



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TEMA:

**Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de
columnas del Paso Elevado de la Av. 25 de Julio intersección
vía Perimetral**

AUTOR:

Reyes Castillo, Enrique Sebastián

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de

INGENIERO CIVIL

TUTOR:

Ing. Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso M.Sc

Guayaquil, Ecuador

14 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por **Reyes Castillo, Enrique Sebastián**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Civil**.

TUTOR

f. _____
Ponce Vásquez, Guillermo Alfonso

DIRECTORA DE LA CARRERA

f. _____
Alcívar Bastidas, Stefany Esther

Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Reyes Castillo, Enrique Sebastián**

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de columnas del Paso Elevado de la Av. 25 de Julio intersección vía Perimetral** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. _____
Reyes Castillo, Enrique Sebastián



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

AUTORIZACIÓN

Yo, **Reyes Castillo, Enrique Sebastián**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de columnas del Paso Elevado de la Av. 25 de Julio intersección vía Perimetral**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____
Reyes Castillo, Enrique Sebastián

REPORTE URKUND



Urkund Analysis Result

Analysed Document: REYES_ENRIQUE_FINAL.docx (D113214217)
Submitted: 9/22/2021 10:58:00 PM
Submitted By: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec
Significance: 5 %

Sources included in the report:

Yagual_Eliana_FINAL.docx (D113112388)
<https://steemit.com/stem-espanol/@eliaschess333/aprendiendo-a-construir-el-diagrama-de-interaccion-de-una-columna-de-concreto-armado-aplicaciones-en-la-ingenieria>
<http://201.159.223.180/bitstream/3317/7655/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-181.pdf>
<http://192.188.52.94:8080/bitstream/3317/7615/1/T-UCSG-PRE-ING-IC-197.pdf>

Instances where selected sources appear:

11

AGRADECIMIENTO

Antes que nada, agradecer a Dios por las bendiciones que me ha brindado a lo largo de toda mi carrera universitaria.

A mis padres, hermanas y amigos por brindarme ese apoyo constante e incansable que me ha permitido en no desistir al perseguir este sueño de ser un ingeniero civil de la republica del Ecuador.

Al Ing. Guillermo Ponce, M.Sc. por la catedra otorgada durante este proceso de titulación, su enseñanza fue necesaria para cumplir con uno de los pasos más importantes en mi vida.

DEDICATORIA

Este trabajo va a dedicado a todas las personas que como yo comenzaron este camino con un sueño, el mismo que hoy se ve materializado al conseguir este título de ingeniero. En segundo lugar, le dedico este trabajo a Dios por darme la vida y la sabiduría a lo largo de mi vida universitaria y a mis padres quienes son los protagonistas de este logro y que me han apoyado a lo largo de mi carrera con mucho esfuerzo y sacrificio, que me brindaron su apoyo en esos momentos en dónde sentía que no podía más y me hicieron comprender que, aunque el camino sea difícil ellos estarían ahí para apoyarme y darme la mano. Y por último como no podría dedicarles este trabajo a mis compañeros, si fueron ellos quienes han estado conmigo durante todo este camino y con quiénes he ido formando mi vida profesional. Reconozco que hubo muchos momentos malos, pero fueron quedando de lado ante la infinidad de buenos momentos que coseché con ellos.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. CHON DÍAZ, CARLOS, M.Sc.

DECANO

f. _____

ING. BARROS CABEZAS, JOSÉ ANDRES, M.Sc.

COORDINADOR DE ÁREA

f. _____

ING. HERNÁNDEZ BARREDO, JAIME FRANCISCO, M.Sc.

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

CAPITULO 1: GENERALIDADES.....	2
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 IMPORTANCIA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
1.4 ALCANCE.....	3
CAPITULO 2: MARCO TEORICO	4
2.1 COMPONENTES ESENCIALES DE UN PASO ELEVADO.....	4
2.1.1 SUBESTRUCTURA.....	4
2.2.1 SUPERESTRUCTURA.....	5
2.3 NORMATIVA AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS 2002 FOR HIGHWAYS BRIDGES.....	5
2.3.1 FILOSOFÍAS DE DISEÑO: ASD y LFD.....	5
2.3.2 CARGAS.....	6
2.3.3 COMBINACIONES DE CARGA.....	11
2.3.4 FACTORES DE RESISTENCIA.....	13
2.4 NORMATIVA AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 2017.....	13
2.4.1 CARGAS PERMANENTES.....	13
2.4.2 CARGA VIVA VEHÍCULAR.....	14

2.4.3 CARGA DINÁMICA VEHÍCULAR	15
2.4.5 FUERZA CENTRÍFUGA VEHÍCULAR.....	16
2.4.6 FUERZA DE FRENADO VEHÍCULAR.....	16
2.4.7 CARGA PEATONAL	16
2.4.8 SISMO EQ	17
CAPITULO 3: COMPILACION DE DATOS Y METODOLOGÍA.....	18
3.1 UBICACIÓN Y DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO.....	18
3.2 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	19
3.2.1 PILAS.....	19
3.2.2 VIGA CABEZAL	21
3.2.3 VIGAS.....	22
3.3 TRAMOS DE ANALISIS PARA REVISIÓN DE PILAS	23
3.4 ASIGNACION DE CARGAS EN PILAS.....	24
3.4.1 CARGA MUERTA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	25
3.4.2 CARGA VIVA MÁS IMPACTO	28
3.5 TIPO DE SUELO	30
3.5.1 ESPECTRO DE DISEÑO AASHTO 2002.....	33
3.5.2 ESPECTRO DE DISEÑO LRFD 2017	36
3.6 RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE EXTRACCIÓN DE NUCLEO	43
CAPITULO 4: ANALISIS MEDIANTE SAP 2000	48
4.1 MODELADO DE PILA #2 Y PILA #12 PARA AMBAS NORMAS	48
4.2 SECCION DESIGNER	49

4.3 MODELADO DE PILA #2 CON ALTURA DE 1,8 METROS	50
4.3.1 COMBINACIONES DE CARGAS SEGÚN AASHTO 2002	50
4.3.2 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN LRFD 2017.....	53
4.3.3 DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN.....	55
4.3.4 MOMENTO CURVATURA.....	58
4.3.5 DESPLAZAMIENTOS SEGÚN SAP 2000	63
4.4 MODELADO DE PILA #12 CON ALTURA DE 11 METROS	65
4.4.1 COMBINACIONES DE CARGAS SEGÚN AASHTO 2002	66
4.4.2 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN LRFD 2017.....	67
4.4.3 DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN.....	67
4.4.4 MOMENTO CURVATURA.....	70
4.4.5 DESPLAZAMIENTOS SEGÚN SAP 2000	74
4.5 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO.....	75
4.6 DESPLAZAMIENTO DE FLUENCIA Y DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO	76
4.6.1 LONGITUD DE RÓTULA PLÁSTICA.....	76
4.6.2 RESUMEN DE DESPLAZAMIENTOS PARA R=3 y sin “R” PARA AMBAS NORMATIVAS.....	76
4.7 CAPACIDAD DE CORTE PARA AMBAS PILAS SEGÚN NORMATIVA ACI 318	77
 CAPITULO 5: INTERPRETACIÓN Y ALTERNATIVAS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	 80
5.1 ENCAMISADO DE ACERO ESTRUCTURAL A-36.....	80
5.1.1 REFUERZO ADICIONAL DE PILA #2 DE 1,8 METROS DE ALTURA.....	81

5.1.2 REFUERZO ADICIONAL DE PILA #12 DE 11 METROS DE ALTURA.....	82
5.1.3 RESUMEN DE RESISTENCIAS Y DESPLAZAMIENTOS CON DISTINTOS VALORES DE ESPESOR PARA ENCAMISADOS	83
5.1.4 RESISTENCIA A CORTE CON ALTERNATIVAS DE ENCAMISADO.....	83
5.2 PRESUPUESTO DE ENCAMISADO SEGÚN SU ESPESOR	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	86
BIBLIOGRAFÍA.....	87

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tipo de camión H15 y H20. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002).....	8
Ilustración 2. Tipo de camión HS15 y HS20 en vista lateral. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	8
Ilustración 3. Tipo de camión HS15 y HS20 en vista posterior. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	9
Ilustración 4. Combinaciones de carga. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002).....	11
Ilustración 5. Camión de diseño. Fuente: (Pedro Rojas, 2021).....	15
Ilustración 6 Cargas de diseño. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)	15
Ilustración 7. Mapa satelital de la ubicación del proyecto. Fuente: Google Earth Pro.....	18
Ilustración 8. Dirección y selección del paso elevado. Fuente: Google Earth Pro	19
Ilustración 9. Pila #3 del paso elevado con columnas rectangulares inclinadas. Fuente: Elaboración propia de autor.....	20
Ilustración 10. Pila #15 del paso elevado con columna rectangular recta. Fuente: Elaboración propia de autor.....	20
Ilustración 11. Pila #16 del paso elevado con columna circular. Fuente: Elaboración propia de autor.....	21
Ilustración 12. Viga cabezal de la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.....	21
Ilustración 13. Tipo de viga 1, utilizada en tramos rectos. Fuente: Elaboración propia de autor.....	22
Ilustración 14. Tipo de viga 2, utilizada en tramos curvos. Fuente: Elaboración propia de autor.....	22

Ilustración 15. De izquierda a derecha pila #1, pila #2 y pila #3 presentes en el tramo 1; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor	23
Ilustración 16. De izquierda a derecha: pila#11, pila #12 y pila #13 presentes en el tramo 2; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor ...	23
Ilustración 17. Vista lateral de pila #2 ubicada en tramo 1; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor.....	24
Ilustración 18. Vista lateral de pila #12 ubicada en tramo 2; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor.....	24
Ilustración 19. Medición por cortes en el tablero. Fuente: Elaboración propia de autor.....	25
Ilustración 20. Representación de elementos estructurales. Fuente: Elaboración propia de autor.....	25
Ilustración 21. Sección transversal de baranda. Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor.....	26
Ilustración 22. Sección transversal de pila tipo 1; Unidades en centímetros; Fuente: Elaboración propia de autor.....	27
Ilustración 23. Ubicación de carga muerta en línea de acción de cada viga. Fuente: Elaboración propia de autor.....	28
Ilustración 24. Carga de carril. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)	29
Ilustración 25. Ubicación de carga viva más impacto en línea de acción de cada viga Fuente: Elaboración propia de autor.....	29
Ilustración 26. Sector 45, Vulnerabilidad de edificaciones. Fuente: (Argudo, 2011).....	30
Ilustración 27. Mapa de zonificación del suelo de la ciudad de Guayaquil. Fuente: Municipio de Guayaquil.....	31
Ilustración 28. Descripción de mapa de zonificación del suelo de la ciudad de Guayaquil. Fuente: Municipio de Guayaquil.	31

Ilustración 29. Espectro de respuesta AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.....	36
Ilustración 30. Curvas de peligro sísmico para Guayaquil. Fuente: (NEC, 2015).....	37
Ilustración 31. Espectro de respuesta de diseño. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	40
Ilustración 32. Espectro de respuesta LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.....	43
Ilustración 33 Equipo utilizado para obtención de armaduras. Fuente: (HILTI)	44
Ilustración 34. Pila #2 seleccionada para extracción de núcleo. Fuente: Elaboración propia de autor.....	44
Ilustración 35. Plantilla de escaner Ferroskan. Fuente: Elaboración propia de autor.....	45
Ilustración 36. Bosquejo aproximado de ubicación de varillas. Fuente: Elaboración propia de autor.....	45
Ilustración 37. Perforación con broca especial. Fuente: Elaboración propia de autor.....	46
Ilustración 38. Extracción de núcleo de hormigón. Fuente: Elaboración propia de autor.....	46
Ilustración 39. Propiedades y resistencia del núcleo. Fuente: (CEINVES) ..	47
Ilustración 40. Armadura de pila #2. Fuente: (CEINVES)	47
Ilustración 41. Modelado en SAP 2000 para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.....	48
Ilustración 42. Modelado en SAP 2000 para pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.....	49
Ilustración 43. Detallamiento de columna. Fuente: SAP 2000	50

Ilustración 44. Pestaña "DISPLAY" para observación de cargas en los elementos. Fuente: SAP 2000.	52
Ilustración 45. Diagrama de interacción de Pila #2 con valores de R=3.	56
Ilustración 46. Diagrama de interacción de Pila #2 sin valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.	57
Ilustración 47. Comparativa con respecto a valores de demanda para valores de R=3 vs sin R para la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.	58
Ilustración 48. Diagrama momento-curvatura de pila #2 según AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.	59
Ilustración 49. Diagrama momento-curvatura para pila de #2 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.	59
Ilustración 50. Comparativa de momento curvatura para ambas normas con su valor máximo "P" para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.	60
Ilustración 51. Diagrama momento curvatura de pila #2 para R=3 y sin R según AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.	61
Ilustración 52. Diagrama momento curvatura de pila #2 para R=3 y sin R según LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.	61
Ilustración 53. Momento curvatura con carga muerta sin factorizar con fluencia y curvatura última para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.	63
Ilustración 54. Barra de herramientas para demostración de deformación. Fuente: SAP 2000.	64
Ilustración 55. Desplazamientos en los nudos de las pilas. Fuente: SAP 2000.	65
Ilustración 56. Diagrama de interacción de pila #12 con valores de R=3. Fuente: Elaboración propia de autor.	68

Ilustración 57. Diagrama de interacción de pila #12 sin valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.	69
Ilustración 58. Comparativa con respecto a valores de demanda para valores de R=3 vs sin “R” para la pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.	70
Ilustración 59. Diagrama momento-curvatura para pila #12 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.	71
Ilustración 60. Diagrama momento-curvatura para pila #12 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.	71
Ilustración 61. Comparativa de momento curvatura para ambas normas con su valor máximo “P” para pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor. ...	72
Ilustración 62. Diagrama momento curvatura de pila #12 para R=3 y sin R según AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.	72
Ilustración 63. Diagrama momento curvatura de pila #12 para R=3 y sin R según LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.	73
Ilustración 64. Momento curvatura con carga muerta sin factorizar con fluencia y curvatura última para pila #12.	74
Ilustración 65. Comparativa de espectros de desplazamiento. Fuente: Elaboración propia de autor.	75
Ilustración 66. Herramienta para diseño de encamisado en pilas rectangulares. Fuente: SAP 2000.	81
Ilustración 67. Columna con encamisado de acero. Fuente: SAP 2000.	81
Ilustración 68. Comparativa de demandas para valores sin R vs valores sin R con encamisado para la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.	82
Ilustración 69. Comparativa de demandas para valores sin R vs valores sin R con encamisado para la pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.	82
Ilustración 70. Buscador de contrataciones públicas para obtener costo unitario del Acero A-36. Fuente: (COMPRAS PÚBLICAS, s.f.).....	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pesos típicos de materiales. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)	7
Tabla 2. Coeficientes para las combinaciones de carga. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	12
Tabla 3. Factores de resistencia según su elemento, material o requerimiento. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	13
Tabla 4. Densidades para cada elemento. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)	14
Tabla 5. Factor de carga dinámica Fuente: (Pedro Rojas, 2021).....	16
Tabla 6. Peso específico de materiales. Fuente: Elaboración propia de autor.	25
Tabla 7. Carga muerta para cada uno de los cortes. Fuente: Elaboración propia de autor.....	28
Tabla 8. Clasificación de suelos según AASHTO. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	32
Tabla 9. Clase de sitio para caracterización del suelo. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	32
Tabla 10. Tipo de suelo para ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.....	33
Tabla 11. Coeficiente de sitio. Fuente: (Pedro Rojas, 2020).....	34
Tabla 12. Factor de respuesta. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002).....	35
Tabla 13. Resumen de parámetros para curva espectral AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.....	35
Tabla 14. Resultado de fórmulas para cada periodo. Fuente: Elaboración propia de autor.....	35

Tabla 15. Coeficientes para espectro de aceleración en periodo 0, Fpga. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	38
Tabla 16. Coeficientes para espectro de aceleración en periodos cortos. Fa. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	38
Tabla 17. Coeficientes para espectro de aceleración en periodos largos. Fv. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	39
Tabla 18. Coeficientes según la clase de sitio para curva espectral LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.....	39
Tabla 19. Factor “R” para espectro de diseño. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)	41
Tabla 20. Resumen de parámetros para curva espectral. Fuente: Elaboración propia de autor.....	41
Tabla 21. Resultado de fórmulas para cada periodo. Fuente: Elaboración propia de autor.....	42
Tabla 22. Coeficientes para cargas de diseño para pila #2. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)	51
Tabla 23. Resumen de mayoración de cargas a utilizar. Fuente: Elaboración propia de autor. (Apartado de AASHTO 2002)	51
Tabla 24. Fuerza de los elementos del modelo de pila #2 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.....	53
Tabla 25. Combinaciones de carga para pila #2 según su evento. Fuente LRFD 2017.....	54
Tabla 26. Fuerzas de los elementos del modelo de pila #2 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.....	55
Tabla 27. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor de $R=3$ para pila #2 Fuente: Elaboración propia de autor.....	56

Tabla 28. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante sin valores de R para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.....	56
Tabla 29. Valores de P y M para diagrama de interacción de ambas normas con diferentes valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.	57
Tabla 30. Demandas resultantes para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.....	58
Tabla 31. Datos extraídos de SAP 2000 para la carga P=-153. Fuente: SAP 2000.....	62
Tabla 32. Resumen de desplazamientos según la norma para la pila #2 sin valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.....	65
Tabla 33. Fuerza de los elementos del modelo de pila #12 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.....	66
Tabla 34. Fuerzas de los elementos del modelo de pila #12 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.....	67
Tabla 35. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor de R=3 para pila #12 Fuente: Elaboración propia de autor.....	67
Tabla 36. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor sin R para la pila #12 Fuente: Elaboración propia de autor.....	68
Tabla 37. Valores de P y M para diagrama de interacción de ambas normas con diferentes valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.	69
Tabla 38. Demandas resultantes para pila de 11 metros. Fuente: Elaboración propia de autor.....	70
Tabla 39. Datos extraídos de SAP 2000 para la carga P=-187. Fuente: SAP 2000.....	73
Tabla 40. Resumen de desplazamientos según la norma para la pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.....	74

Tabla 41 Datos principales para determinar desplazamiento de fluencia. Fuente: Elaboración propia de autor.....	76
Tabla 42. Resumen de curvaturas y desplazamientos para la pila #2 según ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.	77
Tabla 43. Resumen de curvaturas y desplazamientos para la pila #12 según ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.	77
Tabla 44. Datos iniciales para obtención de cortante. Fuente: Elaboración propia de autor.....	78
Tabla 45. Resumen de capacidad a corte según el valor de R. Fuente: Elaboración propia de autor.....	79
Tabla 46. Comparativa de valores para corte y desplazamientos según su valor de R y encamisado. Fuente: Elaboración propia de autor.....	83
Tabla 47. Especificaciones de acero a utilizar para encamisado. Fuente: Elaboración propia de autor.....	85
Tabla 48. Costo aproximado de encamisado para ambas pilas. Fuente: Elaboración propia de autor.....	85

RESUMEN

Las pilas de un paso elevado deben permanecer en estado óptimo para el soporte de cargas con las cuales fueron diseñadas, años atrás muchos puentes/pasos elevados de la ciudad de Guayaquil se diseñaron mediante normativas correspondientes al año de construcción, con el pasar del tiempo, estas normas se actualizan y consideran una nueva forma de analizar estas cargas. En el paso elevado de la Av. 25 de Julio ubicado frente al Riocentro Sur de la ciudad de Guayaquil se analizaron dos pilas, una de poca altura y otra de gran altura, obteniendo sus valores estructurales mediante un análisis del programa SAP 2000, los cuales fueron de vital importancia para desarrollar los cálculos pertinentes y observar el comportamiento de ambas pilas frente a sus respectivas cargas de diseño, estableciendo una comparación de la normativa utilizada en la época de construcción del año 2000 frente a una normativa más actual del año 2017, en donde se concluyó el necesario refuerzo de estas pilas mediante un encamisado de acero estructural A-36 para un estado donde se reducen sus valores de R obligando a que la estructura tome mayor carga en rangos elásticos y así también poder disminuir sus deformaciones. El costo que requiere optar esta nueva alternativa es de \$48'224,57 donde se emplea diferentes espesores de acero con 20 y 30 milímetros para la pila #2 y #12 respectivamente.

