M.N. HUALCOPO, de esta forma se puede verificar que la formación de rótulas plásticas se presenta primero en los pilotes y no en las vigas demostrando un pésimo comportamiento estructural.

4.3.3. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico A

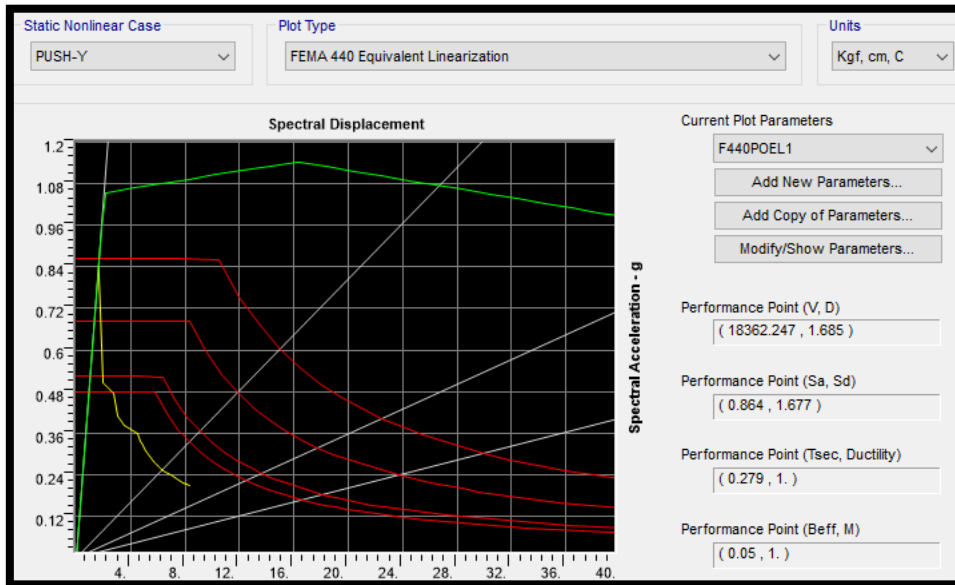
Figura 118. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico A



Fuente: Frías Córdova Christian

El programa de cálculo nos permite obtener el punto de desempeño por varios métodos, uno de estos es el propuesto por la norma ATC-40, donde se obtuvo un punto de desempeño como un cortante de 18.36 Ton y un desplazamiento de 1.685 cm antes de que el pórtico incurriera en el rango inelástico, esto quiere decir que el pórtico puede desplazarse 1.685 cm sin que el muelle presente daños considerables en los elementos estructurales que lo componen.

Figura 119. Desempeño calculado por el método de la Linearización Equivalente pórtico A

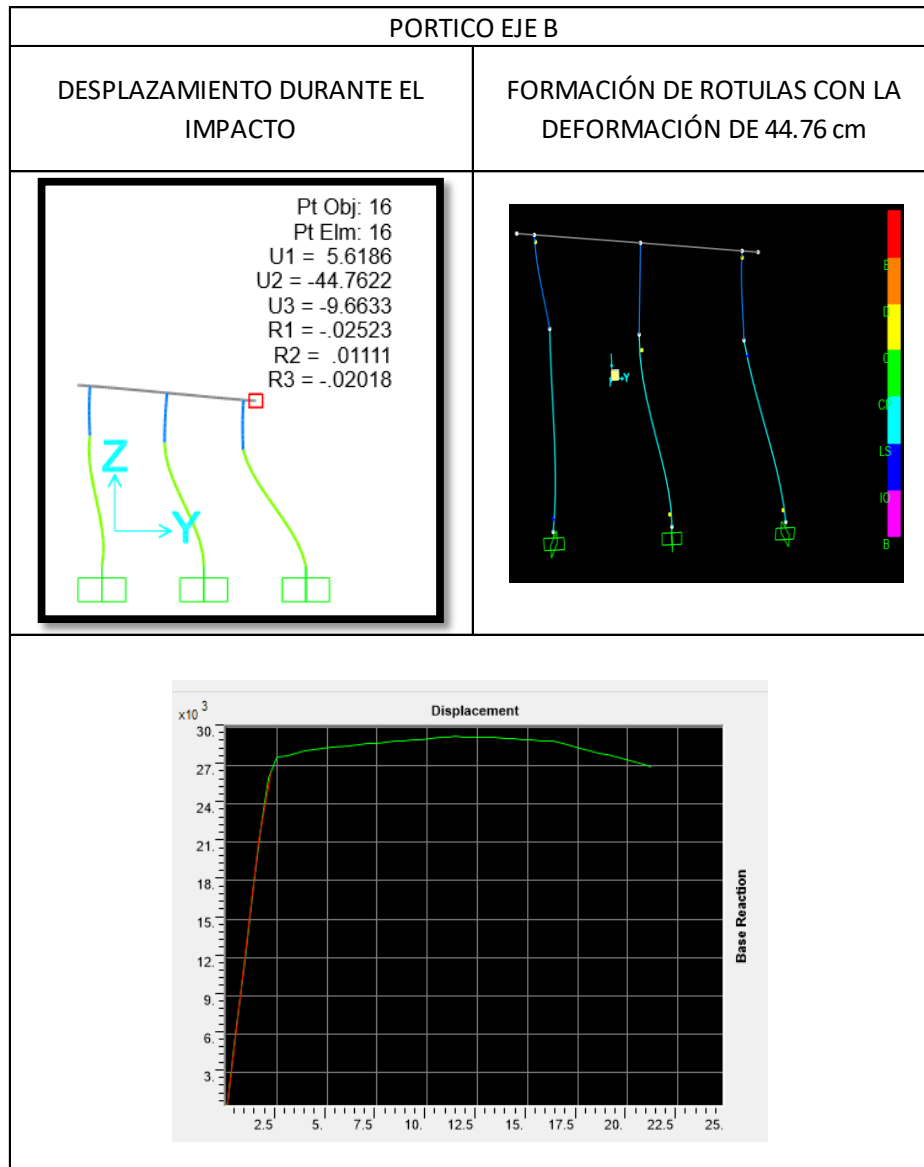


Fuente: Frías Córdova Christian

Los resultados son similares si se analiza el pórtico con el método de Linearización Equivalente propuesto por FEMA-440, dándonos un cortante de 18.36 Ton y 1.685 cm antes que incurriere en el rango inelástico.

4.3.4. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje B

Tabla 98. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico B



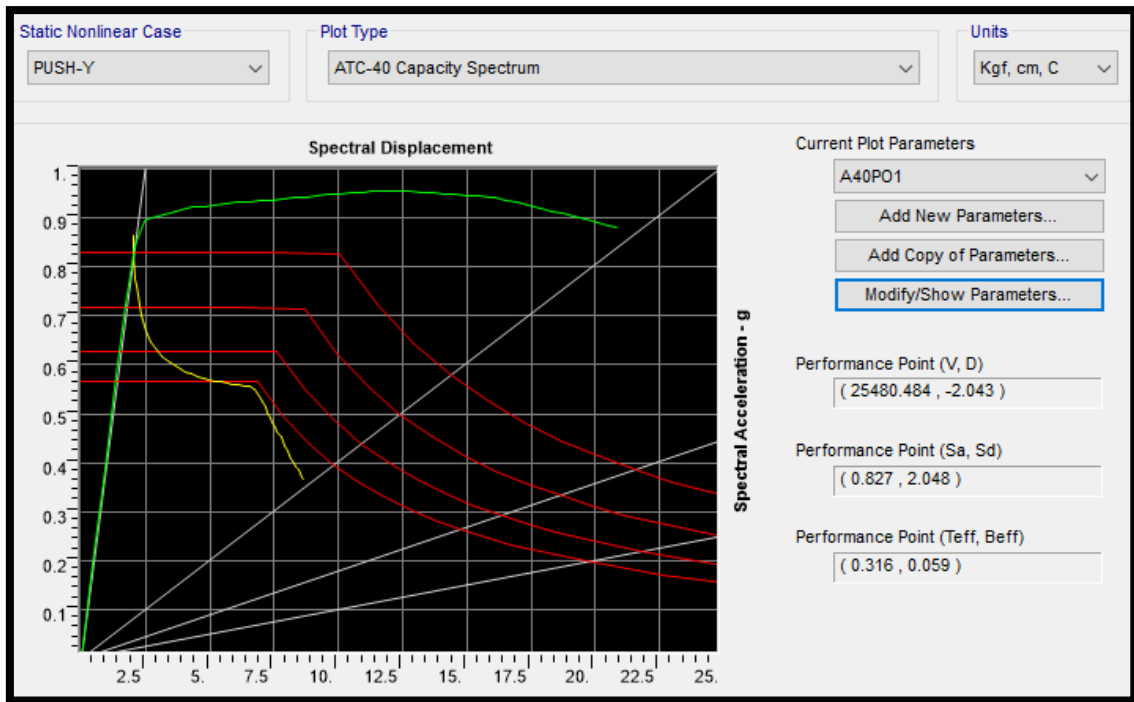
Fuente: Frías Córdova Christian

De la misma forma que el pórtico del eje A, al analizar el pórtico aplicando los desplazamientos producidos por el impacto del buque se puede verificar la formación de

rótulas plásticas en todos los pilotes del eje mismas que se encuentran entre el límite C y D.

4.3.5. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico B

Figura 120. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico B



Fuente: Frías Córdova Christian

El punto de desempeño calculado con el método propuesto por la norma ATC-40, dio como resultado un cortante de 25.48 Ton y un desplazamiento de 2.043 cm antes de que el pórtico incurriera en el rango inelástico, esto quiere decir que el pórtico puede desplazarse 2.043 cm sin que el muelle presente daños considerables en los elementos estructurales que lo componen.

4.3.6. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje B

En la tabla 99 se puede verificar que de las catorce rótulas ingresadas en el pórtico cinco incurrieron en el límite entre C y D lo que significa que dichas rótulas sufrieron una pérdida de resistencia a la carga lateral, dos rótulas se encuentran entre IO y LS y siete

rótulas se encuentran entre A y B ; esto al alcanzar el desplazamiento máximo generado al momento de la colisión con el buque M.N. HUALCOPO, de esta forma se puede verificar que la formación de rótulas plásticas se presenta primero en los pilotes y no en las vigas demostrando un pésimo comportamiento estructural.