Palabras claves: Cargas de diseño, refuerzo, encamisado, rangos elásticos, deformaciones, espesor.

ABSTRACT

The piles of an overpass must remain in optimal condition for the support of loads with which they were designed, years ago many bridges / overpasses of the city of Guayaquil were designed by regulations corresponding to the year of construction, with the passage of time, these standards are updated and considered a new way to analyze these loads. In the overpass of Av. 25 de Julio located in front of the Riocentro Sur of the city of Guayaquil, two piles were analyzed, one of low height and another of big height, obtaining their structural values through an analysis of the SAP 2000 program, which were of vital importance to develop the pertinent calculations and observe the behavior of both piles against their respective design loads, establishing a comparison of the regulations used at the time of construction of the year 2000 against a more current regulation of the year 2017, where the necessary reinforcement of these piles was concluded by means of a jacketing of structural steel A-36 for a state where their R values are reduced forcing the structure to take on greater load in elastic ranges and thus also be able to reduce its deformations. The cost required to opt for this new alternative is \$ 48'224.57 where different thicknesses of steel with 20 and 30 millimeters are used for the #2 and #12 pile respectively.

Keywords: Design loads, reinforcement, jacketing, elastic ranges, deformations, thickness.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

En Guayaquil existen un sin número de estructuras que ayudan a disminuir el pesado tráfico que se produce en la ciudad, desde horas de la mañana y tarde, estas estructuras destacan un papel importante al ser parte de las grandes conexiones que hay dentro de la civilización, estos pueden ser puentes o pasos elevados, que no solamente fueron construidos con el propósito de cruzar por encima de un río, sino también, agilizar la movilidad del transporte debido a la gran extensión en área de la ciudad.

Los puentes y pasos elevados que se han construido hasta el día de hoy en la ciudad de Guayaquil han presentado un respetable y confiable desempeño frente a las posibles cargas con las que han sido diseñados, incluso aún, durante largas horas de tráfico donde soporta el gran peso de los vehículos. De esta manera se demuestra que, las normativas utilizadas por aquellos constructores de aquel tiempo cumplen de manera satisfactoria las funciones principales de una estructura. Sin embargo, este tipo de estructuras puede variar su desempeño cambiando la geometría de sus elementos, como lo es en el caso de las columnas de una estructura, al modificar o plantear una nueva propuesta en las pilas de un paso elevado, se podría reducir el impacto generado por las cargas a las que se ha sometido.

Los elementos que influyen en el comportamiento y desempeño de una estructura son muy importantes al momento de cumplir con la función por la cual fueron considerados. Las columnas de una estructura soportan de manera sustancial los tableros por donde transitan los vehículos, razón necesaria por la cual deben ser diseñadas de tal forma que cumplan con los requisitos estipulados por la norma con la que fueron construidos.

1.2 IMPORTANCIA DE INVESTIGACIÓN

El propósito del siguiente trabajo de titulación es demostrar el comportamiento de las pilas del paso elevado de la Avenida 25 de Julio mediante normas de diseño utilizadas en tal época de construcción y analizar el desempeño de esta frente a normativas actuales.

Anticipar los posibles daños que podría ocasionar el haber utilizado normativas de dicha época de construcción, alargaría el tiempo de vida útil para las estructuras, en el caso de un paso elevado, fortalecer sus pilas modificando su geometría o su refuerzo es de gran beneficio para el funcionamiento de este.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Evaluar la capacidad actual de las columnas diseñadas con códigos anteriores y presentar alternativas para mejorar su comportamiento y vida útil.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la capacidad actual de las columnas
- Evaluar alternativas que mejoren el comportamiento

1.4 ALCANCE

Se generarán modelos en programa de ingeniería considerando comportamiento elástico.

Se evaluarán las cargas de diseño original y la capacidad requerida por código vigente a la fecha del diseño original.

Se evaluarán las cargas actuantes bajo la normativa vigente.

Se analizarán 2 alternativas técnicas para mejorar el comportamiento y se presentarán costos estimados.

CAPITULO 2: MARCO TEORICO

2.1 COMPONENTES ESENCIALES DE UN PASO ELEVADO

Cada elemento que constituye un paso elevado se divide en subestructura y superestructura, estas partes se complementan para cumplir con el paso de vehículos sobre una vía existente. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.1.1 SUBESTRUCTURA

La subestructura pertenece a los elementos estructurales que fueron diseñados para tolerar el peso de la superestructura y aquellas cargas las cuales será sometida la misma, estos pueden ser apoyos, estribos, pilas y vigas cabezales. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.1.1.1 APOYOS

Son aquellos elementos de transmisión de acciones donde el tablero dirige las cargas a las pilas y/o estribos. Uno de los apoyos más comunes es el neopreno, el cual está elaborado de caucho sintético con chapas de acero totalmente cubiertas por un material elastomérico, lo que restringe el movimiento vertical. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.1.1.2 ESTRIBOS

Ubicados en los extremos del paso elevado, son quienes sostienen las rampas que conducen al puente. Estos reciben el empuje de las tierras de los terraplenes, por ende, trabajan también como un muro de contención. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.1.1.3 PILAS

Son los soportes intermedios de un paso elevado de dos o más tramos. Obligadamente funcionan como apoyos que reciben cargas de forma permanente, ser insensibles al accionar de agentes naturales como lo es el viento. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.1.1.4 VIGA CABEZAL

Es aquella viga transversal que se ubica sobre los estribos y/o pilas, cuyo accionar principal es distribuir y transmitir de forma uniforme las cargas de la superestructura a la subestructura del paso elevado. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.2.1 SUPERESTRUCTURA

La superestructura contiene a aquellos elementos estructurales que están ubicados por encima de los apoyos de un paso elevado. Las vigas, cerchas, arcos y sistema de suspensión son considerados como primarios, mientras que, diafragmas, viguetas de piso, sistema de arriostamiento, portales, etc. pertenecen a elementos secundarios. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.2.1.1 LOSA

Conocido también como sistema de piso, es aquella plataforma la cual recibe el tránsito y la carga vehicular, estas pueden ser de acero, concreto o madera. La principal función de una losa como elemento de un paso elevado es la conducción de cargas a elementos importantes de la superestructura como lo son las vigas. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.2.1.2 VIGA

Son aquellos elementos que transmiten las cargas a estribos o pilares provenientes de la losa. (Dirección de construcción. INAPAC)

2.3 NORMATIVA AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS 2002 FOR HIGHWAYS BRIDGES

Esta norma se basa en la unión de dos filosofías de diseño las cuales se utilizan para el diseño de estructuras de puentes, estas son: ASD (Allowable Stress Design) y LFD (Load Factor Design).

2.3.1 FILOSOFÍAS DE DISEÑO: ASD y LFD

2.3.1.1 ALLOWABLE STRESS DESIGN

La regla general en la cual se caracteriza esta filosofía es que las cargas de diseño aplicadas en una estructura no superen la resistencia de aquellos elementos que consideren un factor de seguridad. (Pedro Rojas, 2021)

- Q= cargas aplicadas a la estructura.
- Rn= resistencia de diseño.
- Fs= Factor de seguridad.

$$Q \leq \frac{Rn}{Fs}$$

2.3.1.2 LOAD FACTOR DESIGN

La regla general en la cual se caracteriza esta filosofía es que la resistencia ultima de la estructura obligadamente tiene que ser mayor a las cargas aplicadas. (Pedro Rojas, 2021)

- Y= Factor de carga.
- Q= Cargas aplicadas a la estructura.
- Rn= Resistencia de diseño.

$$\sum YQ \leq Rn$$

2.3.2 CARGAS

La normativa AASHTO ESTÁNDAR 2002 señala que todas las estructuras relacionadas a puentes o pasos elevados a lo largo de toda su vida útil se ven forzados a distintos tipos de carga, en donde la combinación de todas estas debe ser soportada por los tipos de estructura en mención. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.1 CARGA MUERTA

Es aquella carga donde se examina el peso de la estructura en general, donde se incluyen algunos elementos como barreras, barandas, postes, cables, tuberías, aceras, carpeta de rodadura y aquellos servicios de ente público. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Tabla 1. Pesos típicos de materiales. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

Materiales	Peso en kg/m3
Acero o acero fundido	7.866
Hierro Fundido	7.223
Aleación de aluminio	2.809
Madera	803
Hormigón simple o armado	2.408
Arena compactada, tierra , grava o balasto	1.926
Arena suelta, tierra y grava	1.605
Grava rodillada	2.247
Relleno de escorias o cenizas	963
Pavimentos que no sea de bloques de madera	2.408
Mampostería de piedra	2.729
Rieles de ferrocarril, baranda de protección y fijadores (por ml)	298
Planchas de asfalto de 2.5cm de espesor	44

2.3.2.2 CARGA VIVA

Es donde intervienen las cargas provocadas por los peatones y el movimiento de vehículos, se considera una ocupación de 10 pies de ancho para las cargas vivas, las cuales pueden ser la carga de carril y la carga de camión. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

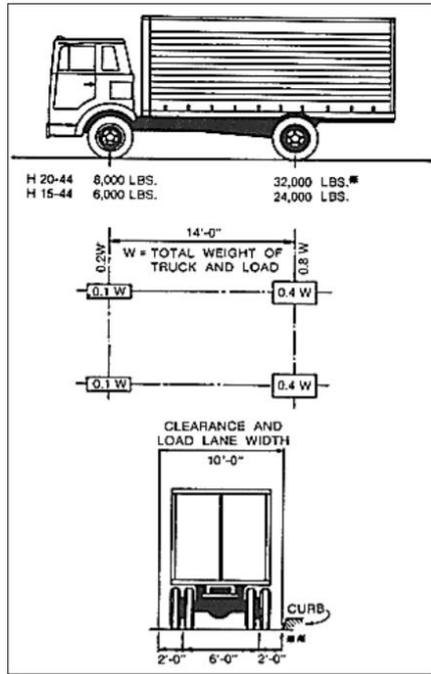


Ilustración 1. Tipo de camión H15 y H20. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002).

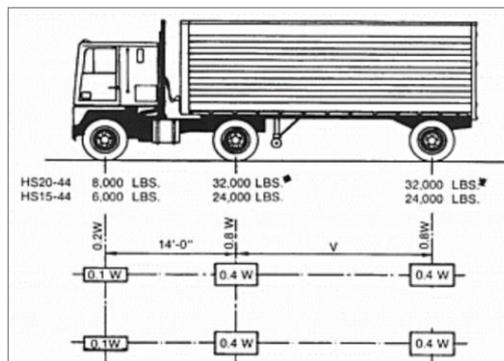


Ilustración 2. Tipo de camión HS15 y HS20 en vista lateral. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

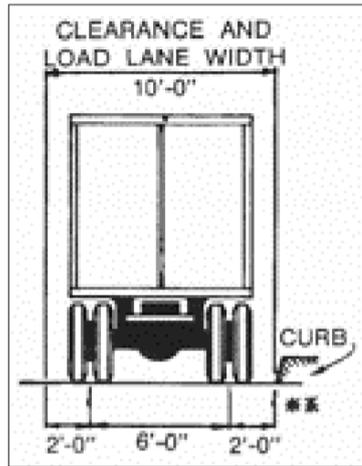


Ilustración 3. Tipo de camión HS15 y HS20 en vista posterior. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.3 CARGA VIVA DE IMPACTO

Este tipo de cargas buscan ampliar los efectos de impacto, vibratorios y dinámicos, pero solo actuando en los elementos de la superestructura y en el caso de analizar una estructura donde sobresalen sus pilotes del terreno se debe examinar los apoyos sobre pilotes que están conectados de manera rígida a la estructura. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.4 FUERZA DE FRENADO

El detenimiento brusco de los vehículos añadido a la fuerza ocasionada por la fricción es lo que se considera improbable al no poder detener de forma simultánea el tren de los vehículos. Esta fuerza asume el 5% de la carga viva utilizada para todos los carriles que mantienen el tránsito en una sola dirección. Su centro de gravedad se analiza a 1,83 metros sobre la calzada y se transmite desde la superestructura hasta la subestructura. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.5 FUERZA CENTRÍFUGA

Este tipo de fuerza es considerable para aquellas estructuras en curva donde en todos sus carriles se debe analizar una fuerza radial horizontal,

$$c = 0.00117 S^2 D = 6.68 \frac{S^2}{R}.$$

- C= Fuerza centrífuga en porcentaje de la carga viva sin impacto.
- S= Velocidad de diseño en millas/horas.
- D= Grado de la curva de la estructura
- R= Radio de la curva en pies.

Para considerar este tipo de carga se debe analizar que la carga viva es del camión, más no del carril, la cual se ubicará en cada carril de diseño que es donde se produce el máximo esfuerzo. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.5 FUERZA DE VIENTO

Aquella fuerza provocada por el accionar del viento, la cual solo será considerable en aquellos ambientes donde podría verse afectada la estructura, esta se aplica con una consideración a 90 grados y solo excede las 100 millas por hora. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.7 FUERZAS POR DILATACIÓN TÉRMICA

Estas son utilizables debido al cambio brusco de temperatura, las estructuras se verán afectadas dependiendo del ambiente en donde se encuentren, los rangos permisibles a considerar deben permanecer desde los 0 grados hasta los 45 grados centígrados. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.8 PRESIONES DE TIERRA

Provocada por el imprevisto levantamiento espontaneo de las presiones de tierra estimulado por el asentamiento de la estructura, razón por la cual se debe realizar una conveniente fijación de la estructura y asegurar que el alza

de los elementos esté dentro del rango esperado. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.2.9 TERREMOTOS

Aplicables en regiones donde el peligro sísmico pueda afectar seriamente a las estructuras, las cuales deberán estar diseñadas para resistir eventos en donde se considere la relación del sitio con sus fallas activas y su respuesta sísmica y dinámica de la estructura en general. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

2.3.3 COMBINACIONES DE CARGA

Son aquellas representaciones de cargas según el componente de la estructura o cimentación acorde a los efectos de tipos o lugares donde se simboliza cada combinación de carga. Estas combinaciones son las siguientes:

$$\begin{aligned} \text{Group (N)} = & \gamma[\beta_D \cdot D + \beta_L (L + I) + \beta_C CF + \beta_E E \\ & + \beta_B B + \beta_S SF + \beta_W W + \beta_{WL} WL \\ & + \beta_L \cdot LF + \beta_R (R + S + T) \\ & + \beta_{EQ} EQ + \beta_{ICE} ICE] \end{aligned}$$

Ilustración 4. Combinaciones de carga. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

- N= número del grupo.
- γ = factor de carga determinado por tabla.
- β = coeficiente determinado por tabla.
- D= carga muerta.
- L= Carga viva.
- I= Carga viva de impacto.
- g= Presión de tierras
- B= Flotabilidad
- W= Carga de viento en la estructura.

- WL= Carga de viento en la carga viva / 100 libras por pie.
- LF= Fuerzas longitudinales por efecto de la carga viva.
- CF= Fuerza centrífuga.
- R= Acortamientos – nervios.
- S= Contracciones.
- T= Temperaturas.
- EQ= Earthquake.
- SF= Presión del flujo de corriente.
- ICE= Presión del hielo.

Cada valor de carga esta especificado según los elementos que se desean analizar. (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Tabla 2. Coeficientes para las combinaciones de carga. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Col. No.	1	2	3	3A	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
GROUP	γ	β FACTORS													%	
		D	(L+I) _n	(L+I) _p	CF	E	B	SF	W	WL	LF	R+S+T	EQ	ICE		
SERVICE LOAD	I	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	100
	IA	1.0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
	IB	1.0	1	0	1	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	**
	II	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	125
	III	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	0	125
	IV	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	0	125
	V	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	140
	VI	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	0	140
	VII	1.0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	133
	VIII	1.0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	140
IX	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	150	
X	1.0	1	1	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Culvert
LOAD FACTOR DESIGN	I	1.3	β_D	1.67*	0	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	Not Applicable
	IA	1.3	β_D	2.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	IB	1.3	β_D	0	1	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	
	II	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	0	
	III	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	0	
	IV	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	0	
	V	1.25	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	1	0	0	
	VI	1.25	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	0	
	VII	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	0	0	0	0	1	0	
	VIII	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	1	
IX	1.20	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	1		
X	1.30	1	1.67	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	0	Culvert	

2.3.4 FACTORES DE RESISTENCIA

Es cuando la resistencia nominal de los elementos se ve afectada por ciertos factores, este valor varía acorde al tipo de elemento en consideración, material utilizado o tipo de requerimiento.