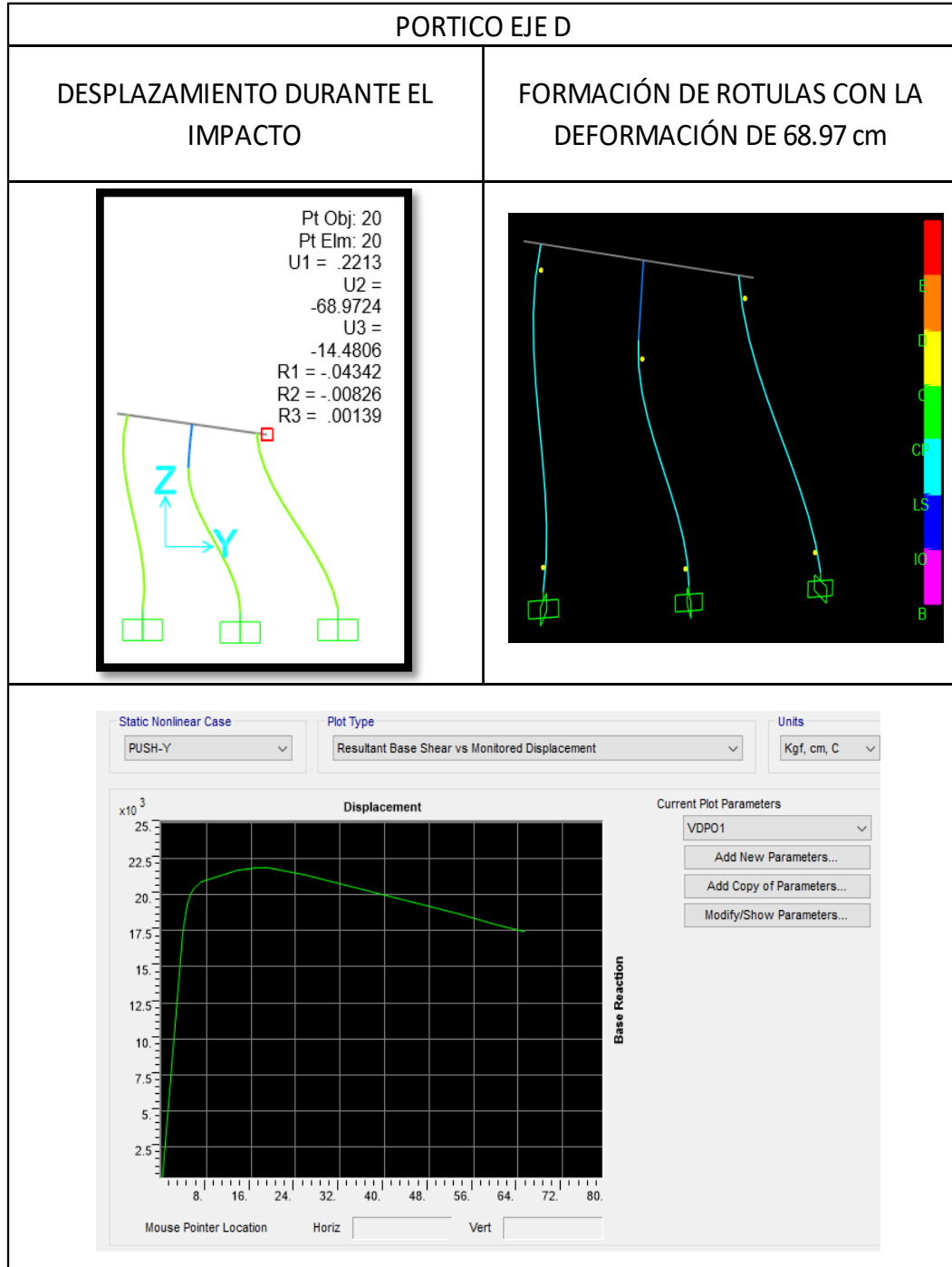
Tabla 99. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje B

HISTORIAL DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN EL PÓRTICO B												
LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoO	IOtoLS	LStoCP	CPToC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	cm	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH-Y	0	0.00695	0	14	0	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	1	-0.44305	5929.67	14	0	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	2	-0.89305	11859.42	14	0	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	3	-1.34305	17789.25	14	0	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	4	-1.686262	22311.94	13	1	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	5	-2.108956	26069.59	11	3	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	6	-2.430435	27492	10	4	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	7	-2.522631	27655.13	9	5	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	8	-2.97359	27815.58	9	5	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	9	-3.424381	27995.68	9	5	0	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	10	-3.875293	28155.58	9	1	4	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	11	-4.287391	28306.8	7	2	5	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	12	-4.737365	28380.11	7	2	5	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	13	-5.187296	28457.25	7	2	5	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	14	-6.085819	28597.7	7	2	5	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	15	-6.535395	28657.61	7	2	5	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	16	-6.98504	28717.29	7	1	6	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	17	-7.434677	28777.65	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	18	-7.884325	28837.42	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	19	-8.333974	28896.99	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	20	-8.783627	28956.16	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	21	-9.233236	29013.61	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	22	-9.682825	29070.13	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	23	-10.132421	29126.44	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	24	-10.58202	29182.45	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	25	-11.031622	29238.12	7	0	7	0	0	0	0	0	14
PUSH-Y	26	-11.414699	29283.81	7	0	6	0	0	1	0	0	14
PUSH-Y	27	-11.864523	29275.89	7	0	6	0	0	1	0	0	14
PUSH-Y	28	-12.314316	29268.73	7	0	6	0	0	1	0	0	14
PUSH-Y	29	-12.76412	29260.7	7	0	6	0	0	1	0	0	14
PUSH-Y	30	-12.995667	29253.62	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	31	-13.445635	29212.66	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	32	-13.895493	29160.31	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	33	-14.345406	29118.39	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	34	-14.795234	29063.57	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	35	-15.245146	29020.79	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	36	-15.694977	28965.17	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	37	-16.144891	28921.7	7	0	5	0	0	2	0	0	14
PUSH-Y	38	-16.326417	28893.23	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	39	-16.776413	28717.21	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	40	-17.226283	28544.96	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	41	-17.676109	28370.12	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	42	-18.125824	28193.91	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	43	-18.575563	28018.33	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	44	-19.025289	27842.85	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	45	-19.475012	27667.5	7	0	4	0	0	3	0	0	14
PUSH-Y	46	-19.924832	27501.39	7	0	3	0	0	4	0	0	14
PUSH-Y	47	-20.823664	27094.52	7	0	3	0	0	4	0	0	14
PUSH-Y	48	-21.146387	26955.3	7	0	2	0	0	5	0	0	14

Fuente: Frías Córdova Christian

4.3.7. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje D

Tabla 100. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico D



Fuente: Frías Córdova Christian

Al igual que el pórtico del eje B, al analizar el pórtico aplicando los desplazamientos producidos por el impacto del buque se puede verificar la formación de rótulas plásticas

en todos los pilotes del eje mismas que se encuentran entre el límite C y D, lo que se puede verificar al momento de analizar el registro fotográfico de estos pilotes donde se encuentra que en los puntos donde se generaron estas rótulas existe daño por agrietamientos o fisuras debilitando la estructura.

4.3.8. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje D

Tabla 101. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje D

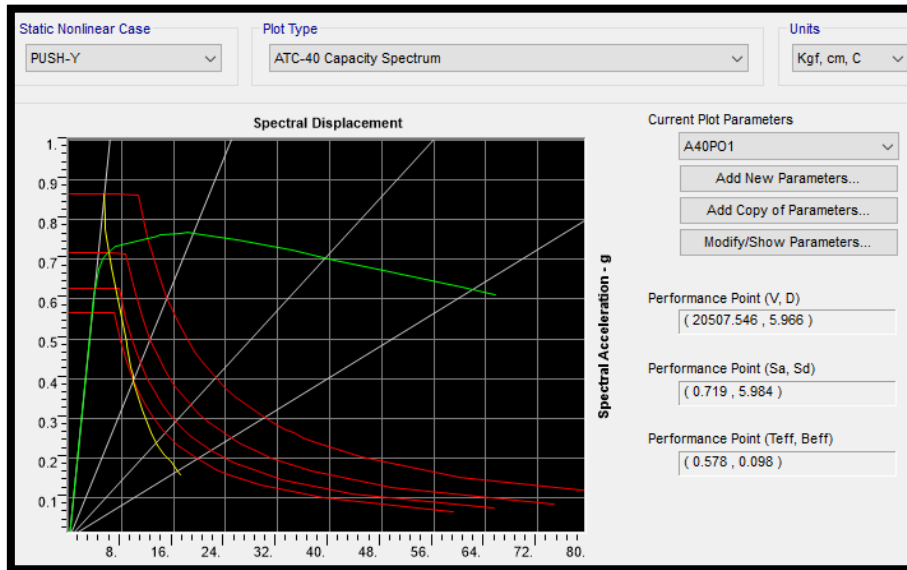
HISTORIAL DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN EL PÓRTICO D												
LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CPtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH-Y	0	0.000171	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	1	0.037797	17371.81	9	1	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	2	0.045544	19291.73	7	3	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	3	0.050493	20034.95	6	4	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	4	0.05636	20388.18	5	4	1	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	5	0.069893	20878.45	4	2	4	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	6	0.134893	21687.3	4	0	6	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	7	0.137564	21719.63	4	0	5	0	0	1	0	0	10
PUSH-Y	8	0.168216	21872.38	4	0	4	0	0	2	0	0	10
PUSH-Y	9	0.181835	21880.56	4	0	3	0	0	3	0	0	10
PUSH-Y	10	0.191733	21842.97	4	0	2	0	0	4	0	0	10
PUSH-Y	11	0.256733	21402.85	4	0	2	0	0	4	0	0	10
PUSH-Y	12	0.33965	20602.93	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	13	0.40465	19941.67	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	14	0.46965	19278.58	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	15	0.53465	18613.78	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	16	0.59965	17947.05	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	17	0.650171	17427.34	4	0	0	0	0	6	0	0	10

Fuente: Frías Córdova Christian

En la tabla 100 se puede verificar que de las diez rótulas ingresadas en el pórtico seis incursionaron en el límite entre C y D lo que significa que dichas rótulas sufrieron una pérdida de resistencia a la carga lateral, cuatro rótulas se encuentran entre A y B alegando un buen comportamiento de estas rótulas; esto al alcanzar el desplazamiento máximo generado al momento de la colisión con el buque M.N. HUALCOPO, de esta forma se puede verificar que la formación de rótulas plásticas se presenta primero en los pilotes y no en las vigas demostrando un pésimo comportamiento estructural.

4.3.9. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico D

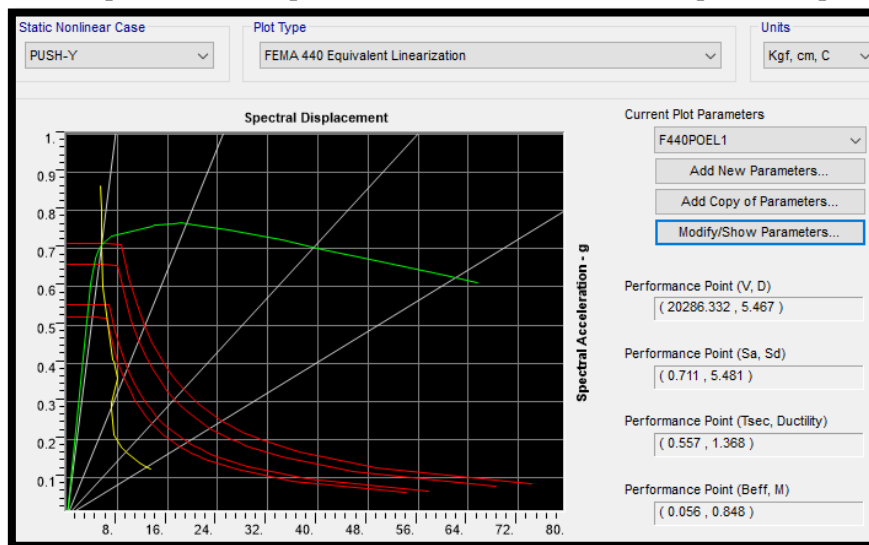
Figura 121. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico D



Fuente: Frías Córdova Christian

El punto de desempeño calculado con el método propuesto por la norma ATC-40, dio como resultado un cortante de 20.51 Ton y un desplazamiento de 5.97 cm antes de que el pórtico incurriera en el rango inelástico, esto quiere decir que el pórtico puede desplazarse 5.97 cm sin que el muelle presente daños considerables en los elementos estructurales que lo componen.

Figura 122. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico D

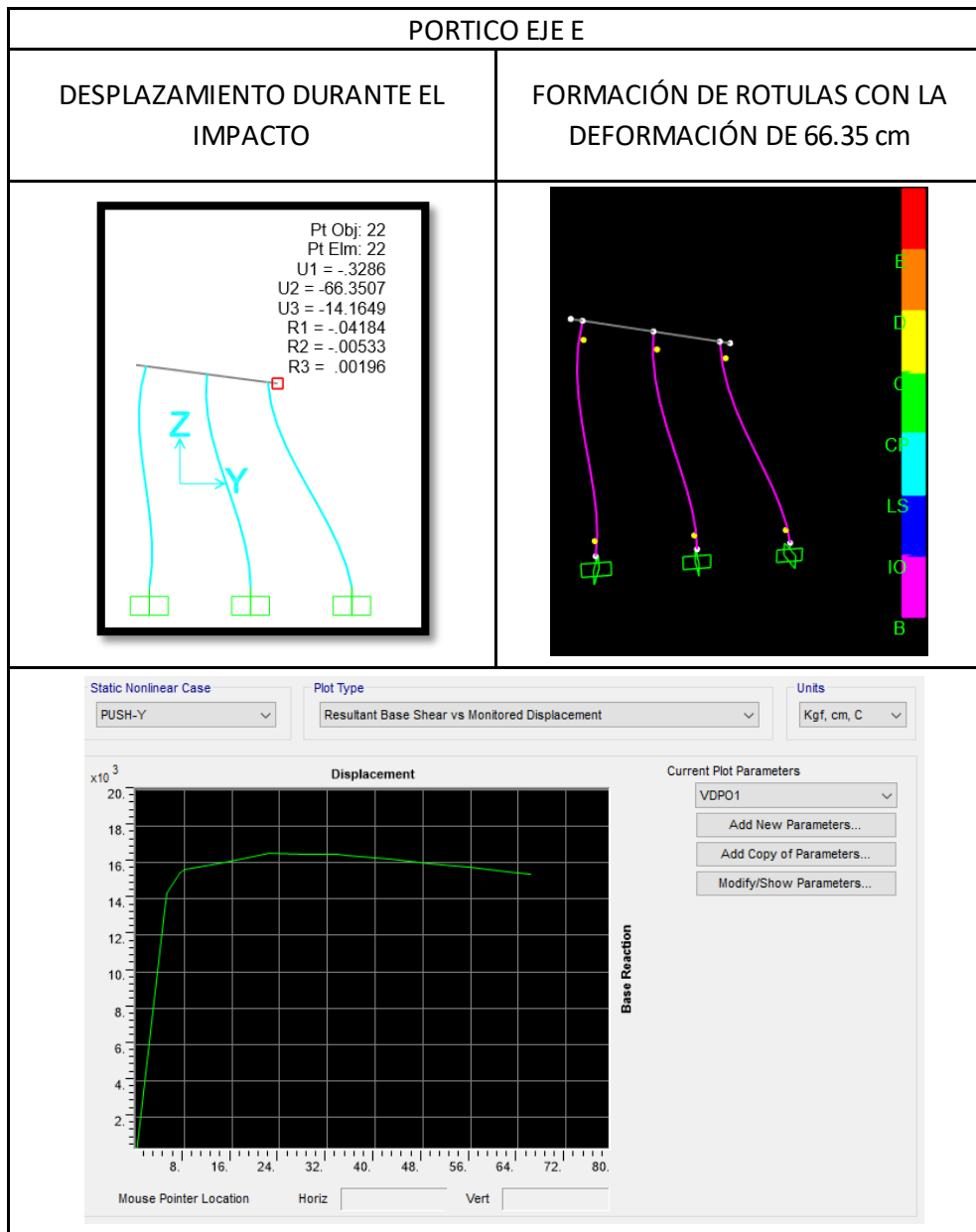


Fuente: Frías Córdova Christian

Los resultados del pórtico analizado con el método de Linearización Equivalente propuesto por FEMA-440 da un cortante de 20.29 Ton y 5.47 cm antes que incurriere en el rango inelástico.

4.3.10. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje E

Tabla 102. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico E



Fuente: Frías Córdova Christian

Al igual que el pórtico del eje D, al analizar el pórtico aplicando los desplazamientos producidos por el impacto del buque se puede verificar la formación de rótulas plásticas en todos los pilotes del eje mismas que se encuentran entre el límite C y D, lo que se puede verificar al momento de analizar el registro fotográfico de estos pilotes donde se encuentra que en los puntos donde se generaron estas rótulas existe daño por agrietamientos o fisuras debilitando la estructura.

4.3.11. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje E

Tabla 103. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje E

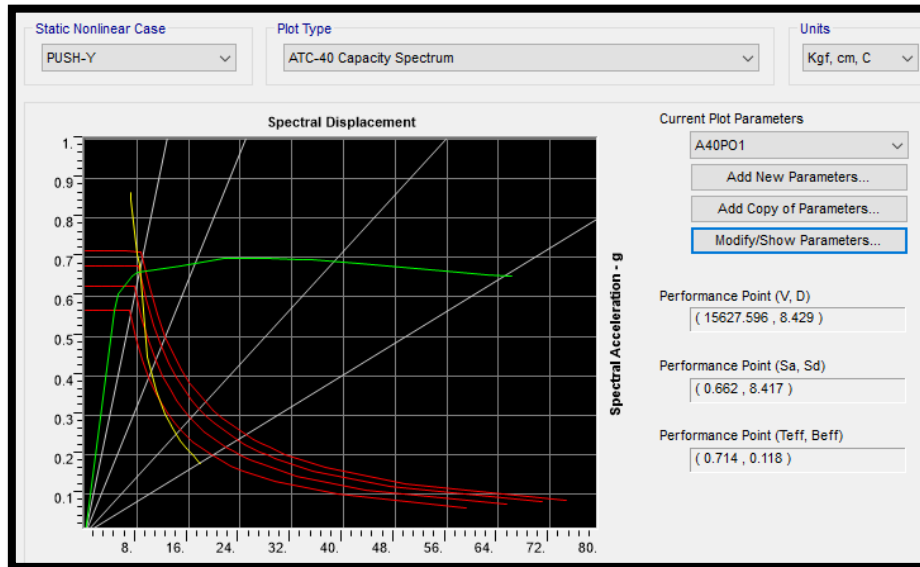
HISTORIAL DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN EL PÓRTICO E												
LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH-Y	0	0.000114	0	8	0	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	1	0.046207	13356.46	7	1	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	2	0.050899	14347.51	5	3	0	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	3	0.073445	15424.29	3	2	3	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	4	0.081276	15608.14	2	3	3	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	5	0.147275	16034.4	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	6	0.213274	16468.06	2	0	6	0	0	0	0	0	8
PUSH-Y	7	0.221618	16511.59	2	0	3	0	0	3	0	0	8
PUSH-Y	8	0.287617	16469.23	2	0	3	0	0	3	0	0	8
PUSH-Y	9	0.338164	16436.43	2	0	2	0	0	4	0	0	8
PUSH-Y	10	0.353562	16413.41	2	0	1	0	0	5	0	0	8
PUSH-Y	11	0.426112	16174.53	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	12	0.492111	15952.95	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	13	0.558111	15732.77	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	14	0.62411	15513.93	2	0	0	0	0	6	0	0	8
PUSH-Y	15	0.660114	15396.44	2	0	0	0	0	6	0	0	8

Fuente: Frías Córdova Christian

En la tabla 103 se puede verificar que de las ocho rótulas ingresadas en el pórtico seis incurrieron en el límite entre C y D lo que significa que dichas rótulas sufrieron una pérdida de resistencia a la carga lateral, dos rótulas se encuentran entre A y B alegando un buen comportamiento de estas rótulas; esto al alcanzar el desplazamiento máximo generado al momento de la colisión con el buque M.N. HUALCOPO, de esta forma se puede verificar que la formación de rótulas plásticas se presenta primero en los pilotes y no en las vigas demostrando un pésimo comportamiento estructural.

4.3.12. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico E

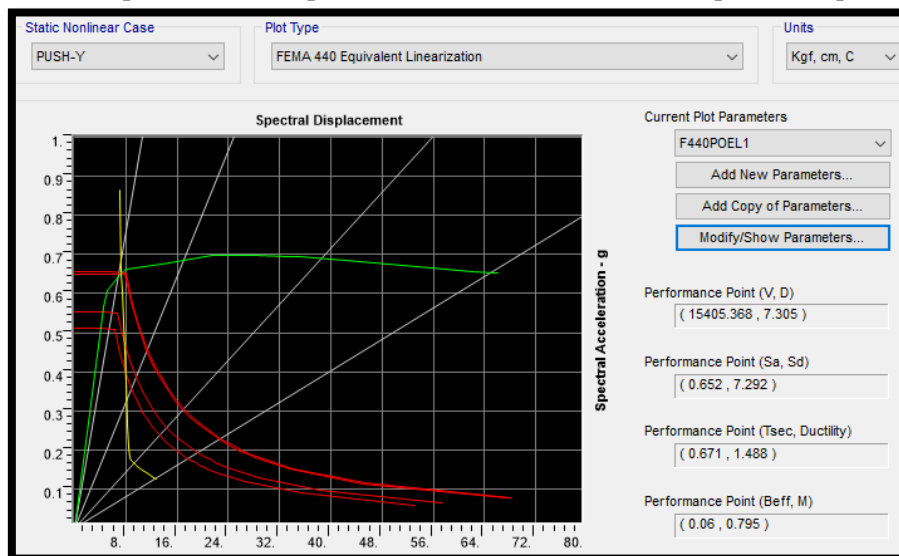
Figura 123. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico E



Fuente: Frías Córdova Christian

El punto de desempeño calculado con el método propuesto por la norma ATC-40, dio como resultado un cortante de 15.67 Ton y un desplazamiento de 8.43 cm antes de que el pórtico incurriera en el rango inelástico, esto quiere decir que el pórtico puede desplazarse 8.43cm sin que el muelle presente daños considerables en los elementos estructurales que lo componen.