Tabla 3. Factores de resistencia según su elemento, material o requerimiento. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

<u>Uso</u>	<u>Factor de resistencia ϕ</u>
- Flexión y tracción	
Hormigón armado	0,9
Hormigón pretensado	1
- Corte y Torsión	
Hormigón pretensado	0,75

2.4 NORMATIVA AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS 2017

Esta normativa diseña en base a los factores de carga y resistencia donde considera los estados límites de resistencia, fatiga, fractura, serviciabilidad, constructibilidad y eventos extremos. (Pedro Rojas, 2021)

2.4.1 CARGAS PERMANENTES

Aquellas cargas que permanecen durante el periodo de servicio de la estructura o actúan por un gran periodo de tiempo, para las cargas DC, DW y EV se utiliza una tabla de densidades donde especifica el valor respectivo para cada elemento. (Pedro Rojas, 2021)

Tabla 4. Densidades para cada elemento. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

Material		Densidad (kg/m ³)
Aleaciones de aluminio		2800
Superficies de rodamiento bituminosas		2250
Hierro fundido		7200
Escoria		960
Arena, limo o arcilla compactados		1925
Hormigón	Agregados de baja densidad	1775
	Agregados de baja densidad y arena	1925
	Densidad normal con $f_c \leq 35$ MPa	2320
	Densidad normal con $35 < f_c \leq 105$ MPa	$2240 + 2,29 f_c$
Arena, limo o grava sueltos		1600
Arcilla blanda		1600
Grava, macadán o balasto compactado a rodillo		2250
Acero		7850
Sillería		2725
Madera	Dura	960
	Blanda	800
Agua	Dulce	1000
	Salada	1025
Elemento		Masa por unidad de longitud (Kg/mm)
Rieles para tránsito, durmientes y fijadores por vía		0,30

2.4.2 CARGA VIVA VEHÍCULAR

Son aquellas cargas delimitadas por tres tipos, estas son, camión de diseño, tándem de diseño y carril de diseño, a estas cargas se las conoce como HL-93. El camión de diseño se lo asimila como el camión HS20-44, el tándem de diseño con el camión militar y la carga del carril de diseño se asemeja a la carga uniforme HS20-44 pero sin sus cargas concentradas. (Pedro Rojas, 2021)

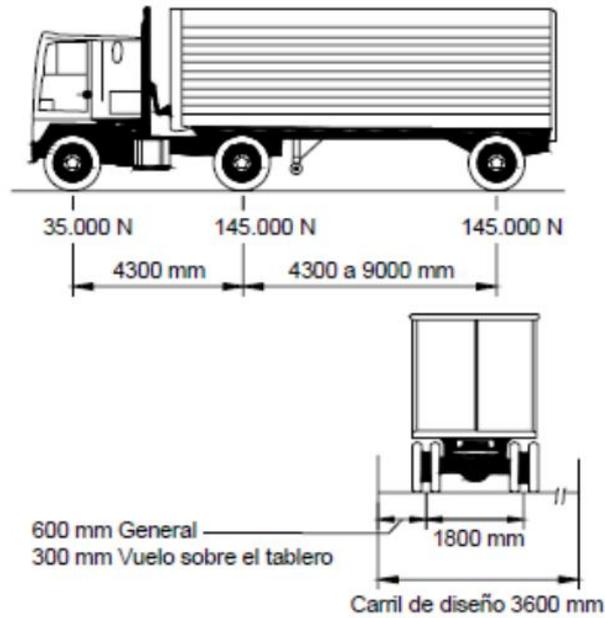


Ilustración 5. Camión de diseño. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

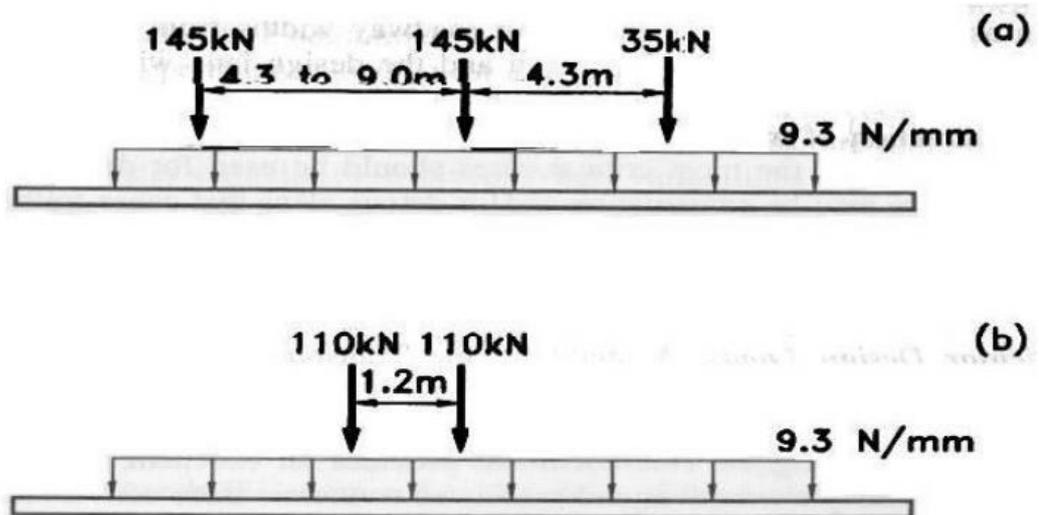


Ilustración 6 Cargas de diseño. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

2.4.3 CARGA DINÁMICA VEHÍCULAR

Este tipo de cargas mantiene relación con los estados límite, estos factores dependen del tipo de componente estructural que se desea diseñar. (Pedro Rojas, 2021)

Tabla 5. Factor de carga dinámica Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

<i>Componente Estructural</i>	<i>Factor de Carga Dinámica IM</i>
Juntas de Tablero - Todos los Estados Límites	75%
Todos los demás componentes	
• Estado Límite de Fatiga y Fractura	15%
• Todos los otros estados límites	33%

2.4.5 FUERZA CENTRÍFUGA VEHÍCULAR

Este efecto debe analizarse como el producto de los pesos del tándem de diseño y el coeficiente C, y así obtener el efecto de volcamiento en las cargas de las ruedas. Estas fuerzas centrífugas se deben aplicar a 6 pies sobre la superficie de la calzada de manera horizontal. (Pedro Rojas, 2021)

$$\text{Coeficiente } C = fv^2/gR$$

- v= Velocidad de diseño (pie/seg)
- f= 1.0 para fatiga y 4/3 para combinaciones de cargas diferentes a fatiga.
- g= Gravedad.
- R= Radio de curvatura de carril de tráfico (pies).

2.4.6 FUERZA DE FRENADO VEHÍCULAR

De similares características a la fuerza longitudinal de AASHTO 2002, esta fuerza se la considera como el valor mayor del 5% del camión de diseño más la carga de carril entre el 25% del peso de los ejes de camión. Esta fuerza debe aplicarse solo si el tránsito del puente/paso elevado tiene la misma dirección. (Pedro Rojas, 2021)

2.4.7 CARGA PEATONAL

Aplicable para las aceras que mantengan un ancho mayor a 2 pies, esta carga de 370 kg/m² debe ser considerada en simultáneo con la carga viva de diseño vehicular en el carril de los vehículos. (Pedro Rojas, 2021)

2.4.8 SISMO EQ

El diseño de un puente o paso elevado debe mantener una baja probabilidad de colapso donde puedan llegar a experimentar daños importantes cuando estos se sometan a eventos sísmicos que cumpla con una probabilidad del 7% de ser excedido dentro de un periodo de retorno igual a 75 años. (Pedro Rojas, 2021)

CAPITULO 3: COMPILACION DE DATOS Y METODOLOGÍA

Este apartado detalla las especificaciones necesarias para la resolución del tema en estudio, esto comprende lo que son las pilas por analizar, dimensiones, cargas, armadura, resistencia del hormigón y tipo de suelo en el que se encuentra la estructura.

3.1 UBICACIÓN Y DE LA ESTRUCTURA EN ESTUDIO

El paso elevado se encuentra ubicado en la zona sur de la ciudad de Guayaquil, frente al centro comercial “Riocentro Sur” de la avenida 25 de Julio en la ciudadela “Las Praderas”.

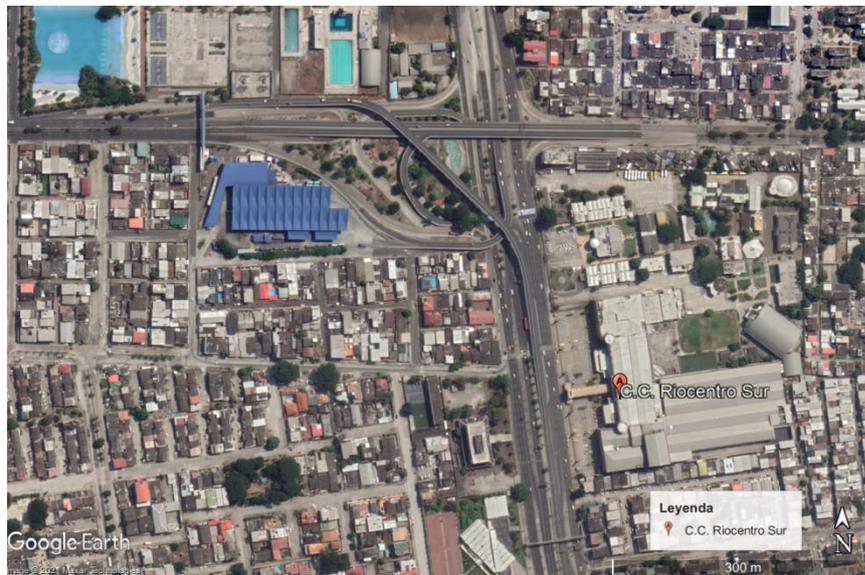


Ilustración 7. Mapa satelital de la ubicación del proyecto. Fuente: Google Earth Pro

La dirección de este paso elevado es de un solo sentido con dos carriles, el cual conecta la avenida 25 de julio a la avenida perimetral. El paso elevado tiene una longitud total de 833 metros, con 21 pilas ubicadas a lo largo de la estructura, estas poseen alturas considerablemente altas, y esto lo convierte en uno de los pasos elevados mas altos de la ciudad de Guayaquil.



Ilustración 8. Dirección y selección del paso elevado. Fuente: Google Earth Pro

3.2 DESCRIPCIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Para el siguiente registro se procedió a realizar mediciones en todos los elementos accesibles del paso elevado, obteniendo así los siguientes datos:

3.2.1 PILAS

La estructura consta de 3 tipos de pilas distintos, estas se diferencian en columnas rectangulares inclinadas, rectangulares rectas y circulares rectas.

3.2.1.1 RECTANGULARES INCLINADAS

El 78% de las columnas del paso elevado son inclinadas, haciendo de esta la que predomina en la estructura.



Ilustración 9. Pila #3 del paso elevado con columnas rectangulares inclinadas. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.2.1.2 RECTANGULARES RECTAS

De este tipo de columnas solo hay 1, la cual está ubicada al final del último tramo curvo.



Ilustración 10. Pila #15 del paso elevado con columna rectangular recta. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.2.1.3 CIRCULARES RECTAS

Las 3 únicas columnas circulares del paso elevado se encuentran en los tramos curvos, la primera de ellas es la pila #9 ubicada en el primer tramo

mientras que las otras dos, la pila #14 y pila #16 se encuentran en el segundo tramo curvo.



Ilustración 11. Pila #16 del paso elevado con columna circular. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.2.2 VIGA CABEZAL

Este elemento se mantiene en todas las columnas con las mismas dimensiones desde la pila #1 hasta la pila #21.



Ilustración 12. Viga cabezal de la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.2.3 VIGAS

El paso elevado comprende 2 tipos de vigas distintas, las cuales están asignadas por tramos en la estructura, el tipo de viga 1 se encuentra ubicada en los tramos rectos mientras que la viga tipo 2, la cual contiene mayor área, pertenece a los tramos curvos.

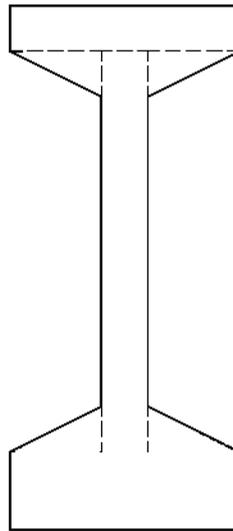


Ilustración 13. Tipo de viga 1, utilizada en tramos rectos. Fuente:
Elaboración propia de autor

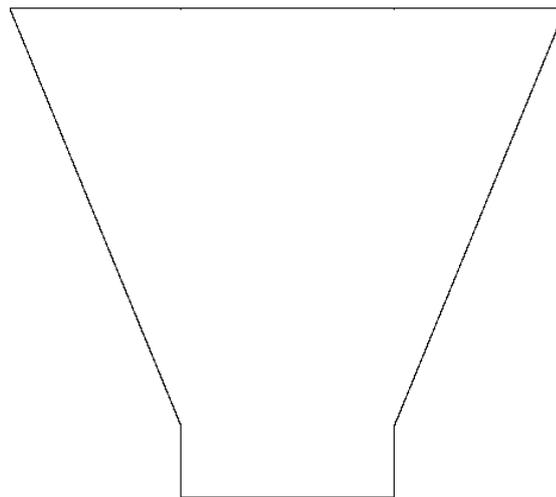


Ilustración 14. Tipo de viga 2, utilizada en tramos curvos. Fuente:
Elaboración propia de autor

3.3 TRAMOS DE ANALISIS PARA REVISIÓN DE PILAS

Para la búsqueda de nuevas alternativas, se analiza 2 tramos del paso elevado, el primero tendrá como objetivo verificar el desempeño de una pila de poca altura, mientras que el segundo está sujeto al análisis de la pila con más altura del paso elevado.

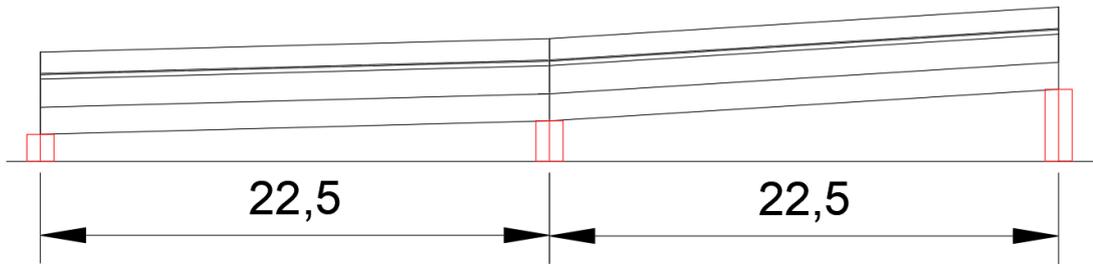


Ilustración 15. De izquierda a derecha pila #1, pila #2 y pila #3 presentes en el tramo 1; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor

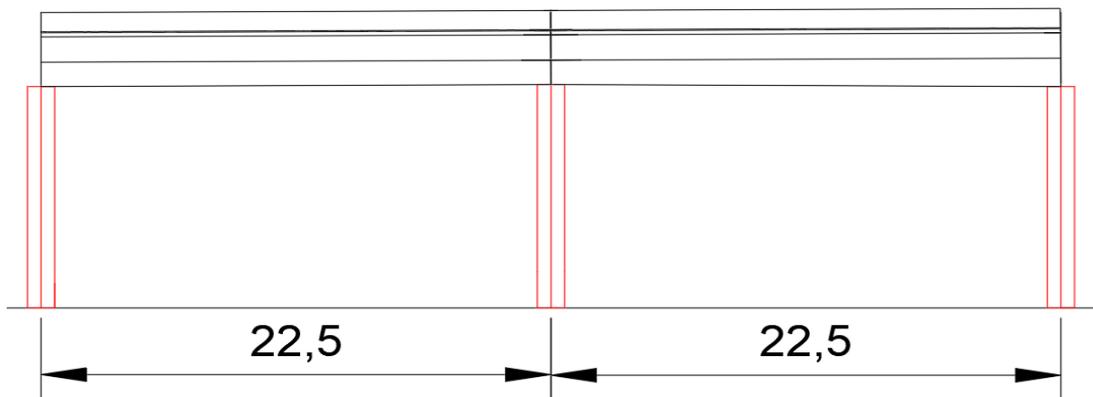


Ilustración 16. De izquierda a derecha: pila#11, pila #12 y pila #13 presentes en el tramo 2; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor

Para el análisis se ubica a la pila central de cada tramo, tomando la mitad del vano izquierdo y derecho.

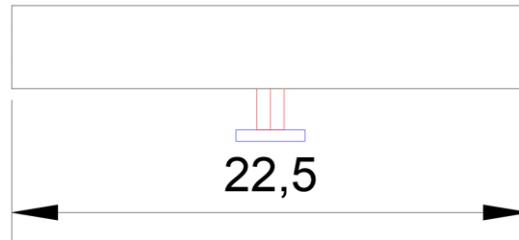


Ilustración 17. Vista lateral de pila #2 ubicada en tramo 1; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor.

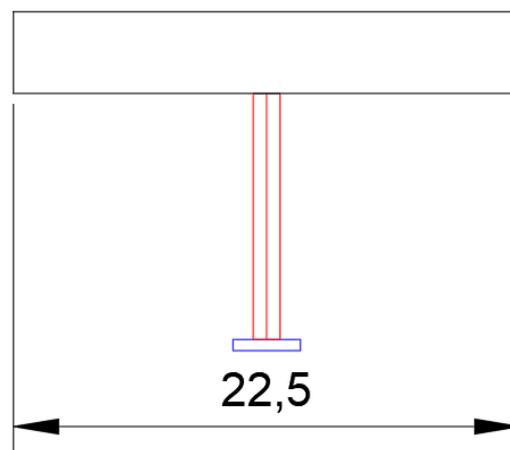


Ilustración 18. Vista lateral de pila #12 ubicada en tramo 2; Unidades en metros. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.4 ASIGNACION DE CARGAS EN PILAS

Para la pila #2 y pila #12 del paso elevado se estima el valor de sus cargas con el peso de los elementos que actúan sobre ellas. Dado a que la longitud de ambos tramos es la misma, las fuerzas que participan en ellas son iguales.

La estructura posee 5 vigas de tipo 1, la ubicación de las cargas de diseño está a la misma línea de estas, razón por la cual el ancho del tablero se divide por cortes para obtener la carga dirigida en ese punto.

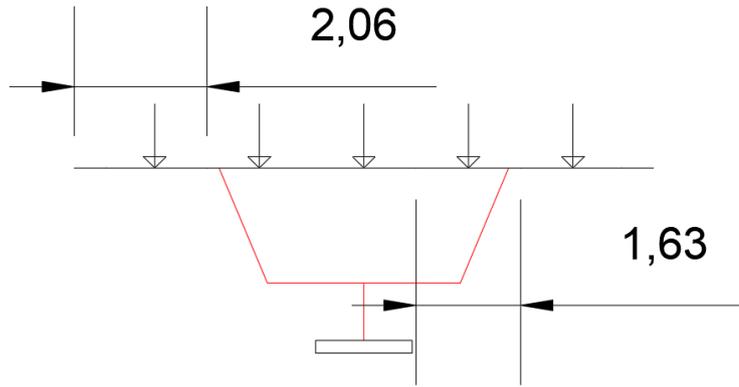


Ilustración 19. Medición por cortes en el tablero. Fuente: Elaboración propia de autor.

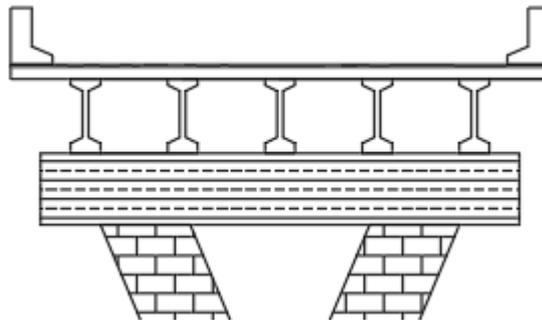


Ilustración 20. Representación de elementos estructurales. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.4.1 CARGA MUERTA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El diseño por carga muerta está representado por el peso de ciertos elementos estructurales ubicados por encima de la viga cabezal.