Figura 124. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico E

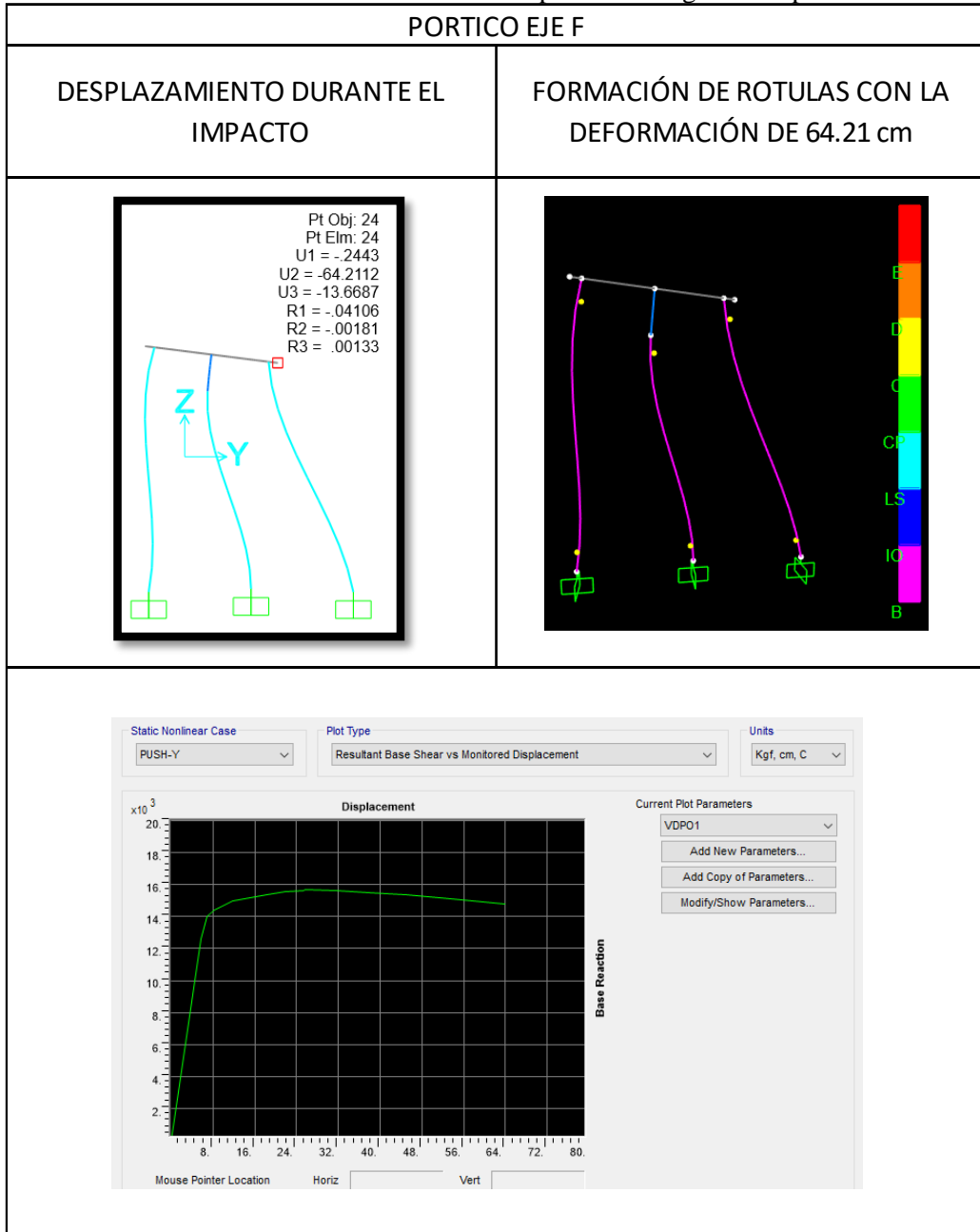


Fuente: Frías Córdova Christian

Los resultados del pórtico analizado con el método de Linearización Equivalente propuesto por FEMA-440 da un cortante de 15.41 Ton y 7.31 cm antes que incurriere en el rango inelástico.

4.3.13. Análisis de rótulas plásticas del pórtico del eje F

Tabla 104. Formación de rótulas en base al desplazamiento generado pórtico F



Fuente: Frías Córdova Christian

Al igual que el pórtico del eje E, al analizar el pórtico aplicando los desplazamientos producidos por el impacto del buque se puede verificar la formación de rótulas plásticas en todos los pilotes del eje mismas que se encuentran entre el límite C y D, lo que se puede verificar al momento de analizar el registro fotográfico de estos pilotes donde se encuentra que en los puntos donde se generaron estas rótulas existe daño por agrietamientos o fisuras debilitando la estructura.

4.3.14. Análisis de rótulas plásticas en función del desplazamiento del pórtico del eje

F

Tabla 105. Historial de formación de rótulas plásticas pórtico eje F

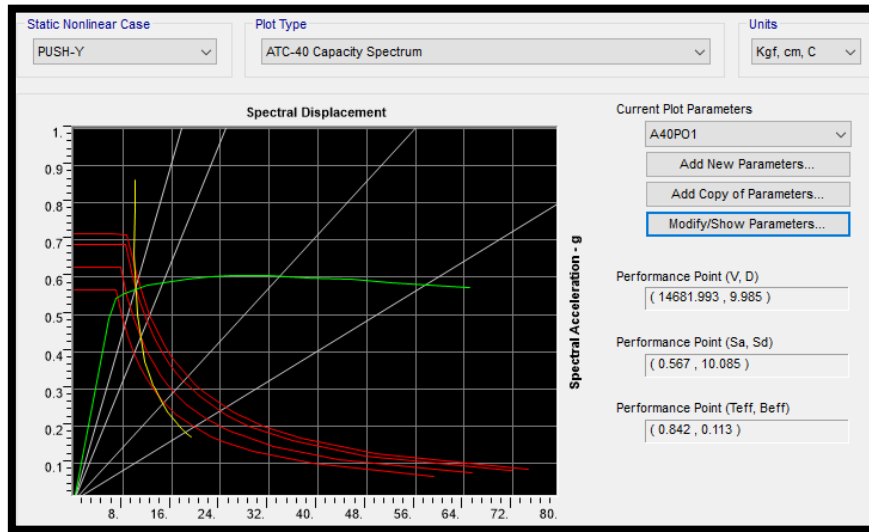
HISTORIAL DE FORMACIÓN DE RÓTULAS PLÁSTICAS EN EL PÓRTICO F												
LoadCase	Step	Displacement	BaseForce	AtoB	BtoIO	IOtoLS	LStoCP	CtoC	CtoD	DtoE	BeyondE	Total
Text	Unitless	m	Kgf	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
PUSH-Y	0	0.000119	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	1	0.056498	12620.7	9	1	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	2	0.068454	14037.56	6	4	0	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	3	0.082018	14395.14	5	4	1	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	4	0.118255	14978.06	4	2	4	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	5	0.182253	15350	4	0	6	0	0	0	0	0	10
PUSH-Y	6	0.217806	15558.7	4	0	5	0	0	1	0	0	10
PUSH-Y	7	0.252037	15654.74	4	0	4	0	0	2	0	0	10
PUSH-Y	8	0.256859	15659.3	4	0	3	0	0	3	0	0	10
PUSH-Y	9	0.316887	15625.85	4	0	2	0	0	4	0	0	10
PUSH-Y	10	0.380887	15508.23	4	0	2	0	0	4	0	0	10
PUSH-Y	11	0.451238	15357.08	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	12	0.515237	15162.71	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	13	0.579237	14967.68	4	0	0	0	0	6	0	0	10
PUSH-Y	14	0.640119	14781.37	4	0	0	0	0	6	0	0	10

Fuente: Frías Córdova Christian

En la tabla 105 se puede verificar que de las diez rótulas ingresadas en el pórtico seis incurrieron en el límite entre C y D lo que significa que dichas rótulas sufrieron una pérdida de resistencia a la carga lateral, cuatro rótulas se encuentran entre A y B alegando un buen comportamiento de estas rótulas; esto al alcanzar el desplazamiento máximo generado al momento de la colisión con el buque M.N. HUALCOPO, de esta forma se puede verificar que la formación de rótulas plásticas se presenta primero en los pilotes y no en las vigas demostrando un pésimo comportamiento estructural.

4.3.15. Punto de desempeño por el ATC_40 y Fema 440 para el pórtico F

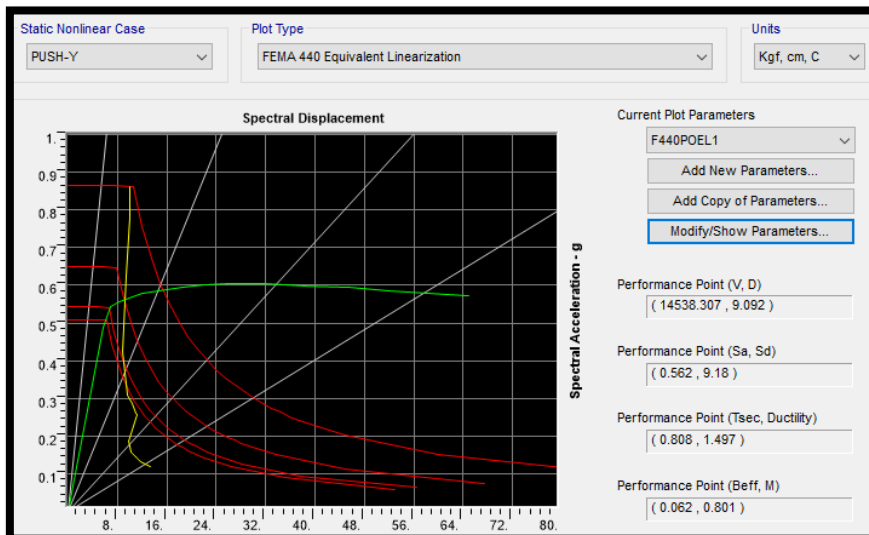
Figura 125. Desempeño calculado por el método del Espectro de Capacidad pórtico F



Fuente: Frías Córdova Christian

El punto de desempeño calculado con el método propuesto por la norma ATC-40, dio como resultado un cortante de 14.88 Ton y un desplazamiento de 9.99 cm antes de que el pórtico incurriera en el rango inelástico, esto quiere decir que el pórtico puede desplazarse 9.99cm sin que el muelle presente daños considerables en los elementos estructurales que lo componen.

Figura 126. Desempeño calculado por el método del Linearización Equivalente pórtico F



Fuente: Frías Córdova Christian

Los resultados del pórtico analizado con el método de Linearización Equivalente propuesto por FEMA-440 da un cortante de 14.54 Ton y 9.09 cm antes que incurriere en el rango inelástico.

4.4. Verificación de hipótesis

Una vez realizada la inspección visual y ejecutados cada uno de los análisis estáticos y dinámicos se demostró que el muelle de servicio número 11 de la Empresa Astinave EP es altamente peligroso para seguir ocupando puesto que no cumple con los requisitos mínimos propuestos por las actuales normativas además presenta un alto grado de deterioro de cada uno de los elementos estructurales debido al tiempo que el acero de refuerzo y el hormigón estructural quedaron expuestos al agresivo ambiente salino luego de la colisión.

5. CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Una vez realizado el análisis de estático lineal se concluyó que la estructura analizada no cumple con los requerimientos estipulados en la actual normativa NEC-15, presentando un período de 1.879 s el cual es mayor al 30% del periodo calculado con el primer método en cual es de 0.674 s superándolo por más del doble permitido, de la misma forma las derivas de piso no cumplen con el porcentaje máximo propuesto por la norma puesto que los pórticos D, E y F superan el 2% de la norma siendo el mayor 3.2%.
- Al analizar las distorsiones que presentan los pórticos que sostienen el muelle de servicio una vez realizado el análisis dinámico y en base a las consideraciones propuestas por el manual HAZU se determinó que al producirse un movimiento sísmico los pórticos A, B, C y D presentarán un daño moderado y los pórticos E y F presentarán un daño extenso.
- La estructura analizada presenta peligro de colapso debido a los daños producidos en la unión viga T invertida - pilote, lo que produce que ante un movimiento sísmico o al producirse un nuevo impacto accidental no se disipe correctamente la energía a través de los elementos estructurales de muelle generando un gran riesgo de que el muelle colapse comprometiendo la integridad de sus usuarios.
- La configuración estructural de los pilotes que conforman el muelle no es la mejor para el sitio donde está construido, ya que al asentarse en una zona de alta peligrosidad sísmica la disposición inclinada que tienen los pilotes en los extremos de cada cabezal tienden a generar esfuerzos cortantes demasiado altos en la unión viga T invertida-pilotes, esto debido a que los pilotes inclinados son más rígidos ante cargas horizontales y genera fallas de difícil reparación tal como lo menciona la norma ROM 2.0 y se lo puede evidenciar en los daños producidos en los elementos antes mencionados debido a la colisión.
- Al observar la formación de las rótulas plásticas en los elementos estructurales de cada uno de los pórticos que componen el muelle, se evidencia que dichas rótulas se forman primero en los pilotes antes que en las vigas por lo que no se cumple con el

criterio de viga débil - columna fuerte, esto se debe a la elevada rigidez que posee la viga T invertida en comparación con los deteriorados pilotes que sostienen la superestructura, de la misma forma la mayoría de las rótulas en cada pórtico sobrepasan el límite de prevención de colapso evidenciando una reducción considerable de resistencia a la carga lateral al estar en el rango de C y D.

- Los desplazamientos producidos en cada uno de los pórticos del muelle al momento del impacto con el buque son altos lo que conlleva a que los pilotes incurrieren rápidamente en el rango inelástico.
- Al producirse un evento sísmico fuerte o al darse un nuevo accidente contra el muelle por parte de otra embarcación, este no podrá seguir operando con normalidad presentando un gran riesgo para sus usuarios todo esto debido a la falla que presentan los pilotes que soportan el muelle.
- El muelle de servicio se ha venido debilitando constantemente con el pasar del tiempo a partir de la colisión sufrida con el buque, puesto que al comparar las resistencias de los primeros estudios esclerométricos realizados con los estudios esclerométricos actuales se evidencia que la resistencia en los elementos estructurales como vigas y pilotes disminuye.
- Las grietas y fisuras presentes en los elementos estructurales analizados no fueron intervenidas en su momento dejando expuesto el acero de refuerzo por un largo período de tiempo lo que produjo una severa corrosión que se derivó en diversas patologías de difícil reparación mismas que se extendieron al interior vigas y pilotes.
- El constante uso que se le da al muelle de servicio en las pésimas condiciones estructurales que este presenta produce fatiga tanto en el hormigón como en el acero de refuerzo reduciendo drásticamente su vida útil pudiendo colapsar en cualquier momento poniendo en riesgo la seguridad de sus usuarios.

5.2. Recomendaciones

- El alto grado de deterioro que presenta el muelle de servicio debido a la falta de mantenimiento luego del impacto producido, sumado a esto el incumplimiento de los lineamientos de las actuales normativas, así como la mala configuración estructural utilizada hacen que un reforzamiento no sea la opción más viable por lo que se

recomienda reemplazar el muelle de servicio por un nuevo diseño el cual cumpla con la normativa actual y posea una configuración estructural óptima para el lugar donde se emplazará.

- Se recomienda que luego de producirse un accidente en el muelle donde se vean comprometidos los elementos estructurales del mismo, se debe realizar las reparaciones de forma inmediata y no dejar expuesto el acero de refuerzo por demasiado tiempo al ambiente salino puesto que este ambiente es muy desfavorable causando patologías de difícil reparación tanto en el hormigón y el acero de refuerzo.
- Es recomendable realizar mantenimientos preventivos a la estructura del muelle al menos una vez al año de tal forma que se pueda identificar y reparar a tiempo cualquier patología tanto en el acero como en el hormigón que afecte a la infraestructura de la obra marítima a corto o a largo plazo.
- Es muy importante que todos los elementos de acero que componen el muelle estén cubiertos por una capa de pintura anticorrosiva lo cual se debe hacer de manera periódica para evitar los daños que pueden producirse por el agresivo ambiente marino.
- Al realizar un análisis estático y dinámico de muelle es importante tomar en cuenta todas las cargas tanto horizontales como verticales que actúan sobre el mismo, principalmente la carga horizontal de atraque que ejerce la embarcación contra el muelle puesto que esta afecta mayormente a los pilotes y a las cimentaciones que soportan el muelle.
- Al diseñar este tipo de estructuras es importante verificar que el diseño se lo realice eligiendo los factores de importancia correctos y los coeficientes de reducción sísmica adecuados puesto que de esta elección dependerá la exactitud de los resultados del análisis y diseño del muelle.

Bibliografía

- [1] El Universo, “Embarcación china aprehendida en 2017 con pesca ilegal sufrió percance en muelle de Astinave,” no. I, Guayaquil, p. 1, Jun. 16, 2020.
- [2] EL COMERCIO, “Buque chino incautado en 2017 por pesca ilegal en Galápagos se estrelló contra muelle de la Armada,” Jun. 16, 2019. <https://www.elcomercio.com/actualidad/ecuador/buque-chino-incautado-choque-guayaquil.html> (accessed Dec. 16, 2021).
- [3] Google Maps, “Google Maps.” <https://www.google.com.ec/maps/@-1.9514763,-80.0032222,13.29z/data=!5m1!1e4?hl=es> (accessed Jan. 01, 2022).
- [4] Puertos del Estado, *Normas ROM 2.0-11*, vol. II. 2011, 2011.
- [5] Puertos del Estado, *Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas*. 2008.
- [6] R. JACKSON, *TRASATLANTICOS, BARCOS MERCANTILES Y PETROLEROS / ROBERT JACKSON*. Madrid: EDITORIAL LIBSA, 2017.
- [7] Real Decreto, *Manual para la formación del usuario de motos acuáticas*. 2008.
- [8] R. Ojeda, B. Gangadhara Prusty, and M. Salas, “Finite element investigation on the static response of a composite catamaran under slamming loads,” *Ocean Eng.*, vol. 31, no. 7, pp. 901–929, 2017, doi: 10.1016/j.oceaneng.2003.08.008.
- [9] S. Bausá, “Diseño y estudio de implementación de un motor Stirling en las Lanchas de Instrucción,” pp. 2014–2015, 2015.
- [10] A. Molina, “Determinación de parámetros de diseño al aplicar al proyecto de grandes yates a motor, en base a nuevos requerimientos de eficiencia energética y protección del medio ambiente marino,” vol. II, pp. 1–208, 2015.
- [11] G. A. Piazza and M. Polette, “Ordenación del espacio marino para buques transatlánticos en porto Belo, Santa Catarina (BR),” *Nat. Resour.*, vol. 5, no. 1, pp.

6–13, 2017, doi: 10.6008/spc2237-9290.2015.001.0001.

- [12] Ship Technology, “Wonder of the Seas Cruise Ship,” *Wonder of the Seas is the fifth Oasis-class ship in Royal Caribbean International’s fleet of cruise ships.*, 2021. <https://www.ship-technology.com/projects/wonder-of-the-seas-cruise-ship/> (accessed Mar. 20, 2022).
- [13] J. R. Hernández Ávila, Á. R. Orozco Herazo, D. J. Almanza Mercado, and J. Ramírez Montoya, “Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital,” *Ingeniare*, no. 22, pp. 59–68, 2018, doi: 10.18041/1909-2458/ingeniare.22.1342.
- [14] ASTM International, *ASTM C805-02 Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete*, 1st ed. United States, 2002.
- [15] E. L. Salamanca-Medina and N. A. Abril-Gonzalez, “Modelamiento físico a escala de pilotes individuales, de cabeza libre, sometidos a carga lateral en suelos cohesivos,” *Ing. Investig. y Desarro.*, vol. 17, no. 2, pp. 73–82, 2017, doi: 10.19053/1900771x.v17.n2.2017.7188.
- [16] PINAC, *SEISMIC DESIGN GUIDELINES FOR PORT STRUCTURES*. California, 2001.
- [17] A. Shafieezadeh, R. DesRoches, G. J. Rix, and S. D. Werner, “Seismic performance of pile-supported wharf structures considering soil-structure interaction in liquefied soil,” *Earthq. Spectra*, vol. 28, no. 2, pp. 729–757, 2012, doi: 10.1193/1.4000008.
- [18] MIDUVI, *NEC-SE-CS-Cargas (No Sísmicas)*. 2015.
- [19] ASCE, *American Society of Civil Engineers, FEMA 356 Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Building*, no. November. 2000.
- [20] NEC-SE-DS, *Cargas Sísmicas Diseño Sismo Resistente*. 2015.
- [21] D. de O. Portuarias/MOP, *GUÍA DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, OPERACIÓN*

Y CONSERVACIÓN DE OBRAS MARÍTIMAS Y COSTERAS, vol. 2, no. Parte II. Chile, 2018.

- [22] R. Angel and M. Galarza, “REVISIÓN Y EVALUACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MUELLE DE PASARELA DE LA CASA DE PRÁCTICOS DE LA AUTORIDAD PORTUARIA DE GUAYAQUIL,” Universidad de Guayaquil, 2021.
- [23] H. Mirzaeefard, M. A. Hariri-Ardebili, and M. Mirtaheri, “Time-dependent seismic fragility analysis of corroded pile-supported wharves with updating limit states,” *Soil Dyn. Earthq. Eng.*, vol. 142, no. December 2020, p. 106551, 2021, doi: 10.1016/j.soildyn.2020.106551.
- [24] A. Chopra, *Dinámica de Estructuras*. 2014.
- [25] A. T. López López, A. Tomás Espín, and G. Sánchez Olivares, “Influencia del tipo de rótula plástica en el análisis no lineal de estructuras de hormigón armado,” *Hormigón y Acero*, vol. 68, no. 282, pp. 107–119, 2017, doi: 10.1016/j.hya.2017.04.006.
- [26] P. Zampieri, C. D. Tetougueni, and C. Pellegrino, “Nonlinear seismic analysis of masonry bridges under multiple geometric and material considerations: Application to an existing seven-span arch bridge,” *Structures*, vol. 34, no. June, pp. 78–94, 2021, doi: 10.1016/j.istruc.2021.07.009.
- [27] S. Arango and P. Duque, “Propuesta metodológica para la evaluación del desempeño estructural de una estantería metálica.,” *Rev. EIA*, vol. 12, no. January, pp. 139–154, 2009.
- [28] R. Aguiar, “PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO POR DESEMPEÑO,” *Cent. Investig. científicas*, vol. 1, no. March, 2015.
- [29] FEMA 440, *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, vol. 440, no. June. 2005.

- [30] G. A. MONTALVO QUINTEROS, “Análisis Cuantitativo Y Cualitativo Del Grado De Vulnerabilidad Sísmica De La Facultad De Ciencias Administrativas De La Universidad Técnica De Ambato, Campus Huachi.,” 2019.
- [31] B. Kirar, B. K. Maheshwari, and P. Muley, “Correlation Between Shear Wave Velocity (V_s) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region,” *Int. J. Geosynth. Gr. Eng.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–11, 2016, doi: 10.1007/s40891-016-0047-5.
- [32] F. Astudillo-Montenegro, I. Yañez-Vargas, J. López-Ruíz, R. Parra-Michel, and D. Torres-Román, “Desarrollo de una interfaz para el cálculo de los niveles de profundidad en cuerpos de agua a través de batimetría (TOLTECA),” *J. Technol. Innov.*, no. December, pp. 15–21, 2019, doi: 10.35429/jti.2019.19.6.15.21.
- [33] Federal Emergency Management (FEMA), *Hazus-MH-MR3 Technical Manual*. Washington DC, 2003.