Tabla 6. Peso específico de materiales. Fuente: Elaboración propia de autor.

DATOS INICIALES	
Ancho de tablero (m)	9
γ hormigón (ton/m ³)	2,4
γ asfalto (ton/m ³)	2,2

3.4.1.1 BARANDAS

Al ser un elemento que está ubicado en los extremos del tablero, la carga que transmite va dirigida a la misma línea de acción de la viga.

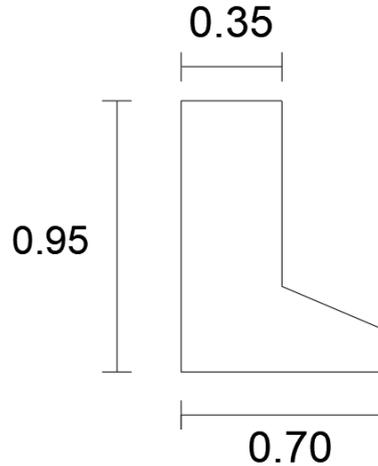


Ilustración 21. Sección transversal de baranda. Unidades en metros.

Fuente: Elaboración propia de autor.

Peso: Área de sección transversal x longitud del tramo x γ hormigón

$$\text{Peso: } 0.42 \times 22.5 \times 2.4 = 22.68 \text{ ton. (una baranda)}$$

3.4.1.2 LOSA Y CARPETA ASFÁLTICA

El espesor por utilizar está relacionado a lo propuesto por varios diseñadores de vías/puentes/pasos elevados, en donde el mayor de los casos se emplea 20 y 5 centímetros para losa y asfalto respectivamente.

Peso de Losa: Área de sección transversal x longitud del tramo x γ hormigón

$$\text{Peso en corte/extremo: } (0.2 \times 2.06) \times 22.5 \times 2.4 = 22.28 \text{ ton.}$$

$$\text{Peso en corte/interno: } (0.2 \times 1.63) \times 22.5 \times 2.4 = 17.55 \text{ ton.}$$

Peso de Asfalto: Área de sección transversal x longitud del tramo x γ asfalto

$$\text{Peso en corte/extremo: } (0.05 \times 2.06) \times 22.5 \times 2.2 = 5.10 \text{ ton.}$$

$$\text{Peso en corte/interno: } (0.05 \times 1.63) \times 22.5 \times 2.2 = 4.03 \text{ ton.}$$

3.4.1.3 VIGA TIPO 1

En el análisis para la pila corta y pila larga, la viga que participa en ambos tramos es del tipo 1. El cálculo se asemeja al de las barandas, dado a que es el elemento donde van dirigidas todas las cargas.

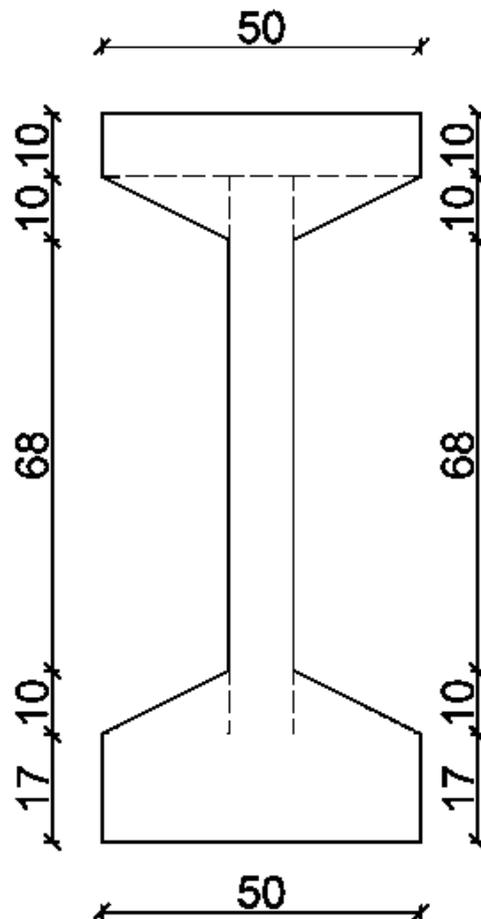


Ilustración 22. Sección transversal de pila tipo 1; Unidades en centímetros;
Fuente: Elaboración propia de autor.

Peso: Área de sección transversal x longitud del tramo x γ hormigón

$$\text{Peso: } (0.273) \times 22.5 \times 2.4 = 14.74 \text{ ton.}$$

3.4.1.4 RESULTANTE DE CARGA MUERTA

La suma de pesos de aquellos elementos que están ubicados por encima de la viga cabezal, son quienes determinan la carga muerta para cada uno de los cortes, tanto en los extremos como en el centro. En el caso de los extremos la única carga que se añade es la del peso de barandas.

Tabla 7. Carga muerta para cada uno de los cortes. Fuente: Elaboración propia de autor.

EXTREMO	CENTRO			EXTREMO
Baranda 22,68 ton	-	-	-	Baranda 22,68 ton
Asfalto 5,10 ton	Asfalto 4,03 ton	Asfalto 4,03 ton	Asfalto 4,03 ton	Asfalto 5,10 ton
Losa 22,28 ton	Losa 17,55 ton	Losa 17,55 ton	Losa 17,55 ton	Losa 22,28 ton
Viga 14,74 ton	Viga 14,74 ton	Viga 14,74 ton	Viga 14,74 ton	Viga 14,74 ton
65 ton	37 ton	37 ton	37 ton	65 ton

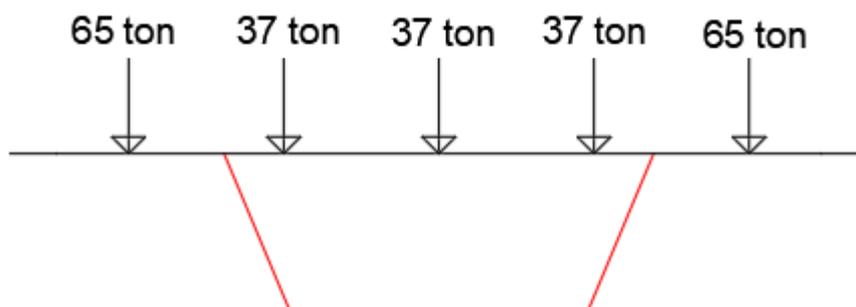


Ilustración 23. Ubicación de carga muerta en línea de acción de cada viga. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.4.2 CARGA VIVA MÁS IMPACTO

Basado en las normas de diseño AASHTO ESTÁNDAR 2002 Y LRFD 2017, para la carga viva más impacto se considera al tipo de camión que genera

mayor carga uniforme por metro lineal de carril de carga, dicho camión se denomina “H20-44” con un valor de 952kg.

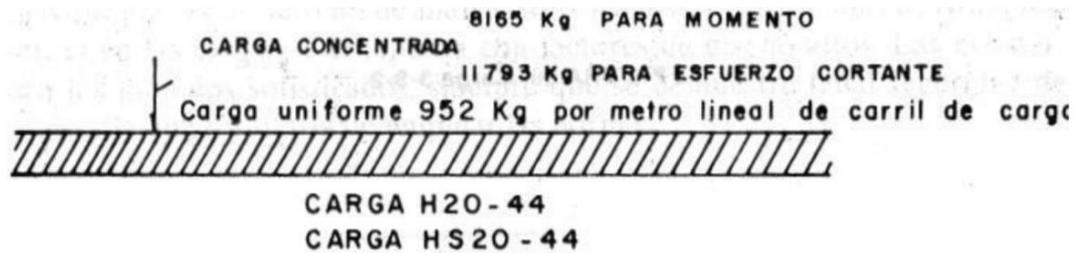


Ilustración 24. Carga de carril. Fuente: (Pedro Rojas, 2021)

$$carga\ viva + impacto = \frac{carga\ uniforme \times longitud\ del\ tramo \times \#carriles}{\#vigas}$$

$$carga\ viva + impacto = \frac{952 \times 22.5 \times 2}{5} = 8568kg \cong 9ton$$

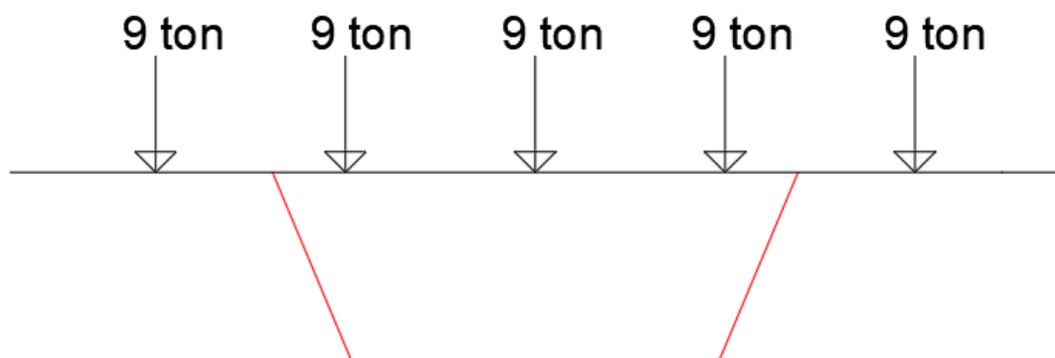


Ilustración 25. Ubicación de carga viva más impacto en línea de acción de cada viga Fuente: Elaboración propia de autor.

3.5 TIPO DE SUELO

En la evaluación de vulnerabilidad urbana de la ciudad de Guayaquil se denomina a la estructura en estudio como sector 45, las principales construcciones del sector en mención corresponden a estructuras de concreto de uno o dos pisos para uso residencial. El paso elevado se ubica en el sur de la ciudad de Guayaquil, cuya zona tiene una considerable cercanía con el río Guayas, lo que la convierte en suelo suave. (Argudo, 2011)

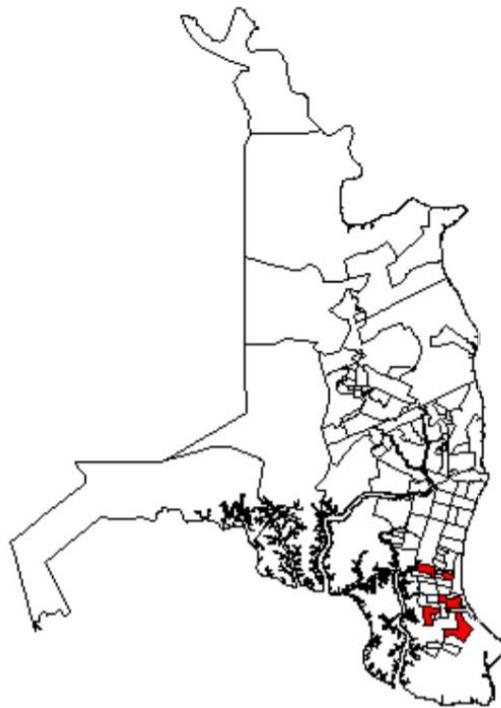


Ilustración 26. Sector 45, Vulnerabilidad de edificaciones. Fuente: (Argudo, 2011)

Para definir el tipo de suelo según las normativas a utilizar en el presente estudio se necesita un mapa de zonificación de la ciudad de Guayaquil donde especifique las características del terreno en distintas zonas.

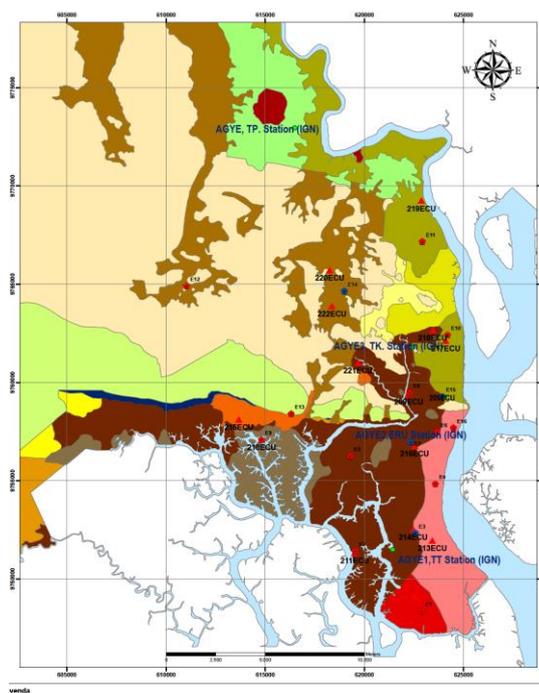


Ilustración 27. Mapa de zonificación del suelo de la ciudad de Guayaquil.
Fuente: Municipio de Guayaquil.



Ilustración 28. Descripción de mapa de zonificación del suelo de la ciudad de Guayaquil. Fuente: Municipio de Guayaquil.

El tipo de suelo representado por el mapa de zonificación da como resultado a un suelo deltaico estuarino, el cual se ha formado por la deposición del conjunto de canales conectados por el río Guayas con el golfo de Guayaquil. Este suelo se compone por limos y pequeñas capas de arena arcillosa. (Salazar, 2018)

Tabla 8. Clasificación de suelos según AASHTO. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Clasificación general	Suelos granulosos (35% o menos que pasa el tamiz # 200)							Materiales limosos y arcillosos (más de 35% pasa el tamiz # 200)			
	A1		A3	A2				A4	A5	A6	A7 A7-6 A7-5
Clasificación de grupo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
Tamices: % que pasa el Nº 10 (2 mm) Nº 40 (0.425 mm) Nº 200 (0.075 mm)	máx. 50 máx. 30 máx. 15	--- máx. 50 máx. 25	--- mín. 51 máx.10	--- --- máx. 35	--- --- Máx.35	--- --- máx. 35	--- --- máx. 35	--- --- mín. 36	--- --- mín. 36	--- --- mín. 36	--- --- mín. 36
Consistencia Limite Líquido	---		---	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41	máx. 40	mín. 41
Índice de Plasticidad	máx. 6		No Plástico	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11	máx. 10	máx. 10	mín. 11	mín. 11 ⁽¹⁾
Tipos de materiales característicos	Fragmentos de Piedras, gravas y arena		Arena Fina	Gravas y arenas limosas o arcillosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Calificación	excelente a bueno							regular a malo			

Tabla 9. Clase de sitio para caracterización del suelo. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

Site Class	Soil Type and Profile
A	Hard rock with measured shear wave velocity, $\bar{v}_s > 5,000$ ft/s
B	Rock with $2,500$ ft/sec $< \bar{v}_s < 5,000$ ft/s
C	Very dense soil and soil rock with $1,200$ ft/sec $< \bar{v}_s < 2,500$ ft/s, or with either $\bar{N} > 50$ blows/ft, or $\bar{s}_u > 2.0$ ksf
D	Stiff soil with 600 ft/s $< \bar{v}_s < 1,200$ ft/s, or with either $15 < \bar{N} < 50$ blows/ft, or $1.0 < \bar{s}_u < 2.0$ ksf
E	Soil profile with $\bar{v}_s < 600$ ft/s or with either $\bar{N} < 15$ blows/ft or $\bar{s}_u < 1.0$ ksf, or any profile with more than 10.0 ft of soft clay defined as soil with $PI > 20$, $w > 40$ percent and $\bar{s}_u < 0.5$ ksf
F	Soils requiring site-specific evaluations, such as: <ul style="list-style-type: none"> Peats or highly organic clays ($H > 10.0$ ft of peat or highly organic clay where H = thickness of soil) Very high plasticity clays ($H > 25.0$ ft with $PI > 75$) Very thick soft/medium stiff clays ($H > 120$ ft)

Una vez definida la caracterización de suelos por ambas normas, se especifica ciertas características que determinan el tipo de suelo del paso elevado, Los depósitos deltaicos estuarinos poseen una plasticidad de 10 y

pasante del tamiz #200 y al tener material limoso en su mayoría, se lo cataloga como un A4 según AASHTO. La clase de sitio determinada por LRFD clasifica al tipo de suelo E a los depósitos deltaicos estuarinos debido a escasa resistencia al corte, característica principal de un material limoso.

Tabla 10. Tipo de suelo para ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.

CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
AASHTO	Tipo de suelo A4; AASHTO STANDARD 2002 Suelo tipo IV
LRFD 2017	Tipo de suelo E

3.5.1 ESPECTRO DE DISEÑO AASHTO 2002

La construcción del paso elevado tuvo sus inicios a inicios en el año 2003, razón por la cual su diseño frente a cargas sísmicas está relacionado con la norma AASHTO ESTÁNDAR. Es importante mencionar que CORPECUADOR fue participe en los diseños de puentes/pasos elevados de aquellos años, razón por la cual para estimar el espectro de aquel tiempo se utilizan los siguientes factores:

Tabla 11. Coeficiente de sitio. Fuente: (Pedro Rojas, 2020)

<i>Tipo de Perfil de Suelo</i>	<i>Suelo</i>	<i>V_{sw} (m/s)</i>	<i>Profundidad del suelo (m)</i>	<i>Características</i>	<i>S</i>
I	1. Roca	> 760	-	-	1.0
	2. Condiciones de suelo rígido	-	< 60 m.	Depósitos estables de arenas, gravas o arcillas rígidas	
II	Arcilla rígida o condiciones de suelos sin cohesión de gran profundidad	-	> 60 m	Depósitos estables de arenas, gravas o arcillas rígidas	1.20
III	Arcilla y arenas blandas a medianamente rígidas	-	> 9 m	Arcillas blandas a medianamente rígidas con o sin estratos intermedios de arena u otro suelo no cohesivo	1.5
IV	Arcillas Blandas o limos	< 150	>12 m	Depósitos naturales sueltos o sintéticos	2.0

- Para la ciudad de guayaquil la normativa CEC2001 utiliza A=0.30g medido por un mapa de isoaceleraciones en roca. (Pedro Rojas, 2020)
- El tipo de suelo IV en áreas donde el coeficiente de aceleración es mayor o igual a 0.30, este no debe exceder al valor de dos veces la aceleración (A=0,30). (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

$$C_{lim}: 2 \times A = 2 \times 0.30 = 0.60$$

- El valor de T_{lim} representa el periodo donde limita la meseta de la curva espectral, luego del límite, se utiliza la aceleración con el coeficiente C_s .

$$T_{lim} = \sqrt{\frac{1.2 \times A \times S}{C_s}} \rightarrow C_s = \frac{1.2 \times A \times S}{T_{lim}^2}$$

- El factor de respuesta “R” se determina mediante la tabla adjunta a continuación (tabla #7) donde las columnas verticales reforzadas de hormigón utilizan un valor de 3.

Tabla 12. Factor de respuesta. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Substructure ¹	R	Connections ³	R
Wall-type pier ²	2	Superstructure to abutment	0.8
Reinforced concrete pile bents		Expansion joints within a	
a. Vertical piles only	3	span of the superstructure	0.8
b. One or more batter piles	2	Columns, piers or pile bents	
Single columns	3	to cap beam or superstructure ⁴	1.0
Steel or composite steel		Columns or piers to foundations ⁴	1.0
and concrete pile bents			
a. Vertical piles only	5		
b. One or more batter piles	3		
Multiple column bent	5		

Una vez definidos los valores necesarios para la curva espectral, se elabora el espectro de diseño según la norma utilizada en aquella época de construcción.