ANEXOS

FOTOGRAFÍCOS

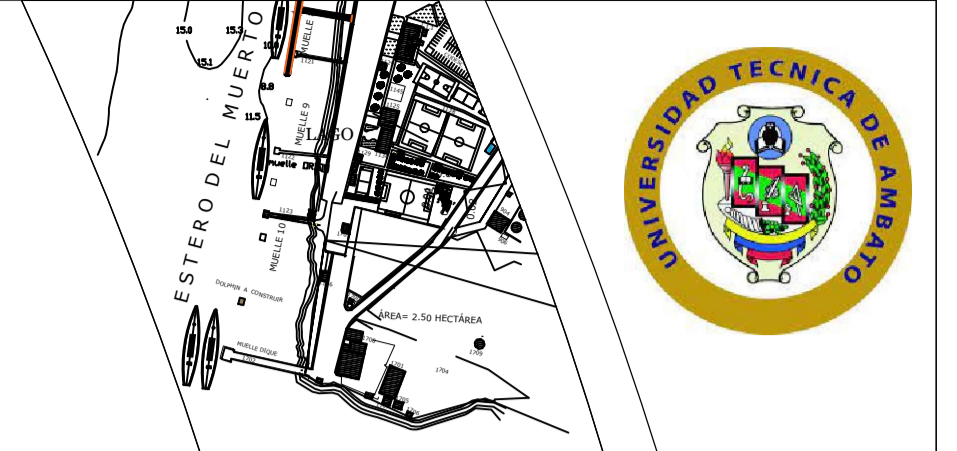
Anexos Fotográficos





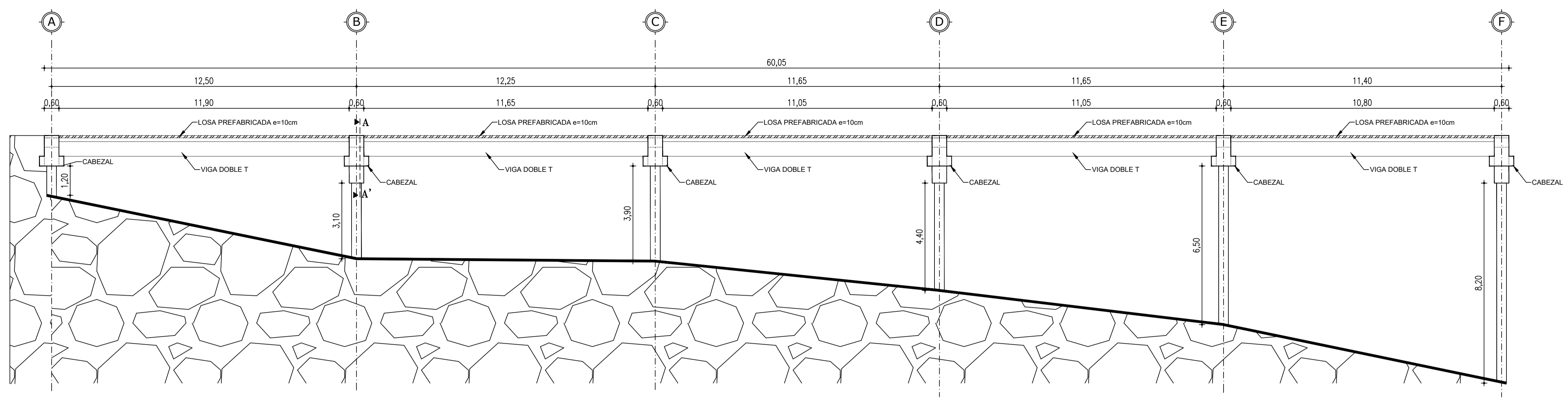


PLANOS
ARQUITECTÓNICOS
Y ESTRUCTURALES

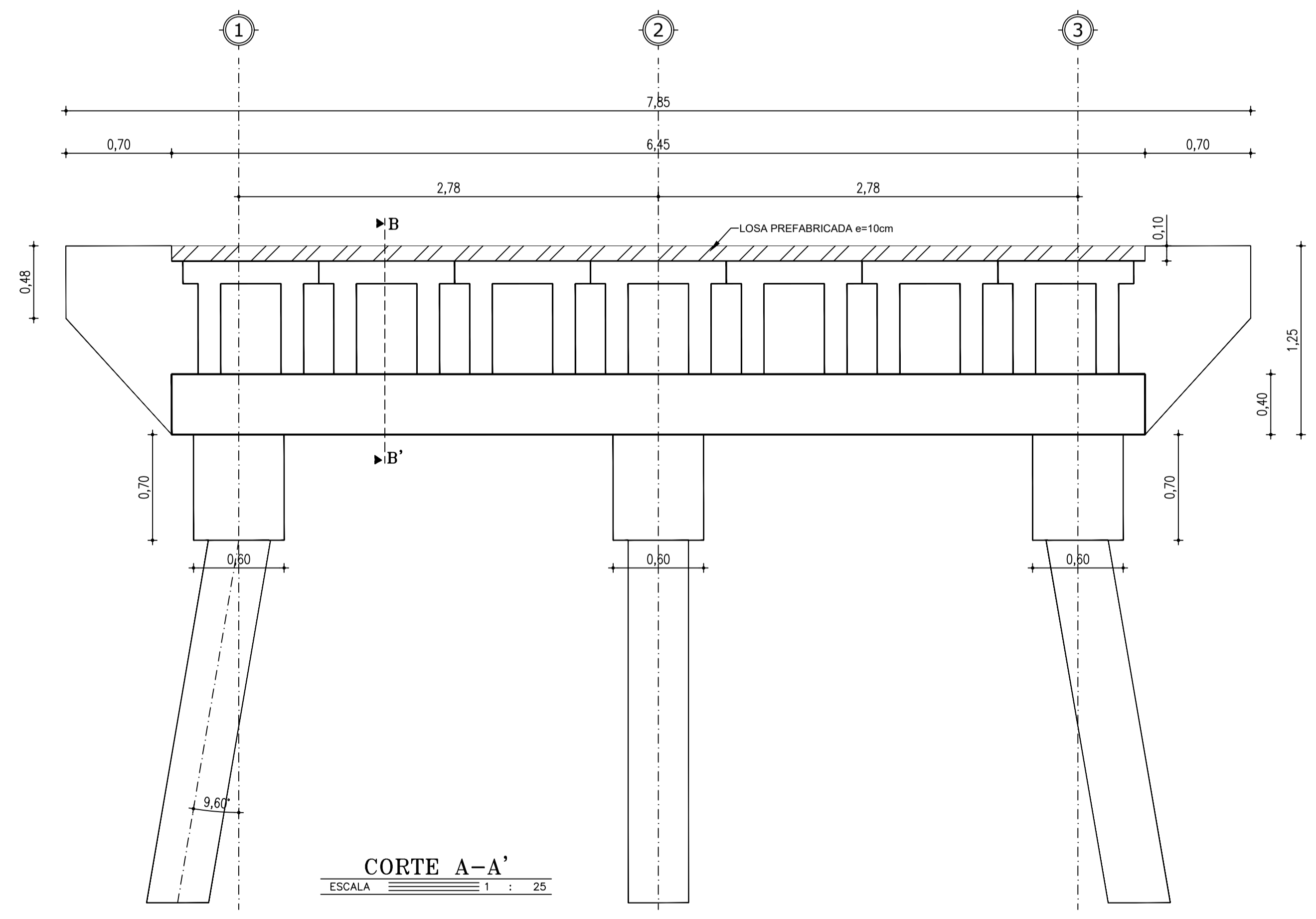


- CONTENIDO :**
- VISTA LATERAL
 - DETALLES
 - ISOMETRÍAS

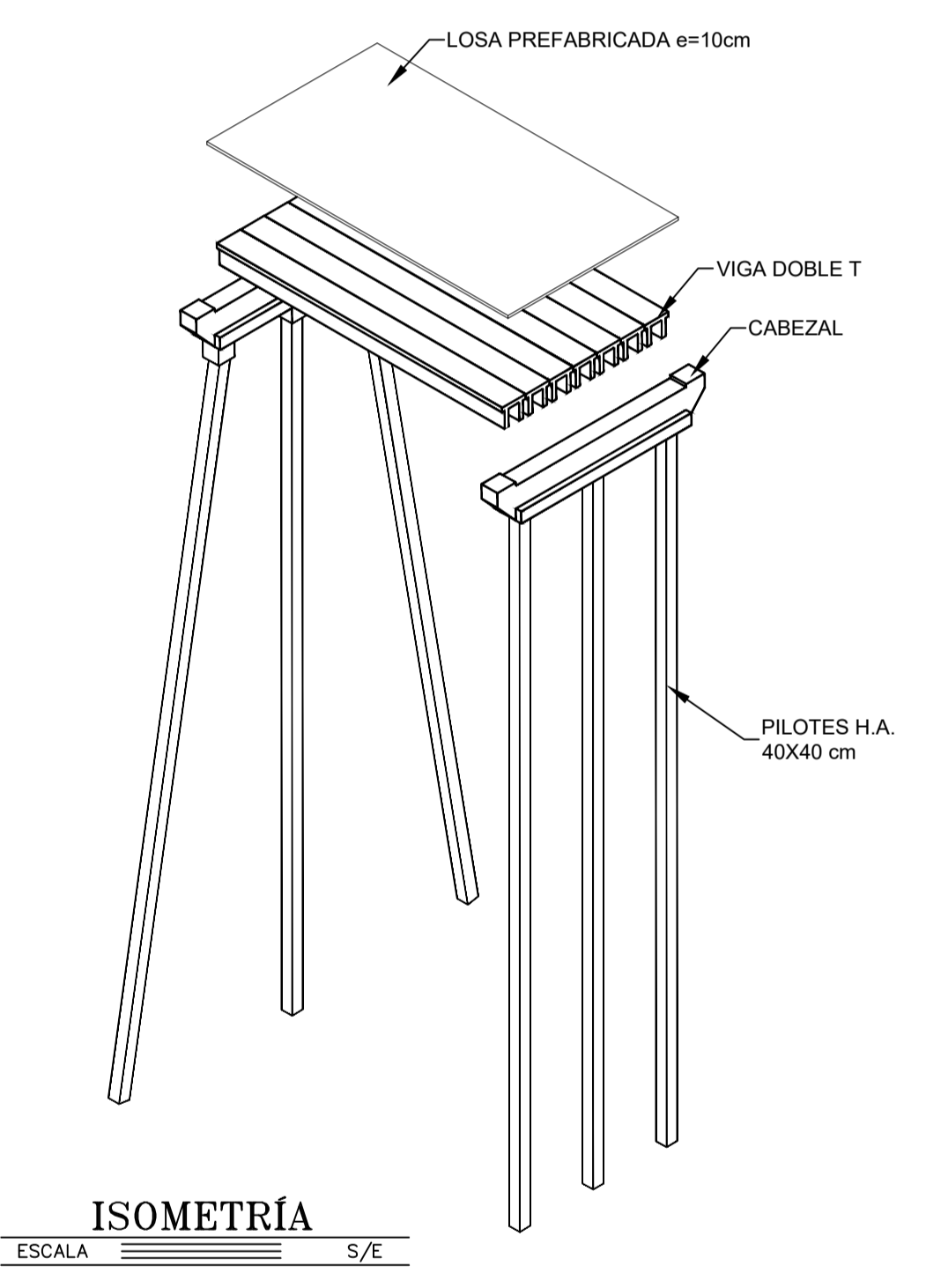
PLANO ARQUITECTÓNICO



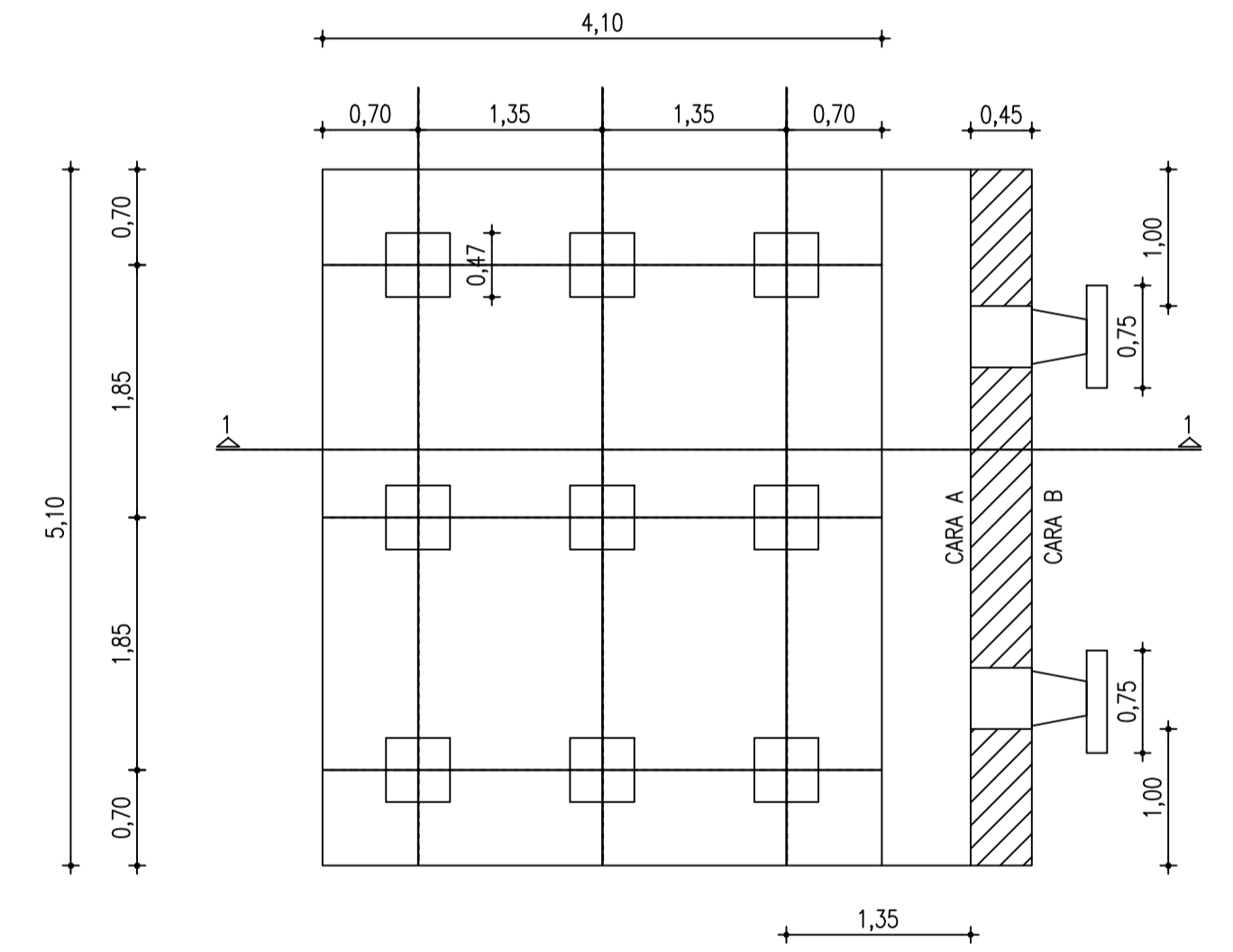
VISTA LATERAL DEL MUELLE
ESCALA 1 : 100



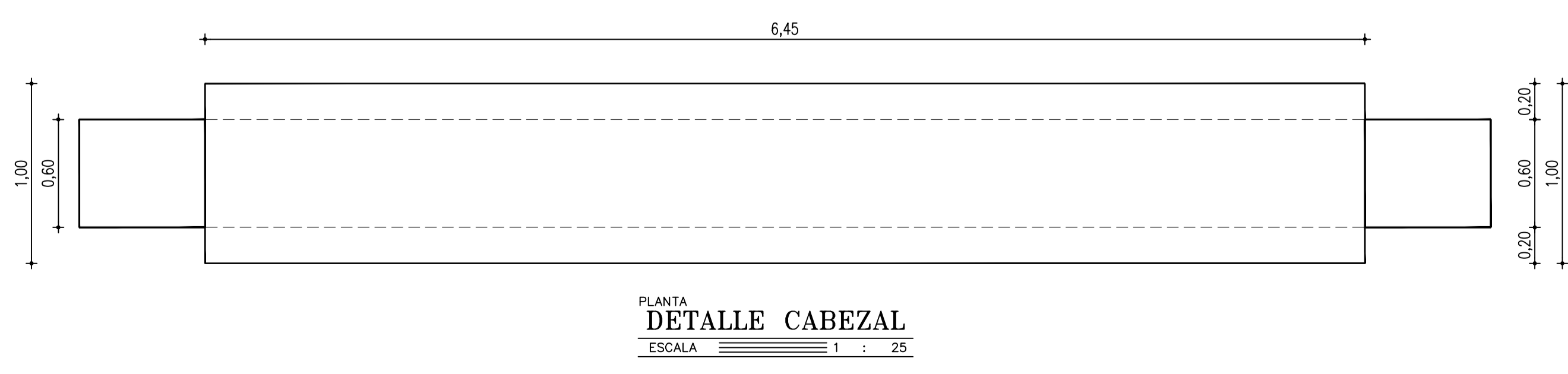
CORTE A-A'
ESCALA 1 : 25



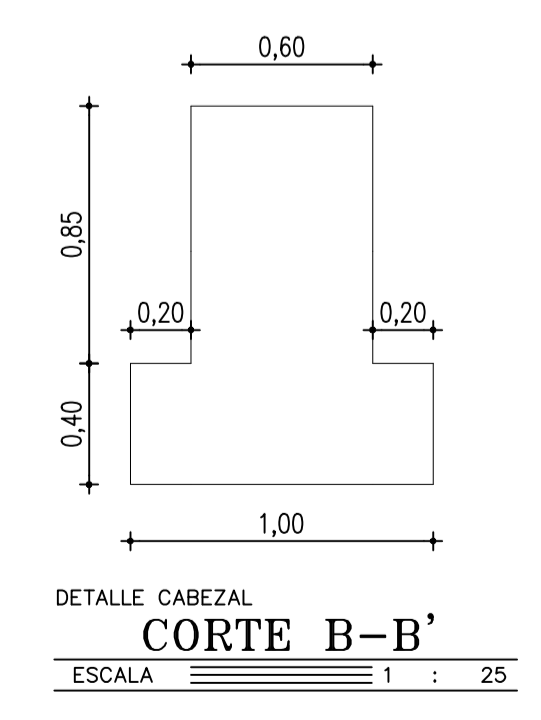
ISOMETRÍA
ESCALA 1 : 50



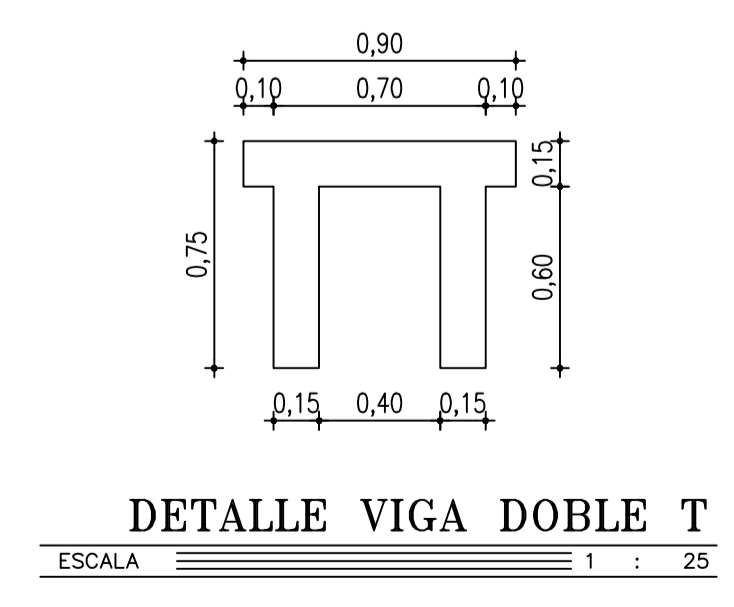
PLANTA DOLPHIN
ESCALA 1 : 50



PLANTA DETALLE CABEZAL
ESCALA 1 : 25



DETALLE CABEZAL CORTE B-B'
ESCALA 1 : 25



DETALLE VIGA DOBLE T
ESCALA 1 : 25

ACOTACION :
INDICADAS

ACOTACION :
METROS

UNIVERSIDAD :
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

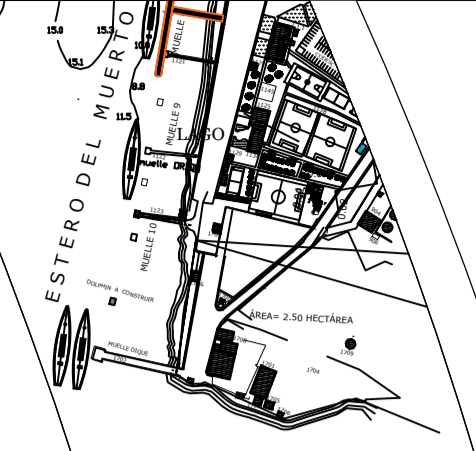
ELABORÓ :
CHRISTIAN FABIÁN FRÍAS CÓRDOVA

FECHA DE ENTREGA :
ABRIL-2022

FACULTAD :
INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

N. DE LAMINA :

1



PLANO ESTRUCTURAL

CONTENIDO :



CONTENIDO :

UNIVERSIDAD :
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

ELABORÓ :
CHRISTIAN FABIÁN FRÍAS CÓRDOVA

FECHA DE ENTREGA:
ABRIL - 2022

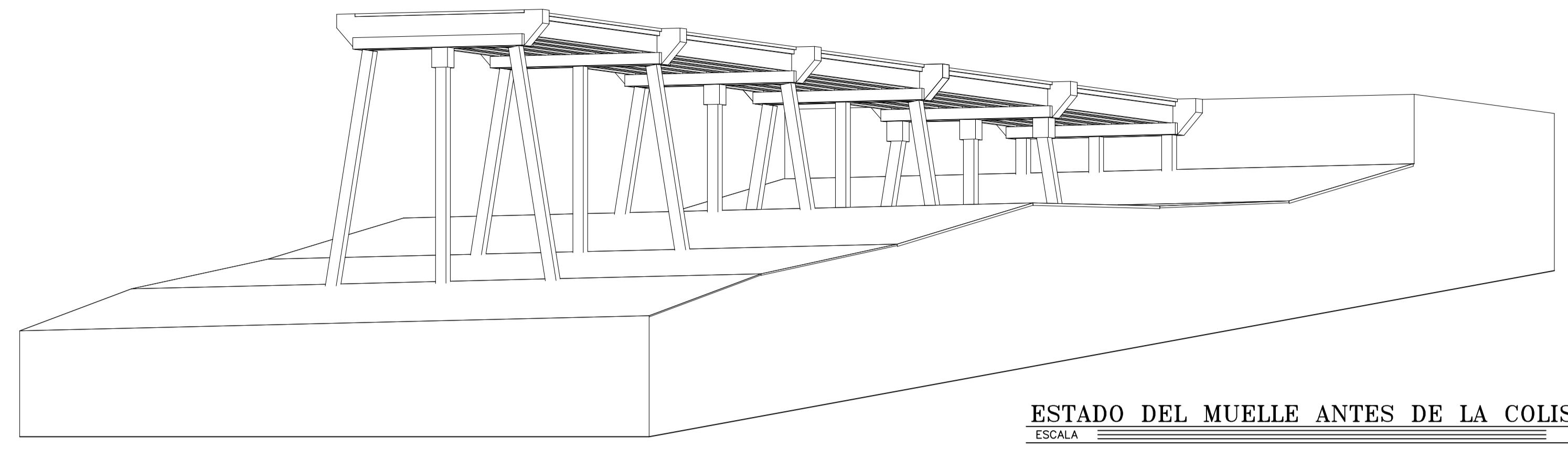
FACULTAD:
INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