Tabla 13. Resumen de parámetros para curva espectral AASHTO 2002.

Fuente: Elaboración propia de autor.

PGA (g)	0,30
A	0,30
C lim	0,60
S	2,00
R	3,00
T lim	1,31

Tabla 14. Resultado de fórmulas para cada periodo. Fuente: Elaboración propia de autor.

T (seg)	Sa (g) Elástico	Sa (g) Inelástico
0,00	0,60	0,20
1,31	0,60	0,20
1,40	0,57	0,19

1,50	0,55	0,18
1,60	0,53	0,18
1,70	0,50	0,17
1,80	0,49	0,16
1,90	0,47	0,16
2,00	0,45	0,15
2,10	0,44	0,15
2,20	0,43	0,14
2,30	0,41	0,14
2,40	0,40	0,13
2,50	0,39	0,13
2,60	0,38	0,13
2,70	0,37	0,12
2,80	0,36	0,12
2,90	0,35	0,12
3,00	0,35	0,12

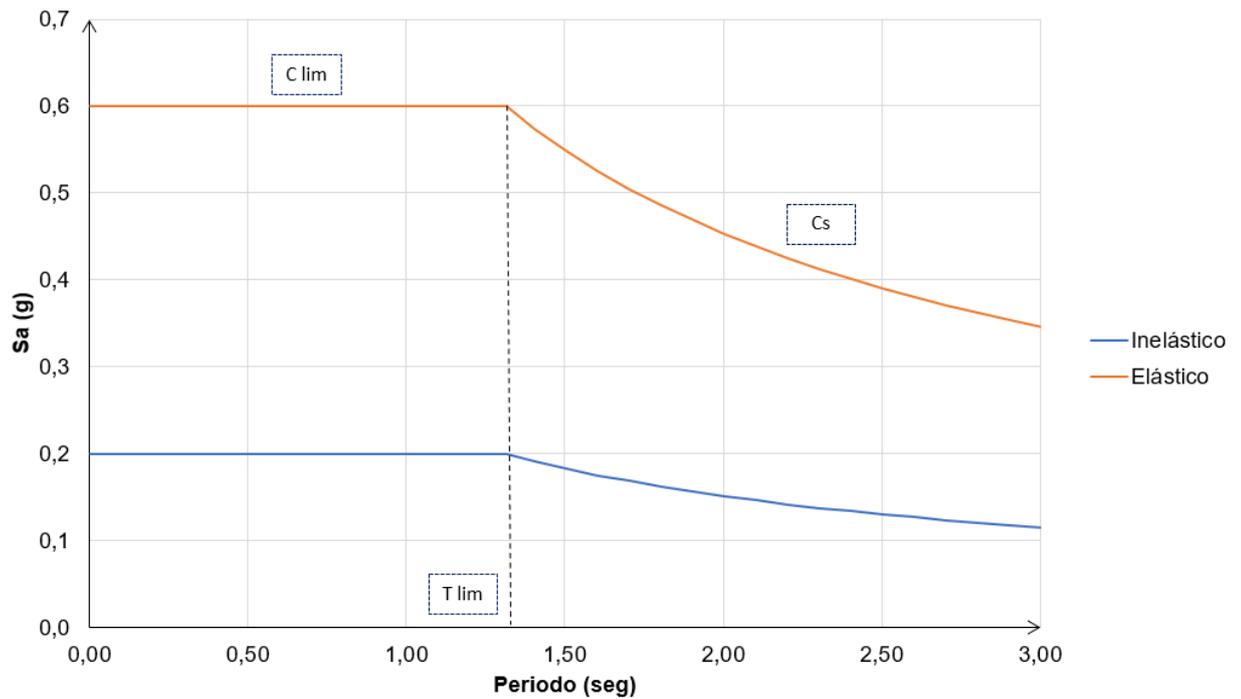


Ilustración 29. Espectro de respuesta AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.5.2 ESPECTRO DE DISEÑO LRFD 2017

Para modelar como respondería la estructura frente a normativas actuales, se propone un espectro de respuesta actualizado a la norma LRFD 2017. La

forma en que se elabora el espectro utiliza factores acordes al lugar de sitio donde se desea analizar una estructura, como se explica en el presente trabajo de estudio, para LRFD 2017, la estructura se encuentra en suelo E.

El paso elevado ubicado en la zona sur de Guayaquil posee un coeficiente de aceleración de 0.4 según el valor Z otorgado por la NEC-15, sin embargo, la normativa actual LRFD 2017 utiliza como periodo de excedencia un 7% para un periodo de 75 años.

$$Tr = \frac{1}{\frac{-\ln(1 - PE)}{75}} \equiv Tr = 1033.48 \text{ años}$$

Al reemplazar los valores para despejar el periodo de retorno a utilizar en los espectros de diseño, se obtiene un total de 1033 años, lo cual se redondea a un valor de 1000 años como periodo de retorno y acorde al tipo de suelo en el que se encuentra el paso elevado, se eligen todos los valores pertenecientes a la última columna de las tres siguientes tablas a continuación (tabla #10, tabla #12 y tabla #13).

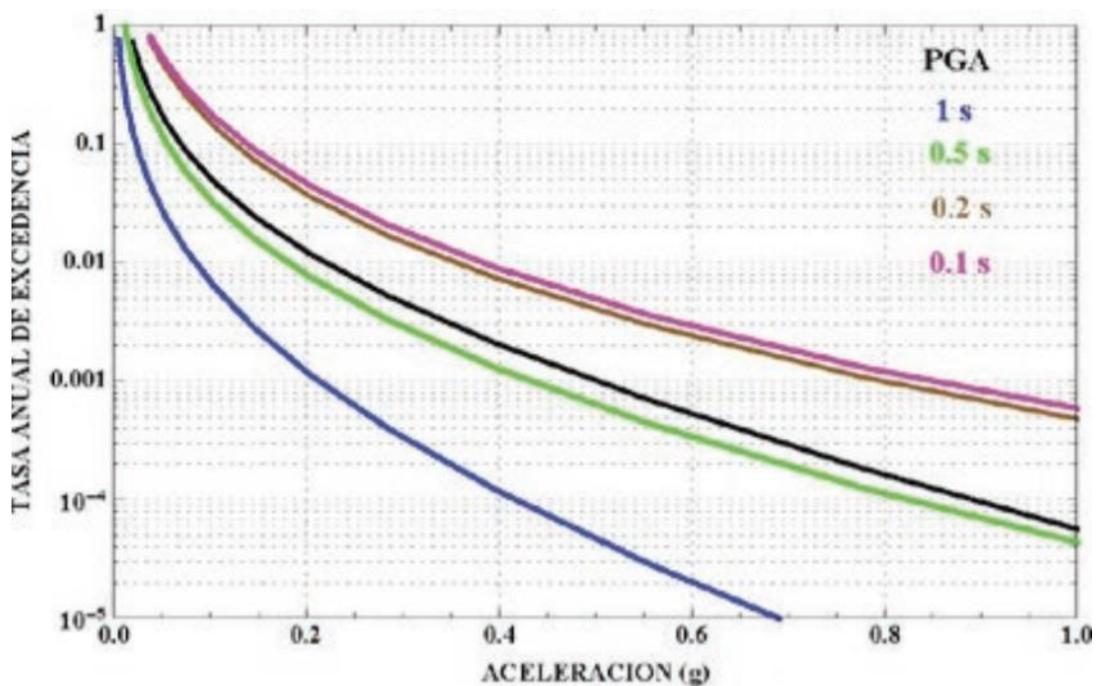


Ilustración 30. Curvas de peligro sísmico para Guayaquil. Fuente: (NEC, 2015)

Tabla 15. Coeficientes para espectro de aceleración en periodo 0, Fpga.

Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

Site Class	Peak Ground Acceleration Coefficient (PGA) ¹				
	$PGA < 0.10$	$PGA = 0.20$	$PGA = 0.30$	$PGA = 0.40$	$PGA > 0.50$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Tabla 16. Coeficientes para espectro de aceleración en periodos cortos. Fa.

Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

Site Class	Spectral Acceleration Coefficient at Period 0.2 sec (S_S) ¹				
	$S_S < 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S > 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F ²	*	*	*	*	*

Tabla 17. Coeficientes para espectro de aceleración en periodos largos. Fv.

Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

Site Class	Spectral Acceleration Coefficient at Period 1.0 sec (S_1) ¹				
	$S_1 < 0.1$	$S_1 = 0.2$	$S_1 = 0.3$	$S_1 = 0.4$	$S_1 > 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F ²	*	*	*	*	*

Con lo observado en las tablas de coeficientes de aceleración de la normativa LRFD 2017, según las características del lugar en estudio se define los siguientes parámetros de la curva espectral.

Tabla 18. Coeficientes según la clase de sitio para curva espectral LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.

PGA (g)	0,50
Ss	1,25
S1	0,50
Fpga	0,90
Fa	0,90
Fv	2,40

Una vez definida la tabla de parámetros iniciales para la curva espectral, se determinan los valores de las fórmulas para cada tramo del espectro de diseño.

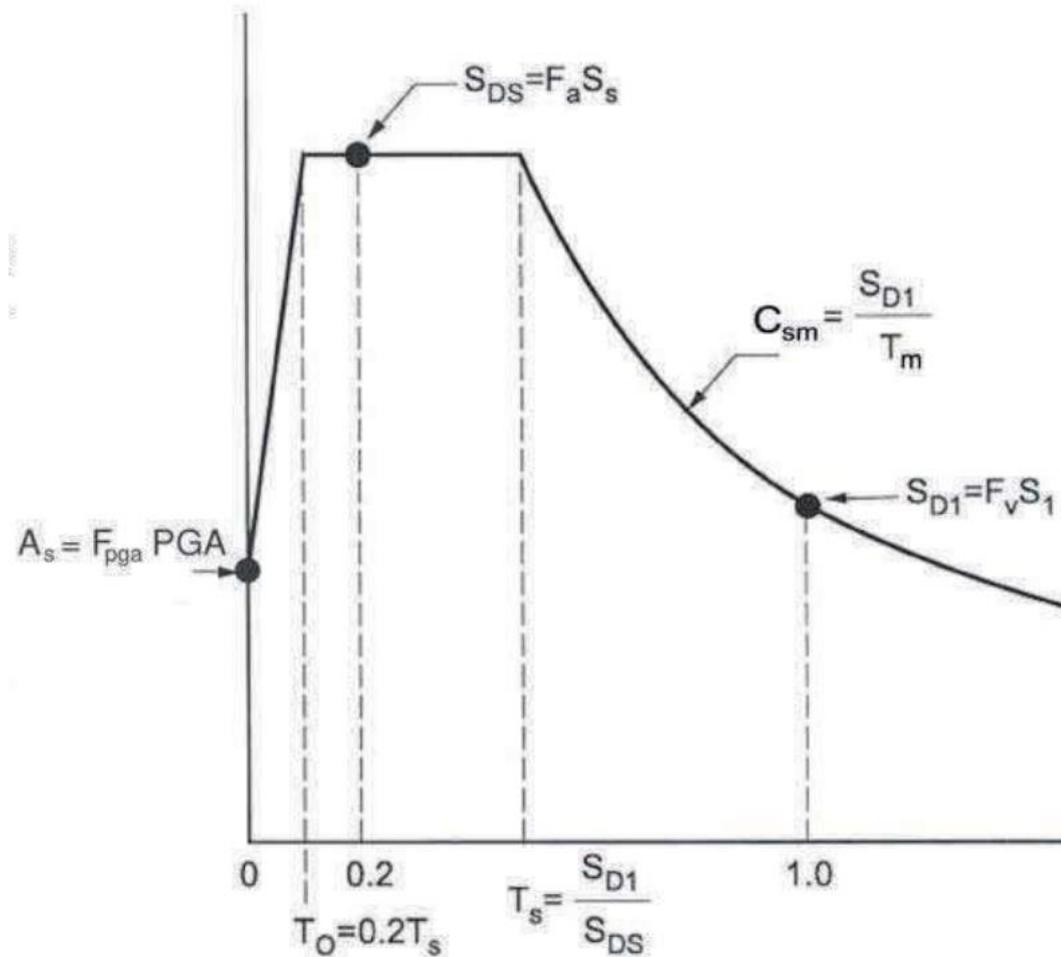


Ilustración 31. Espectro de respuesta de diseño. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

- $A_s: PGA \times F_{pga} = 0.5 \times 0.9 = 0.45$
- $S_{ds}: S_s \times F_a = 1.25 \times 0.9 = 1.13$
- $S_{d1}: S_1 \times F_v = 0.50 \times 2.4 = 1.20$
- $T_s: S_{d1}/S_{ds} = 1.20/1.13 = 1.07$
- $T_0: 0.2 \times T_s = 0.2 \times 1.07 = 0.21$

Para definir el valor de “R”, el apartado 3.10.5 de LRFD 2017, especifica la diferencia de tres categorías las cuales son: puentes críticos, puentes esenciales y otros.

- Los puentes esenciales por lo menos deberían atender vehículos de emergencia y para fines de defensa y seguridad. (Pedro Rojas, 2021)
- Los puentes críticos deben atender todo tipo de tráfico después del sismo de diseño y estar apto para vehículos de emergencia y para fines de seguridad y defensa. (Pedro Rojas, 2021)

La estructura en estudio no pertenece a ninguna de estas dos categorías recientemente mencionadas, razón por la cual se define el valor de “R=3” que pertenece a las características de columnas verticales.

Tabla 19. Factor “R” para espectro de diseño. Fuente: (AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS, 2017)

Substructure	Operational Category		
	Critical	Essential	Other
Wall-type piers—larger dimension	1.5	1.5	2.0
Reinforced concrete pile bents			
• Vertical piles only	1.5	2.0	3.0
• With batter piles	1.5	1.5	2.0
Single columns	1.5	2.0	3.0
Steel or composite steel and concrete pile bents			
• Vertical pile only	1.5	3.5	5.0
• With batter piles	1.5	2.0	3.0
Multiple column bents	1.5	3.5	5.0

Con la normativa de diseño actual y utilizando los parámetros ya antes descritos y especificados. el espectro de diseño para la estructura en estudio se comporta de la siguiente manera:

Tabla 20. Resumen de parámetros para curva espectral. Fuente: Elaboración propia de autor.

PGA (g)	0,50	Sds	1,13
Ss	1,25	Sd1	1,20
S1	0,50	As	0,45
Fpga	0,90	To	0,21
Fa	0,90	Ts	1,07
Fv	2,40	R	3,00

Tabla 21. Resultado de fórmulas para cada periodo. Fuente: Elaboración propia de autor

T (seg)	Sa (g) Elástico	Sa (g) Inelástico
0,00	0,45	0,15
0,21	1,13	0,38
1,07	1,13	0,38
1,10	1,09	0,36
1,20	1,00	0,33
1,30	0,93	0,31
1,40	0,86	0,29
1,50	0,80	0,27
1,60	0,75	0,25
1,70	0,71	0,24
1,80	0,67	0,22
1,90	0,63	0,21
2,00	0,60	0,20
2,10	0,57	0,19
2,20	0,55	0,18
2,30	0,52	0,17
2,40	0,50	0,17
2,50	0,48	0,16
2,60	0,46	0,15
2,70	0,44	0,15
2,80	0,43	0,14
2,90	0,41	0,14
3,00	0,40	0,13

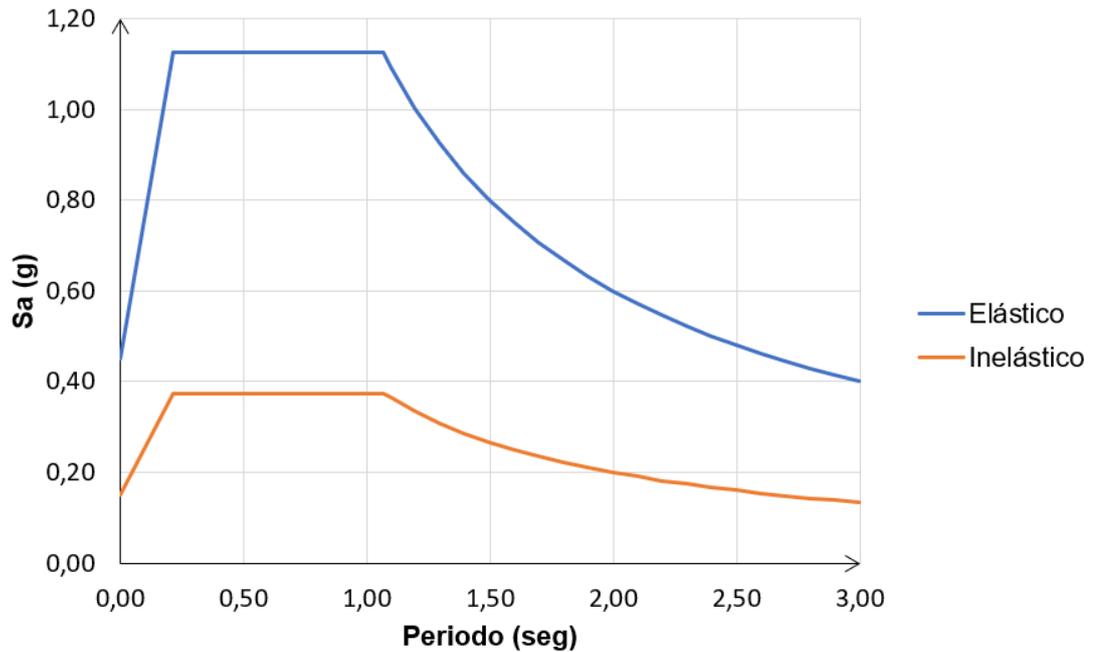


Ilustración 32. Espectro de respuesta LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.

3.6 RESISTENCIA DEL HORMIGÓN MEDIANTE EXTRACCIÓN DE NUCLEO

Dado a que no se posee ningún registro u información de organizaciones públicas o privadas del paso elevado, se procedió a obtener un permiso municipal donde se autoriza realizar la extracción de un pequeño cilindro, con el fin de ensayarlo y obtener sus propiedades.

Previo al proceso de extracción de núcleo, se realiza un escaneo a través de la columna mediante un equipo llamado PS 150 & Ferroscan, el cual se encarga de obtener el armado mediante la emisión de ondas.



Ilustración 33 Equipo utilizado para obtención de armaduras. Fuente:
(HILTI)

El análisis se realizó en la pila #2 del puente, esta pertenece al tipo de columnas rectangulares inclinadas y corresponde al análisis del tramo #1 donde se analiza el comportamiento de una de las pilas más cortas.



Ilustración 34. Pila #2 seleccionada para extracción de núcleo. Fuente:
Elaboración propia de autor.

Una vez definida la columna por analizar, se hace un testeó para observar de qué forma están ubicadas las varillas en el interior de la columna, utilizando una plantilla de 60x60cm en donde se desliza el escáner. A primera instancia se escaneó de forma vertical, obteniendo como resultado que el armado de la columna estaba inclinado, razón por la cual se reintentó el escaneo, pero esta vez, girando la plantilla.

Ya posesionada la plantilla (de forma inclinada) se procede a realizar el escaneo correspondiente de forma vertical y horizontal.



Ilustración 35. Plantilla de escaner Ferroskan. Fuente: Elaboración propia de autor.

Finalizado el proceso de escaneo se observa en la maquina los resultados de la lectura, indicando donde es posible hacer la extracción del núcleo. Para eso, se dibuja de forma aproximada donde están las varillas para definir en qué punto se hará la extracción.



Ilustración 36. Bosquejo aproximado de ubicación de varillas. Fuente: Elaboración propia de autor.



Ilustración 37. Perforación con broca especial. Fuente: Elaboración propia de autor.



Ilustración 38. Extracción de núcleo de hormigón. Fuente: Elaboración propia de autor.

Ya extraído el núcleo se procede a realizar los respectivos ensayos para obtener sus características. El laboratorio de CEINVES se encargó de ensayar al núcleo y entrega una resistencia de 292 kg/cm².

CEINVES

RESISTENCIA A COMPRESION DE NUCLEOS CALADOS EN HORMIGON

ASTM C 42

FECHA: 18 DE AGOSTO DE 2021

CLIENTE: EST ENRIQUE REYES CASTILLO

PROYECTO: PASO ELEVADO AV.25 DE JULIOI (FRENTE A RIOCENTRO SUR)

Muestra	Elemento	Fecha	Carbonatación	Fecha	Dia.	Alt. s/r	Peso	Dens.	Alt. c/r	H/D	Carga	Resistencia	CORRECCION			R. Corr.
		Extrac.	mm	Ensayo	mm	mm	g	kg/m3	mm		kN	kg / cm2	Fac 1	Fac 2	Fac 3	kg / cm2
1	Pila # 2	13/08/21	38	18/08/21	57,6	108,8	599,9	2116	112,9	1,96	62,8	246	1,00	1,09	1,09	292

Ilustración 39. Propiedades y resistencia del núcleo. Fuente: (CEINVES)

Los resultados obtenidos por el scanner Ferroskan 150 señalan que la pila #2 del paso elevado mantiene varillas en su eje vertical de 32mm espaciadas cada 250mm y en su eje horizontal de 12mm espaciadas cada 150mm.

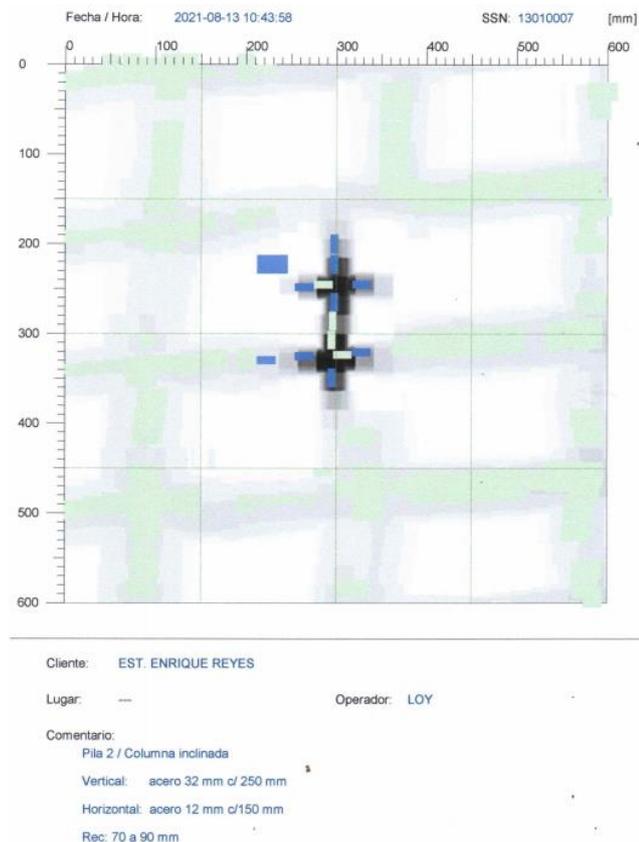


Ilustración 40. Armadura de pila #2. Fuente: (CEINVES)

CAPITULO 4: ANALISIS MEDIANTE SAP 2000

Para la resolución del comportamiento del paso elevado frente a las normativas mencionadas en el presente estudio, se diseña un modelado de la estructura en el programa SAP 2000 mediante la licencia que posee el tutor del presente trabajo de tesis. Este análisis se resolverá para la pila #2 y pila #12, ambos modelos se someterán a las diferentes cargas propuestas por la norma utilizada en la época de construcción y la norma actual.

4.1 MODELADO DE PILA #2 Y PILA #12 PARA AMBAS NORMAS

El diseño realizado en el programa sirve para el accionar de ambas normas, tanto para las combinaciones de carga de AASHTO 2002 y LRFD 2017. Como se explica en el capítulo 3 en los apartados 3.4.1.4 y 3.4.2 del presente estudio, la carga muerta y la carga viva más impacto se incluyen en el modelo de SAP 2000 para luego analizar su comportamiento acorde a las combinaciones de carga de cada norma.

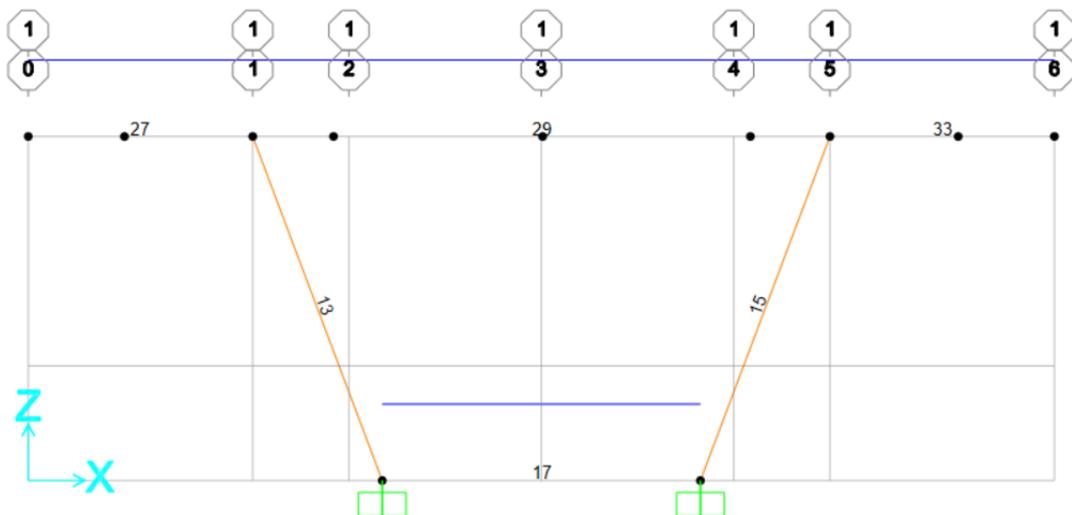


Ilustración 41. Modelado en SAP 2000 para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.



Ilustración 42. Modelado en SAP 2000 para pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.2 SECCION DESIGNER

En el capítulo 3 del presente estudio se obtuvo el armado de la columna, con los resultados de tales pruebas, se dibuja en el programa la ubicación y el diámetro de sus varillas.

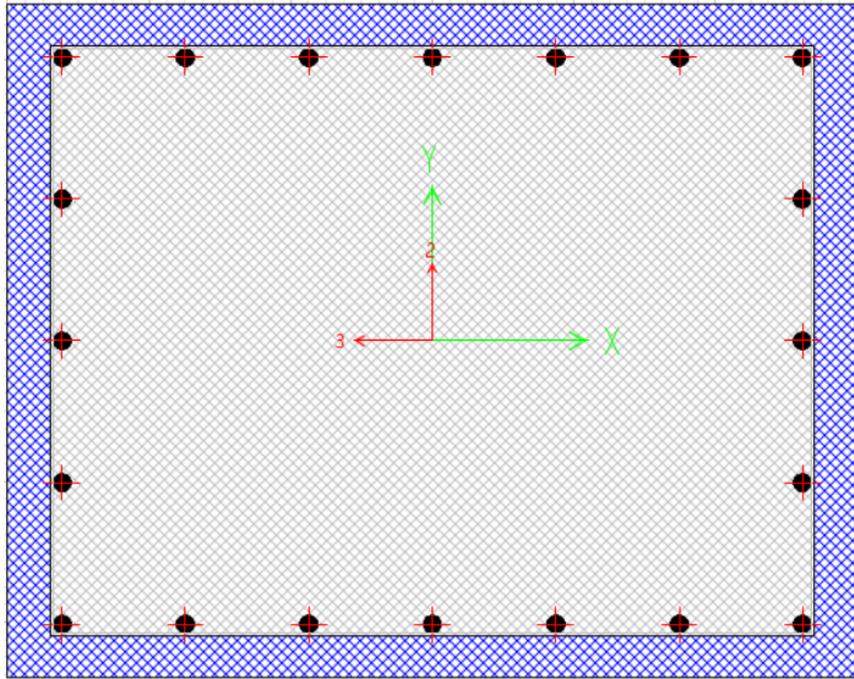


Ilustración 43. Detallamiento de columna. Fuente: SAP 2000

4.3 MODELADO DE PILA #2 CON ALTURA DE 1,8 METROS

El análisis se repite para ambas normas con el mismo modelo, su diferencia radica en la combinación de sus cargas.

4.3.1 COMBINACIONES DE CARGAS SEGÚN AASHTO 2002

Para la pila #2 se evaluará su comportamiento con la influencia de la mayoración de su carga muerta, carga viva y carga por sismo.

Tabla 22. Coeficientes para cargas de diseño para pila #2. Fuente: (AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE, 2002)

Col. No.	1	2	3	3A	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
GROUP	γ	β FACTORS													%	
		D	$(L+I)_n$	$(L+I)_p$	CF	E	B	SF	W	WL	LF	R+S+T	EQ	ICE		
SERVICE LOAD	I	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	100
	IA	1.0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	150
	IB	1.0	1	0	1	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	**
	II	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	125
	III	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	0	125
	IV	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	0	125
	V	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	0	140
	VI	1.0	1	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	0	140
	VII	1.0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0	133
	VIII	1.0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1	140
	IX	1.0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	150
X	1.0	1	1	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	0	100	Culvert
LOAD FACTOR DESIGN	I	1.3	β_D	1.67*	0	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	Not Applicable
	IA	1.3	β_D	2.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	IB	1.3	β_D	0	1	1.0	β_E	1	1	0	0	0	0	0	0	
	II	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	0	
	III	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	0	0	0	
	IV	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	1	0	0	
	V	1.25	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	1	0	0	
	VI	1.25	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0.3	1	1	1	0	0	
	VII	1.3	β_D	0	0	0	β_E	1	1	0	0	0	0	1	0	
	VIII	1.3	β_D	1	0	1	β_E	1	1	0	0	0	0	0	1	
	IX	1.20	β_D	0	0	0	β_E	1	1	1	0	0	0	0	1	
X	1.30	1	1.67	0	0	β_E	0	0	0	0	0	0	0	0	Culvert	

Tabla 23. Resumen de mayoración de cargas a utilizar. Fuente: Elaboración propia de autor. (Apartado de AASHTO 2002)

$1,3(0,75D+1,67(L+I)+0EQ)$
$1,3(0,75D+2,2(L+I)+0EQ)$
$1,3(0,75D+0(L+I)+EQ)$
$1,3(D+1,67(L+I)+0EQ)$
$1,3(D+2,2(L+I)+0EQ)$
$1,3(D+0(L+I)+EQ)$

4.3.1.1 FUERZAS DE LOS ELEMENTOS

En la barra de herramientas del programa SAP 2000, se encuentra la pestaña "DISPLAY" la cual permite observar las cargas de los elementos del modelo, para el análisis en consideración, se elige la mayor carga de cada

una de ellas, es decir, carga máxima axial, carga máxima a cortante y carga máxima a momento. Para esto, se debe elegir que el modelo interactúe con todas las mayoraciones de carga para así quedarse con la mayor.

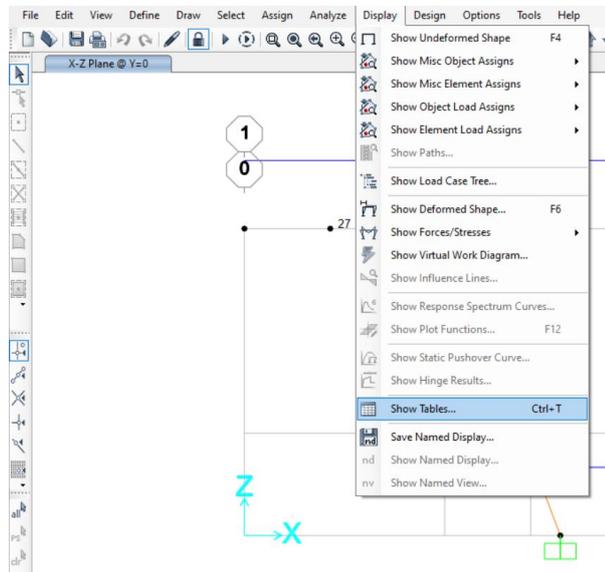


Ilustración 44. Pestaña "DISPLAY" para observación de cargas en los elementos. Fuente: SAP 2000.

Tabla 24. Fuerza de los elementos del modelo de pila #2 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.

	Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m	FrameElem Text	ElemStation
▶	13	0	0.75D	Combination		-105,48	5,1793	0,0015	-6,78576	-9,17819	5,28691	13-1	0
	13	1,44129	0.75D	Combination		-109,859	6,8167	0,0015	-6,78576	-9,1803	-3,35798	13-1	1,44129
	13	2,88259	0.75D	Combination		-114,2381	8,4542	0,0015	-6,78576	-9,18241	-14,36295	13-1	2,88259
	13	0	1.67(LL + i)	Combination		-38,2939	4,6527	0,0007928	-2,39383	-0,8906	6,62096	13-1	0
	13	1,44129	1.67(LL + i)	Combination		-38,2939	4,6527	0,0007928	-2,39383	-0,89174	0,11498	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.67(LL + i)	Combination		-38,2939	4,6527	0,0007928	-2,39383	-0,89288	-6,59099	13-1	2,88259
	13	0	1.3(0.75D+1...	Combination	Max	-186,9061	12,7816	0,0029	-11,93348	-13,08942	15,74023	13-1	0
	13	1,44129	1.3(0.75D+1...	Combination	Max	-192,5989	14,9103	0,0029	-11,93348	-13,09365	-4,2159	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(0.75D+1...	Combination	Max	-198,2916	17,039	0,0029	-11,93348	-13,09788	-27,24012	13-1	2,88259
	13	0	1.3(0.75D+1...	Combination	Min	-186,9061	12,7816	0,0029	-11,93348	-13,08942	15,74023	13-1	0
	13	1,44129	1.3(0.75D+1...	Combination	Min	-192,5989	14,9103	0,0029	-11,93348	-13,09365	-4,2159	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(0.75D+1...	Combination	Min	-198,2916	17,039	0,0029	-11,93348	-13,09788	-27,24012	13-1	2,88259
	13	0	2.2(LL+)	Combination		-50,4471	6,1294	0,001	-3,15355	-1,17324	8,98569	13-1	0
	13	1,44129	2.2(LL+)	Combination		-50,4471	6,1294	0,001	-3,15355	-1,17474	0,15148	13-1	1,44129
	13	2,88259	2.2(LL+)	Combination		-50,4471	6,1294	0,001	-3,15355	-1,17625	-8,68274	13-1	2,88259
	13	0	1.3(0.75D+2...	Combination	Max	-202,7052	14,7012	0,0033	-12,92111	-13,45686	18,55438	13-1	0
	13	1,44129	1.3(0.75D+2...	Combination	Max	-208,398	16,8299	0,0033	-12,92111	-13,46156	-4,16846	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(0.75D+2...	Combination	Max	-214,0907	18,9586	0,0033	-12,92111	-13,46626	-29,95939	13-1	2,88259
	13	0	1.3(0.75D+2...	Combination	Min	-202,7052	14,7012	0,0033	-12,92111	-13,45686	18,55438	13-1	0
	13	1,44129	1.3(0.75D+2...	Combination	Min	-208,398	16,8299	0,0033	-12,92111	-13,46156	-4,16846	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(0.75D+2...	Combination	Min	-214,0907	18,9586	0,0033	-12,92111	-13,46626	-29,95939	13-1	2,88259
	13	0	1.3(D+1.67(...	Combination	Max	-232,6141	15,026	0,0036	-14,87397	-17,06664	18,03122	13-1	0
	13	1,44129	1.3(D+1.67(...	Combination	Max	-240,2044	17,8642	0,0036	-14,87397	-17,07178	-5,67103	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(D+1.67(...	Combination	Max	-247,7948	20,7025	0,0036	-14,87397	-17,07692	-33,46406	13-1	2,88259
	13	0	1.3(D+1.67(...	Combination	Min	-232,6141	15,026	0,0036	-14,87397	-17,06664	18,03122	13-1	0
	13	1,44129	1.3(D+1.67(...	Combination	Min	-240,2044	17,8642	0,0036	-14,87397	-17,07178	-5,67103	13-1	1,44129
	13	2,88259	1.3(D+1.67(...	Combination	Min	-247,7948	20,7025	0,0036	-14,87397	-17,07692	-33,46406	13-1	2,88259
	13	0	1.3(D+2.2(L...	Combination	Max	-248,4132	16,9456	0,0039	-15,86161	-17,43408	20,84538	13-1	0
	13	1,44129	1.3(D+2.2(L...	Combination	Max	-256,0036	19,7838	0,0039	-15,86161	-17,43969	-5,62359	13-1	1,44129

4.3.2 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN LRFD 2017

Para la normativa actual con la que se desea observar el comportamiento de la estructura, se utiliza la mayoración “EXTREME EVENT 1” donde se considera una carga de muerta y una carga de sismo.

Tabla 25. Combinaciones de carga para pila #2 según su evento. Fuente LRFD 2017.

Load Combination Limit State	DC DD DW EH EV ES EL PS CR SH	LL IM CE BR PL LS	WA	WS	WL	FR	TU	TG	SE	Use One of These at a Time				
										EQ	BL	IC	CT	CV
Strength I (unless noted)	γ_p	1.75	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength II	γ_p	1.35	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength III	γ_p	—	1.00	1.00	—	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Strength IV	γ_p	—	1.00	—	—	1.00	0.50/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Strength V	γ_p	1.35	1.00	1.00	1.00	1.00	0.50/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Extreme Event I	1.00	γ_{EQ}	1.00	—	—	1.00	—	—	—	1.00	—	—	—	—
Extreme Event II	1.00	0.50	1.00	—	—	1.00	—	—	—	—	1.00	1.00	1.00	1.00
Service I	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Service II	1.00	1.30	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	—	—	—	—	—	—	—
Service III	1.00	γ_{LL}	1.00	—	—	1.00	1.00/1.20	γ_{TG}	γ_{SE}	—	—	—	—	—
Service IV	1.00	—	1.00	1.00	—	1.00	1.00/1.20	—	1.00	—	—	—	—	—
Fatigue I— LL, IM & CE only	—	1.75	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Fatigue II— LL, IM & CE only	—	0.80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

4.3.2.1 FUERZA DE LOS ELEMENTOS

De la misma forma en cómo se obtuvieron las fuerzas para el comportamiento con AASHTO 2002, se determinan para LRFD 2017.