ESCALA :
INDICADAS

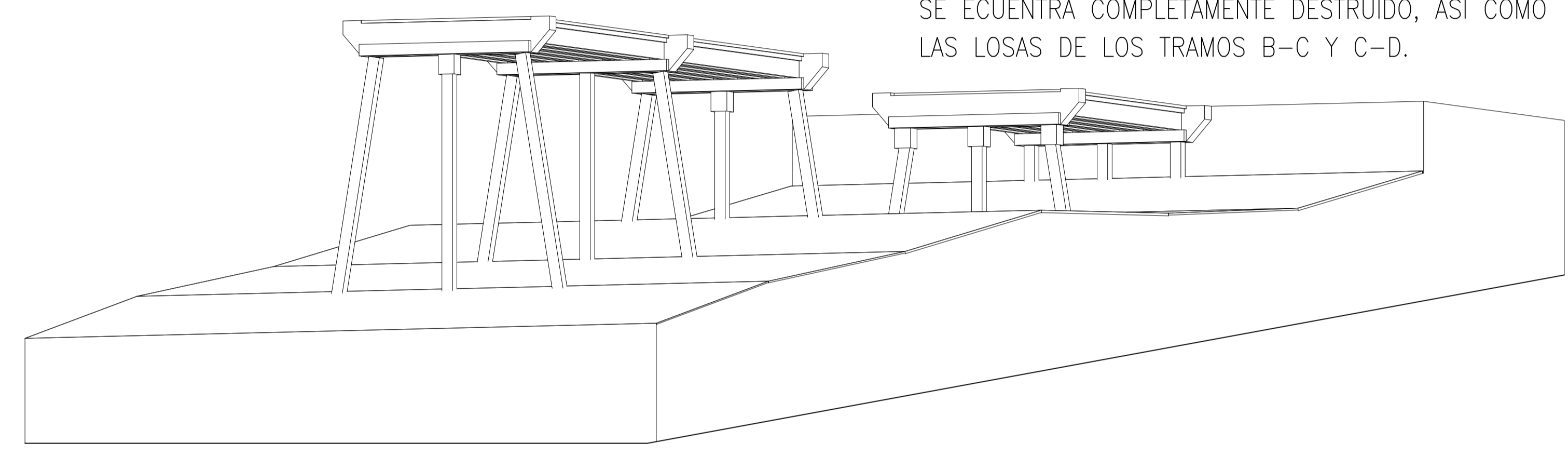
ACOTACION :
METROS

N. DE LAMINA :

2

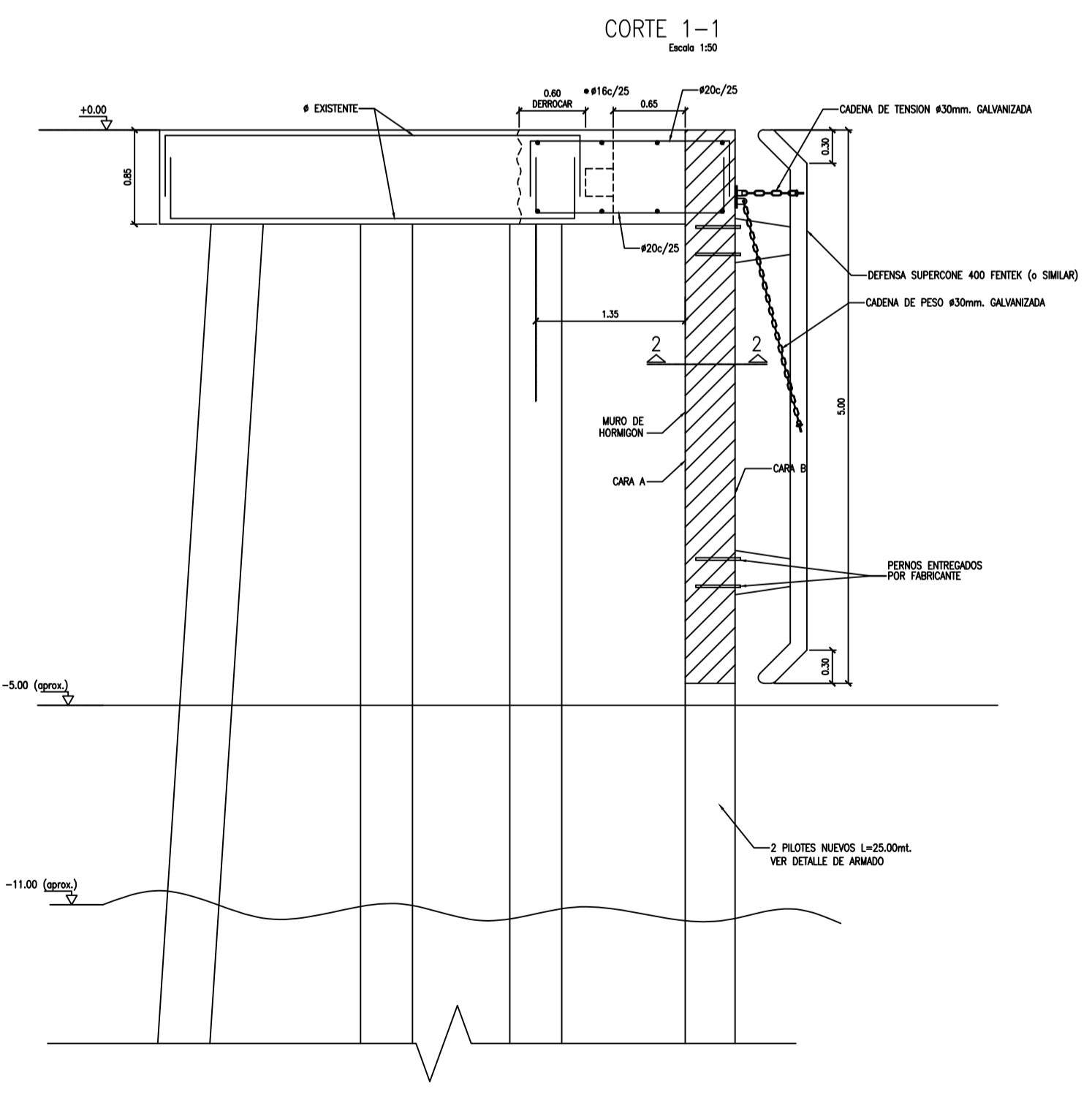


ESTADO DEL MUELLE ANTES DE LA COLISIÓN
ESCALA S/E

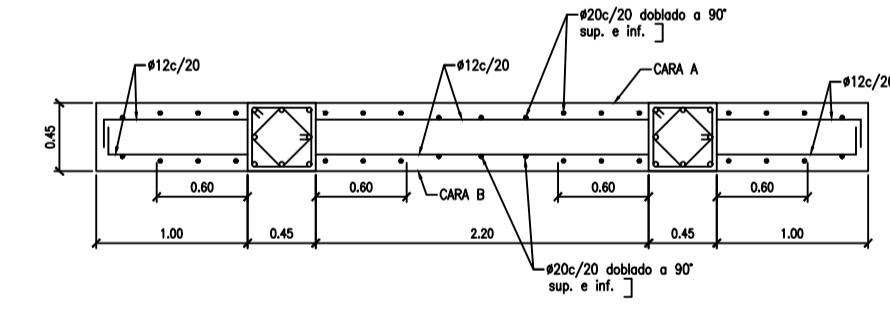


DESPUÉS DE LA COLISIÓN EL PÓRTICO DEL EJE C SE ECUENTRA COMPLETAMENTE DESTRUIDO, ASÍ COMO LAS LOSAS DE LOS TRAMOS B-C Y C-D.

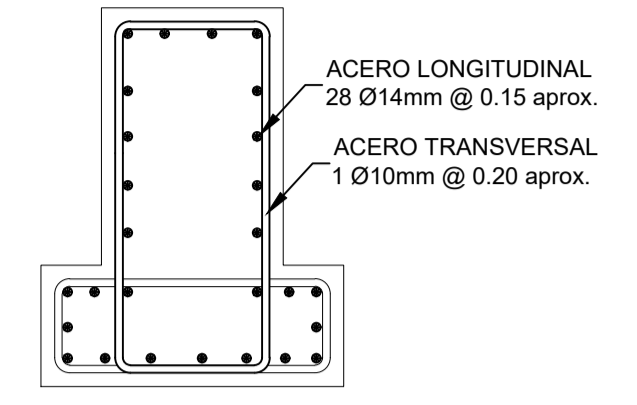
ESTADO DEL MUELLE ANTES DE LA COLISIÓN
ESCALA S/E



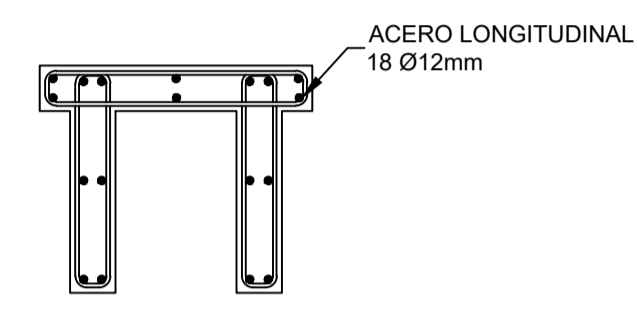
DETALLE DOLPHIN-ADECUACIÓN FUTURA
CORTE 1-1
ESCALA 1 : 25



DETALLE DOLPHIN-ADECUACIÓN FUTURA
CORTE 2-2
ESCALA 1 : 25

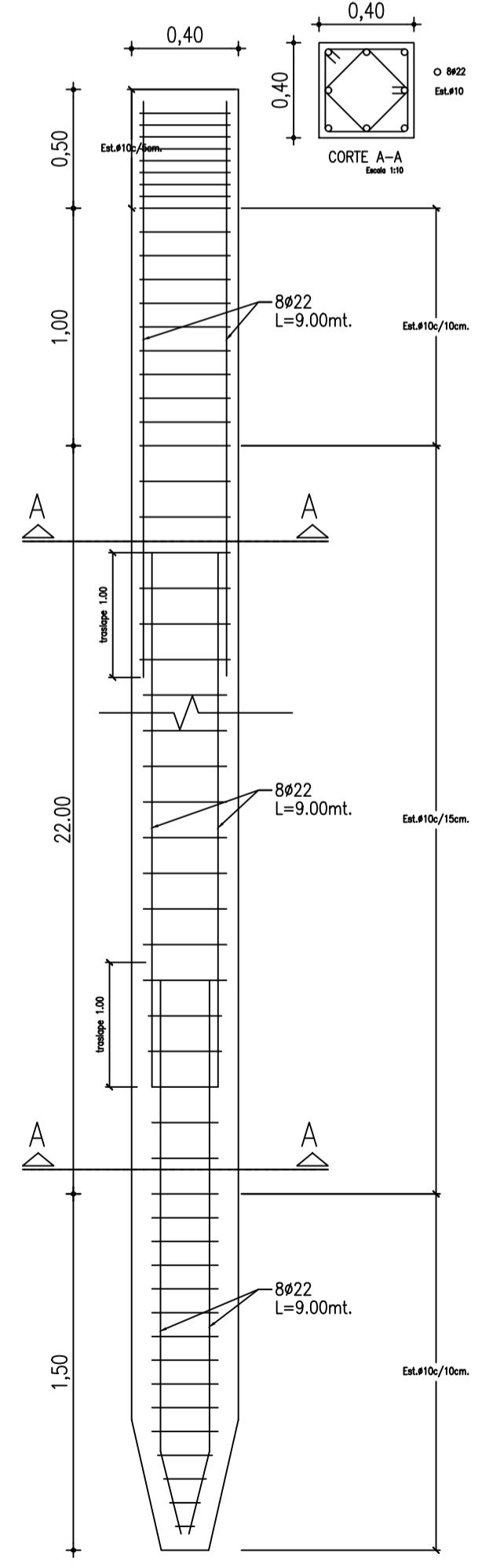


ARMADO VIGA T INVERTIDA
ESCALA 1 : 25



ARMADO VIGA DOBLE T
ESCALA 1 : 25

ALZADO DE PILOTE
Escala 1:20



ESCALA 1 : 25