Tabla 26. Fuerzas de los elementos del modelo de pila #2 para LRFD 2017.
Fuente: SAP 2000.

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m	FrameElem Text	ElemStation
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-129,7579	26,2716	11,1596	-5,1013	-9,17025	19,01324	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-135,5967	28,4549	11,1596	-5,1013	4,96809	11,81552	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-141,4354	30,6382	11,1596	-5,1013	20,82324	24,96351	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-151,522	-12,4602	-11,1557	-12,99407	-15,30493	-4,91481	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-157,3607	-10,2769	-11,1557	-12,99407	-29,44889	-20,77014	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-163,1994	-8,0936	-11,1557	-12,99407	-45,30966	-63,26471	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-86,0982	104,0186	55,9459	10,73764	3,14257	67,03903	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-91,937	106,2018	55,9459	10,73764	74,04584	77,22613	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-97,7757	108,3851	55,9459	10,73764	153,55391	202,06743	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-195,1817	-90,2072	-55,942	-28,83301	-27,61774	-52,9406	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-201,0204	-88,0239	-55,942	-28,83301	-98,52664	-86,18075	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-206,8592	-85,8406	-55,942	-28,83301	-178,04034	-240,36862	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-136,0931	13,9401	21,121	-6,76607	-10,91017	11,2856	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-141,9318	16,1233	21,121	-6,76607	18,46271	1,61604	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-147,7706	18,3066	21,121	-6,76607	48,82998	-2,96375	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-145,1868	-0,1287	-21,1171	-11,3293	-13,56501	2,81283	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-151,0256	2,0546	-21,1171	-11,3293	-42,94351	-10,57066	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-156,8643	4,2379	-21,1171	-11,3293	-73,31641	-35,33745	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-136,0931	13,9401	21,121	-6,76607	-10,91017	11,2856	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-141,9318	16,1233	21,121	-6,76607	18,46271	1,61604	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-147,7706	18,3066	21,121	-6,76607	48,82998	-2,96375	13-1	2,88259
13	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-145,1868	-0,1287	-21,1171	-11,3293	-13,56501	2,81283	13-1	0
13	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-151,0256	2,0546	-21,1171	-11,3293	-42,94351	-10,57066	13-1	1,44129
13	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-156,8643	4,2379	-21,1171	-11,3293	-73,31641	-35,33745	13-1	2,88259
15	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-141,7859	7,9582	11,2072	12,99206	20,94031	24,67987	15-1	0
15	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-135,9472	10,1415	11,2072	12,99206	5,01058	11,72719	15-1	1,44129
15	2,88259	(D+0(LL+)+...	Combination	Max	-130,1085	12,3248	11,2072	12,99206	-9,18862	19,13502	15-1	2,88259
15	0	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-163,5598	-30,7686	-11,2033	5,10511	-45,44956	-63,51964	15-1	0
15	1,44129	(D+0(LL+)+...	Combination	Min	-157,7211	-28,5853	-11,2033	5,10511	-29,52546	-20,83726	15-1	1,44129

4.3.3 DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN

El propósito con el cual se realiza un diagrama de interacción sirve para definir una región en la cual se combinan valores de carga axial y momento flector donde se evalúa una columna frente a distintas cargas. (Santana, 2018)

Tabla 27. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor de R=3 para pila #2 Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)
AASHTO 2002	265	165
LRFD 2017	208	179

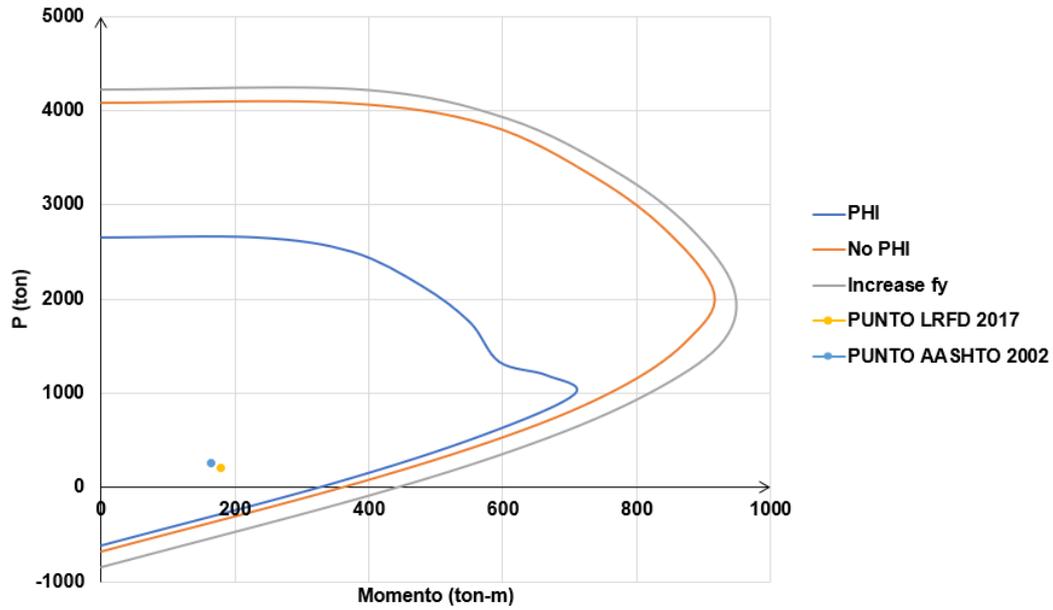


Ilustración 45. Diagrama de interacción de Pila #2 con valores de R=3.

Tabla 28. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante sin valores de R para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)
AASHTO 2002	510	715
LRFD 2017	745	815

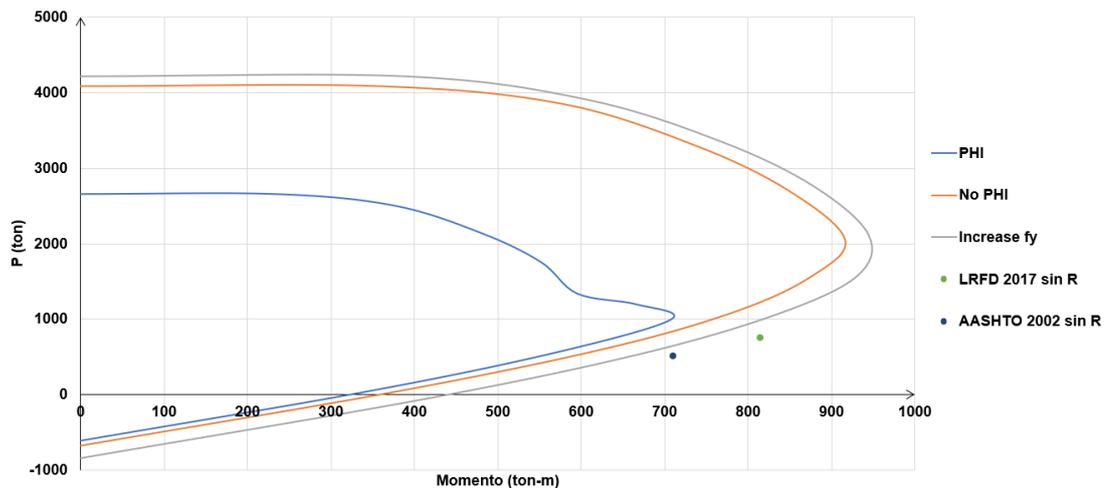


Ilustración 46. Diagrama de interacción de Pila #2 sin valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.3.3.1 DIAGRAMA DE INTERACCION SEGÚN VALORES DE “R”

A continuación, se realiza una comparativa del diagrama de interacción con sus valores de “R” normales frente al valor sin R, esto se logra al introducir los respectivos espectros sin el valor de R. Una vez cambiados los datos se utiliza la herramienta “show tables – element forces” donde refleja los valores máximos a considerar para la nueva demanda.

Tabla 29. Valores de P y M para diagrama de interacción de ambas normas con diferentes valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)	
AASHTO 2002	265	165	R=3
LRFD 2017	208	179	
AASHTO 2002	510	715	sin R
LRFD 2017	745	815	

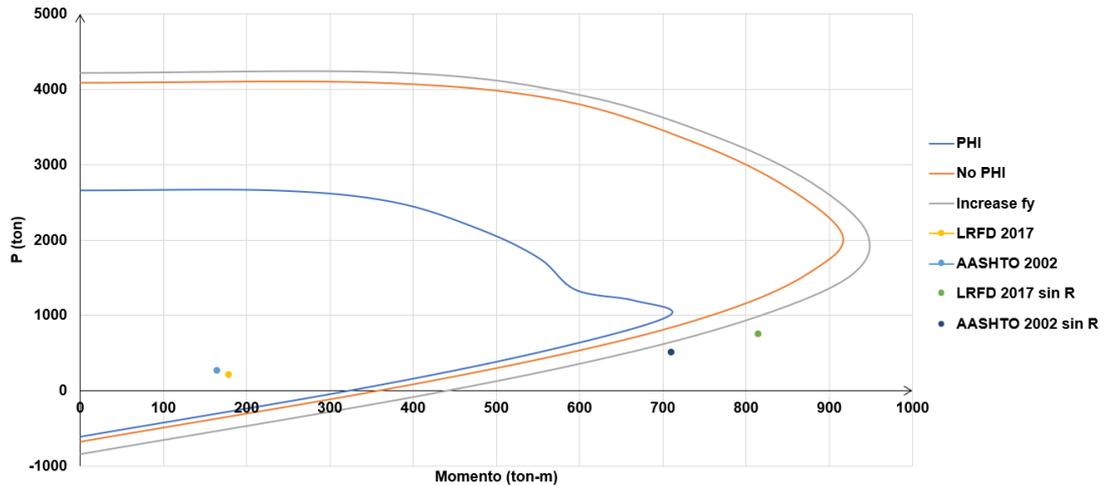


Ilustración 47. Comparativa con respecto a valores de demanda para valores de $R=3$ vs sin R para la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.3.4 MOMENTO CURVATURA

El momento curvatura permite entender que tan dúctil es una sección, indicando su alcance dentro de un rango no lineal antes de llegar al fallo. (Aguilar, 2015)

Dentro del programa en la misma pestaña donde se ingresan los datos del armado de la columna, aparece en la barra de herramientas la opción para obtener el momento curvatura de la sección.

Para observar el diagrama de momento curvatura con aplicación de cargas, se utiliza la máxima obtenida en los valores de carga axial “P” de la tabla de fuerzas de elementos comparado a una fuerza axial “P=0”.

Tabla 30. Demandas resultantes para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

NOMENCLATURA	DEMANDA			CORTANTE		CAPACIDAD	
	P (ton)	M3 (ton-m)	M2 (ton-m)	V3 (ton)	V2 (ton)	My (ton-m)	
Pila #2	AASHTO 2002	265	165	218	100	52	351,4
	LRFD 2017	208	179	241	109	57	327,75

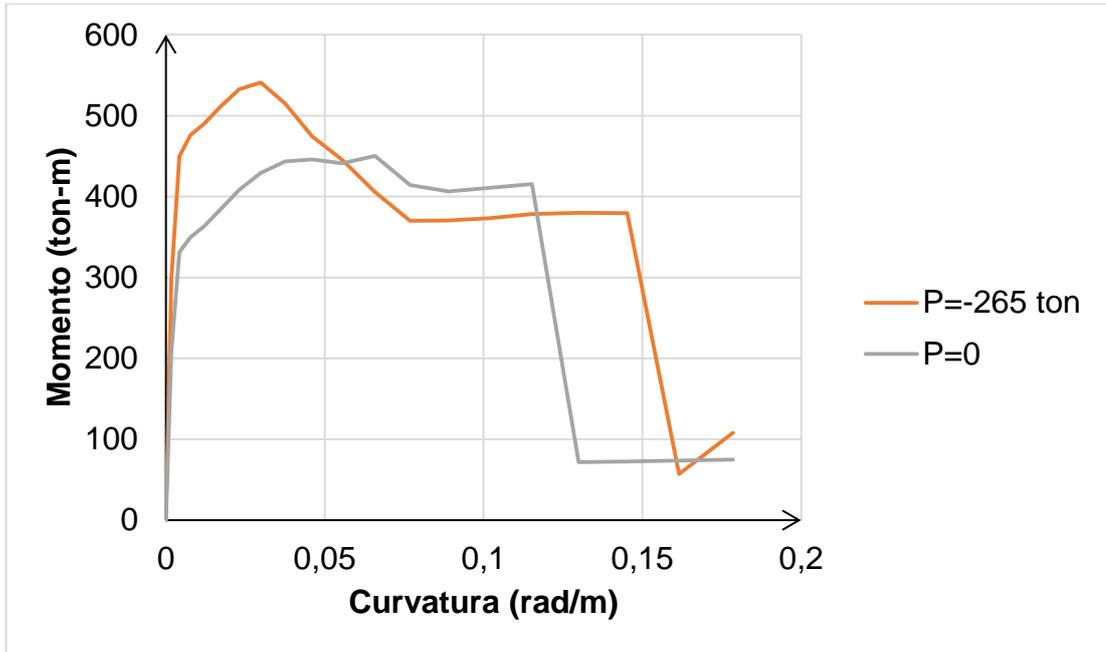


Ilustración 48. Diagrama momento-curvatura de pila #2 según AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.

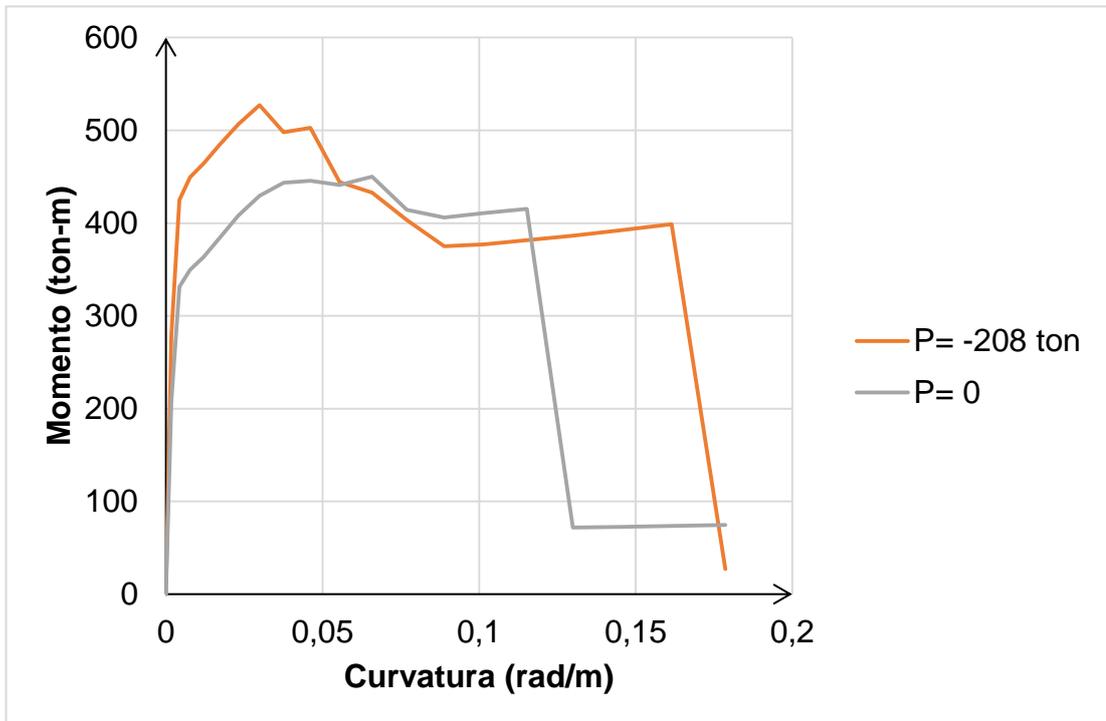


Ilustración 49. Diagrama momento-curvatura para pila de #2 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.

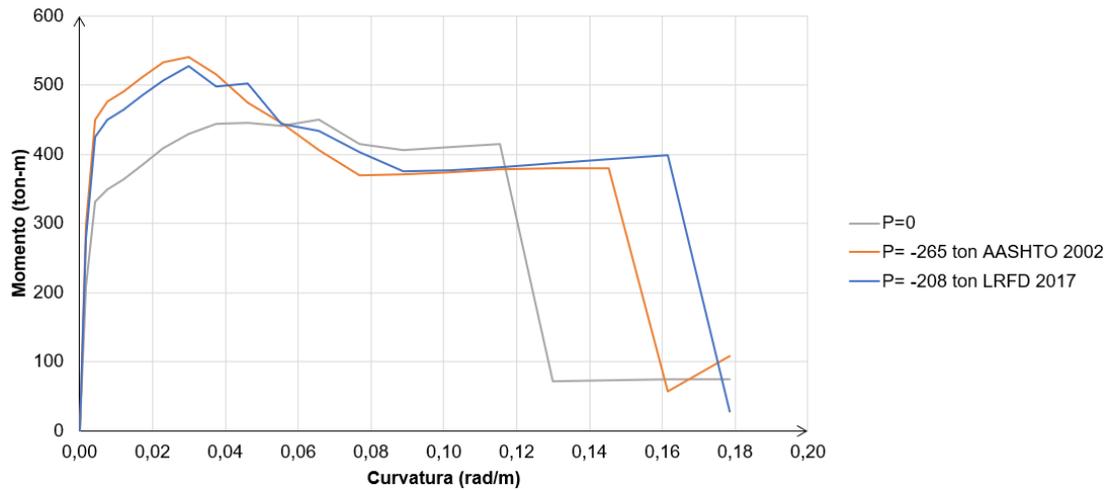


Ilustración 50. Comparativa de momento curvatura para ambas normas con su valor máximo “P” para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.3.4.1 COMPARATIVA DE MOMENTO CURVATURA SEGÚN VALORES DE “R”

A continuación, se resolverá la gráfica de momento curvatura en comparación al valor obtenido por $R=3$ y sin R . Con los valores obtenidos de la tabla de “element forces” del programa SAP 2000, se modifica su valor de carga axial para obtener sus curvaturas de fluencia y última.

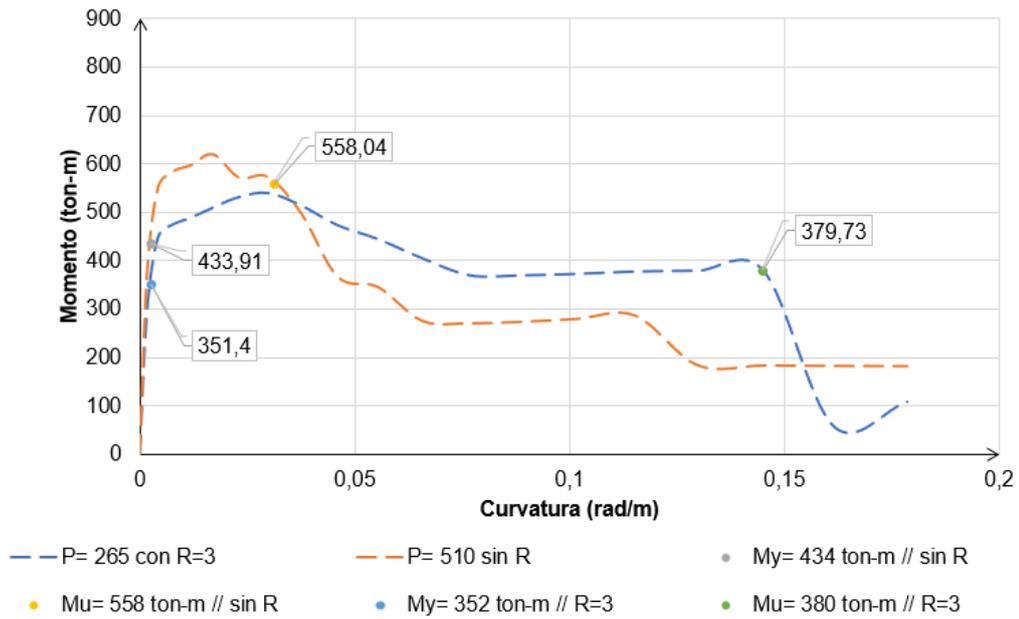


Ilustración 51. Diagrama momento curvatura de pila #2 para R=3 y sin R según AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor

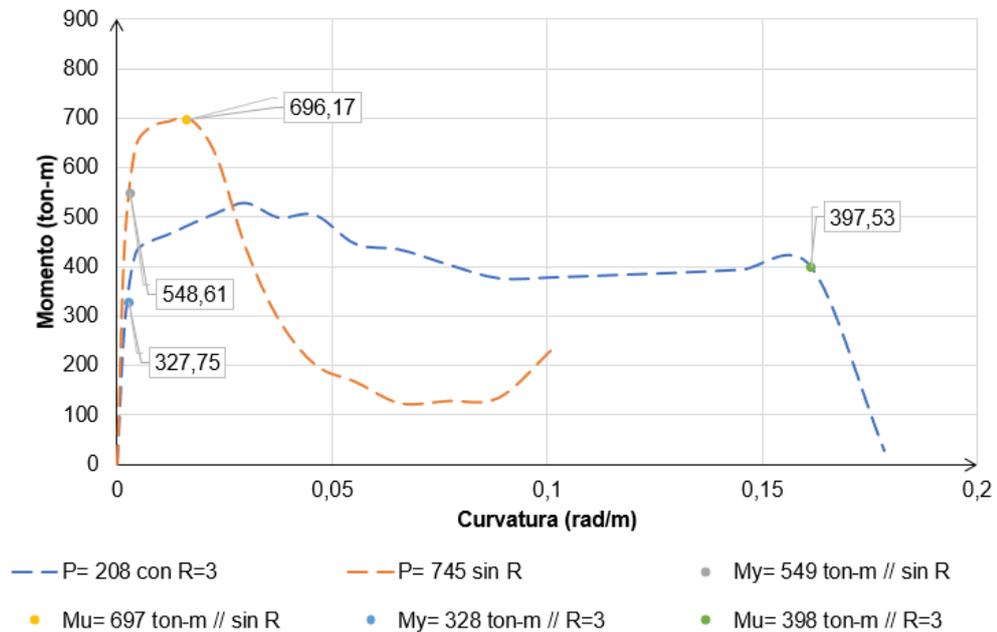


Ilustración 52. Diagrama momento curvatura de pila #2 para R=3 y sin R según LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.3.4.2 MOMENTO CURVATURA CONSIDERADA LA CARGA MUERTA SIN FACTORAR

Una vez configurado los diagramas momento curvatura con sus respectivas cargas, se procede a hacer un análisis donde la carga muerta no se factorice.

Tabla 31. Datos extraídos de SAP 2000 para la carga P=-153. Fuente: SAP 2000.

PILA #2 con P= -153	
Curvature	Moment
0	9,24E-17
0,001709	272,3378
0,004272	415,7999
0,00769	439,4952
0,012	454,3524
0,0171	474,4794
0,0231	497,1931
0,0299	517,7914
0,0376	490,7718
0,0461	497,1871
0,0555	443,5458
0,0658	431,1598
0,0769	418,1577
0,0889	383,9644
0,1017	378,4827
0,1153	382,5593
0,1299	387,2241
0,1452	393,1397
0,1615	399,3216
0,1786	16,9107

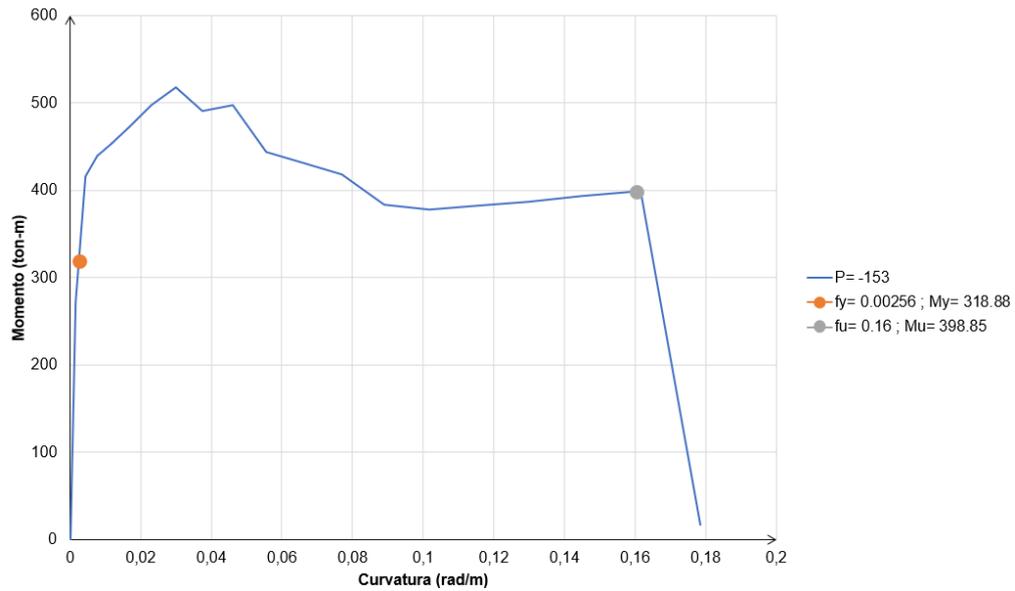


Ilustración 53. Momento curvatura con carga muerta sin factorizar con fluencia y curvatura última para pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.3.5 DESPLAZAMIENTOS SEGÚN SAP 2000

Para revisar cuanto se desplazan ciertos puntos a lo largo de la viga cabezal, se utiliza la herramienta “Display” en la opción “Show Deformed Shape”, donde se debe especificar para que combinación de carga se desea resolver el modelo, en el caso del presente trabajo en estudio, se utiliza aquella combinación donde se obtengan los valores máximos para carga axial y momento.

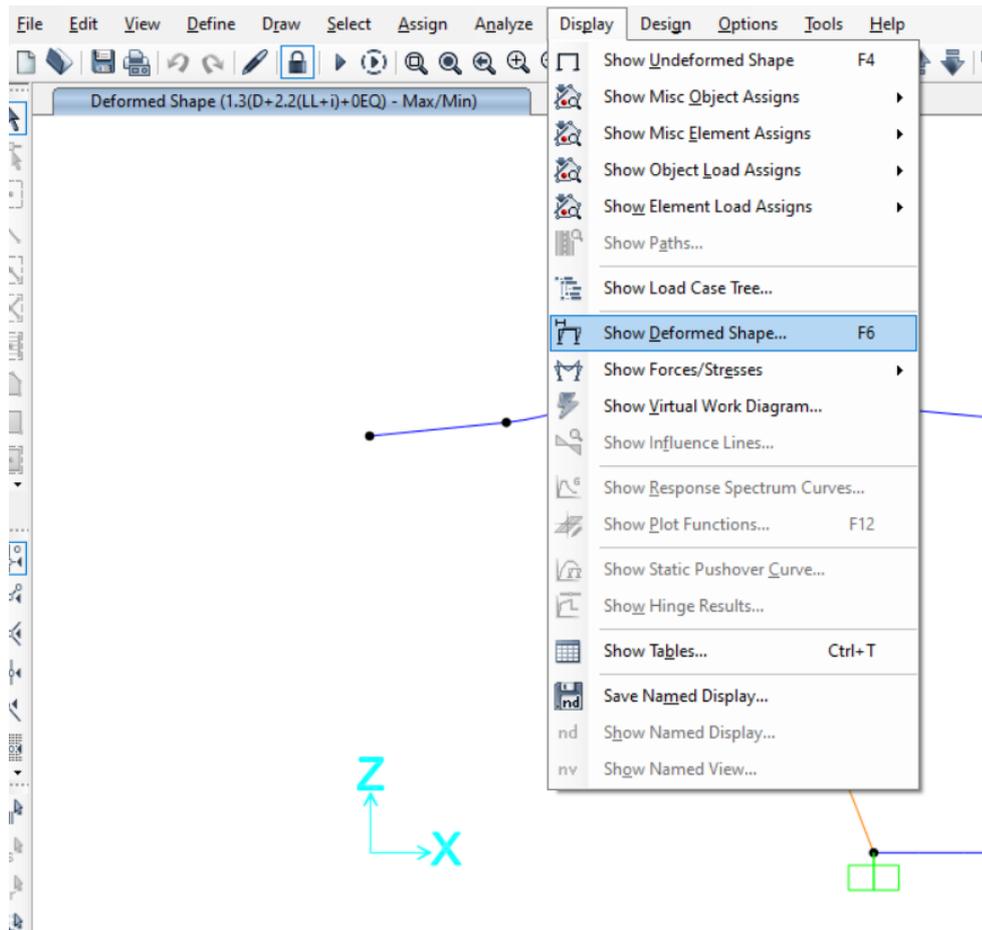


Ilustración 54. Barra de herramientas para demostración de deformación.

Fuente: SAP 2000.

Ya definida la combinación donde figuran los valores máximos, el programa determina los desplazamientos en los puntos donde se requiera, aquí se analizarán los desplazamientos ubicados en los nudos de las pilas, tal cual como se observa en la ilustración #55.

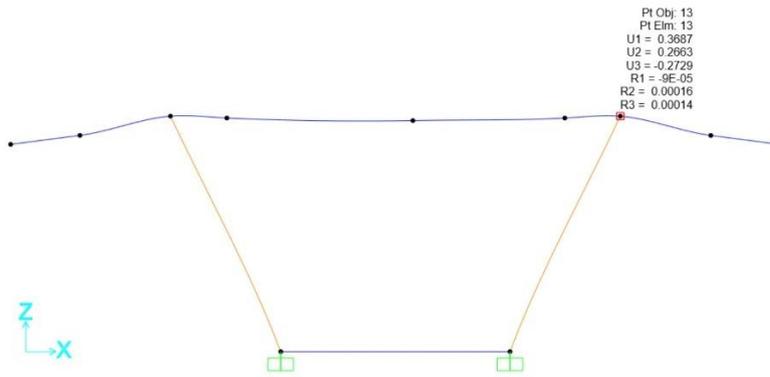


Ilustración 55. Desplazamientos en los nudos de las pilas. Fuente: SAP 2000.

De los valores que refleja el SAP 2000, se considera U1 y U2, que representan el desplazamiento en "X" para el sentido longitudinal y en "Y" para el sentido transversal, respectivamente.

Tabla 32. Resumen de desplazamientos según la norma para la pila #2 sin valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.

		U1 Desplazamiento en "X" Longitudinal (mm)	U2 Desplazamiento en "Y" Transversal (mm)	Vx (ton)	Vy (ton)
Sin "R"					
Pila #2 (1,8 metros)	AASHTO 2002	88	76	84	119
	LRFD 2017	111	102	89	137

4.4 MODELADO DE PILA #12 CON ALTURA DE 11 METROS

El proceso es el mismo que el anterior, para este apartado se mostrarán netamente los resultados.

4.4.1 COMBINACIONES DE CARGAS SEGÚN AASHTO 2002

4.4.1.1 FUERZAS DE LOS ELEMENTOS

Tabla 33. Fuerza de los elementos del modelo de pila #12 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.

	Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P Tonn	V2 Tonn	V3 Tonn	T Tonn-m	M2 Tonn-m	M3 Tonn-m	FrameElem Text	ElemStation
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-88,6579	38,198	13,634	7,74673	19,6881	180,09609	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-122,1117	41,0363	13,634	7,74673	62,58345	58,39471	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-155,5655	43,8745	13,634	7,74673	121,43459	303,62105	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-261,9747	-45,3247	-13,6307	-10,30662	-41,54392	-203,78565	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-295,4285	-42,4865	-13,6307	-10,30662	-84,45894	-56,47617	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-328,8823	-39,6482	-13,6307	-10,30662	-143,32974	-309,99118	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	84,1399	121,4707	40,817	25,74603	80,73678	562,82848	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	50,6862	124,3089	40,817	25,74603	209,18559	172,92167	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	17,2324	127,1472	40,817	25,74603	385,40621	915,39613	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-434,7726	-128,5974	-40,8137	-28,30592	-102,5926	-586,51804	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-468,2264	-125,7591	-40,8137	-28,30592	-231,06108	-171,00313	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-501,6801	-122,9209	-40,8137	-28,30592	-407,30136	-921,76626	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-149,2929	9,0433	35,7333	7,99026	-1,23185	46,11375	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-182,7466	11,8816	35,7333	7,99026	199,55352	18,28121	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-216,2004	14,7198	35,7333	7,99026	406,14808	89,41517	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-201,3398	-16,17	-35,73	-10,55015	-20,62397	-69,80331	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-234,7936	-13,3318	-35,73	-10,55015	-221,429	-16,36267	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-268,2473	-10,4935	-35,73	-10,55015	-428,04323	-95,7853	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-149,2929	9,0433	35,7333	7,99026	-1,23185	46,11375	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-182,7466	11,8816	35,7333	7,99026	199,55352	18,28121	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-216,2004	14,7198	35,7333	7,99026	406,14808	89,41517	13-1	11,94275
	13	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-201,3398	-16,17	-35,73	-10,55015	-20,62397	-69,80331	13-1	0
	13	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-234,7936	-13,3318	-35,73	-10,55015	-221,429	-16,36267	13-1	5,97138
	13	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-268,2473	-10,4935	-35,73	-10,55015	-428,04323	-95,7853	13-1	11,94275
	15	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-156,0649	39,6094	13,6451	10,27388	121,54796	303,31398	15-1	0
	15	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-122,6111	42,4476	13,6451	10,27388	62,56839	58,31961	15-1	5,97138
	15	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Max	-89,1573	45,2859	13,6451	10,27388	19,68527	180,30501	15-1	11,94275
	15	0	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-329,3969	-43,9217	-13,6418	-7,70416	-143,4238	-310,34578	15-1	0
	15	5,97138	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-295,9432	-41,0835	-13,6418	-7,70416	-84,46389	-56,549	15-1	5,97138
	15	11,94275	1.3(D+0(LL+...	Combination	Min	-262,4894	-38,2452	-13,6418	-7,70416	-41,60044	-203,62826	15-1	11,94275

4.4.2 COMBINACIONES DE CARGA SEGÚN LRFD 2017

4.4.2.1 FUERZA DE LOS ELEMENTOS

Tabla 34. Fuerzas de los elementos del modelo de pila #12 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.

Frame Text	Station m	OutputCase	CaseType Text	StepType Text	P Tonf	V2 Tonf	V3 Tonf	T Tonf-m	M2 Tonf-m	M3 Tonf-m	FrameElem Text	ElemStation
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-45,1103	40,5397	14,1295	8,37055	23,32328	189,61048	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-70,8439	42,723	14,1295	8,37055	67,78282	60,26276	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-96,5776	44,9063	14,1295	8,37055	128,77713	315,5197	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-224,6072	-46,0218	-14,127	-10,3397	-40,13544	-208,03322	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-250,3408	-43,8385	-14,127	-10,3397	-84,61011	-58,78696	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-276,0745	-41,6552	-14,127	-10,3397	-145,61955	-320,4198	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Max	315,8773	214,6245	70,9565	45,99893	150,9458	989,91833	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Max	290,1437	216,8077	70,9565	45,99893	374,26194	299,68498	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Max	264,41	218,991	70,9565	45,99893	680,61933	1594,46467	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-585,5948	-220,1066	-70,954	-47,96807	-167,75797	-1008,14106	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-611,3284	-217,9233	-70,954	-47,96807	-391,08923	-298,20918	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-637,0621	-215,74	-70,954	-47,96807	-697,46175	-1599,36477	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-107,9147	10,3242	37,0331	8,62294	1,64259	50,95481	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-133,6484	12,5075	37,0331	8,62294	209,73711	18,68994	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-159,382	14,6908	37,0331	8,62294	423,85172	93,5195	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-161,8027	-15,8064	-37,0306	-10,59208	-18,45476	-69,17755	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-187,5364	-13,6231	-37,0306	-10,59208	-226,5644	-17,21414	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-213,2701	-11,4398	-37,0306	-10,59208	-440,69415	-98,4196	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-107,9147	10,3242	37,0331	8,62294	1,64259	50,95481	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-133,6484	12,5075	37,0331	8,62294	209,73711	18,68994	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-159,382	14,6908	37,0331	8,62294	423,85172	93,5195	13-1	11,94275
13	0	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-161,8027	-15,8064	-37,0306	-10,59208	-18,45476	-69,17755	13-1	0
13	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-187,5364	-13,6231	-37,0306	-10,59208	-226,5644	-17,21414	13-1	5,97138
13	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-213,2701	-11,4398	-37,0306	-10,59208	-440,69415	-98,4196	13-1	11,94275
15	0	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-96,9598	41,6265	14,1411	10,30445	128,89205	315,28984	15-1	0
15	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-71,2261	43,8097	14,1411	10,30445	67,76988	60,20469	15-1	5,97138
15	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Max	-45,4925	45,993	14,1411	10,30445	23,32827	189,97814	15-1	11,94275
15	0	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-276,4724	-44,9437	-14,1385	-8,32774	-145,71962	-320,69891	15-1	0
15	5,97138	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-250,7387	-42,7604	-14,1385	-8,32774	-84,61258	-58,84268	15-1	5,97138
15	11,94275	(D+0(LL+))...	Combination	Min	-225,005	-40,5771	-14,1385	-8,32774	-40,1861	-207,91949	15-1	11,94275

4.4.3 DIAGRAMAS DE INTERACCIÓN

Tabla 35. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor de R=3 para pila #12 Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)
AASHTO 2002	503	430
LRFD 2017	638	698

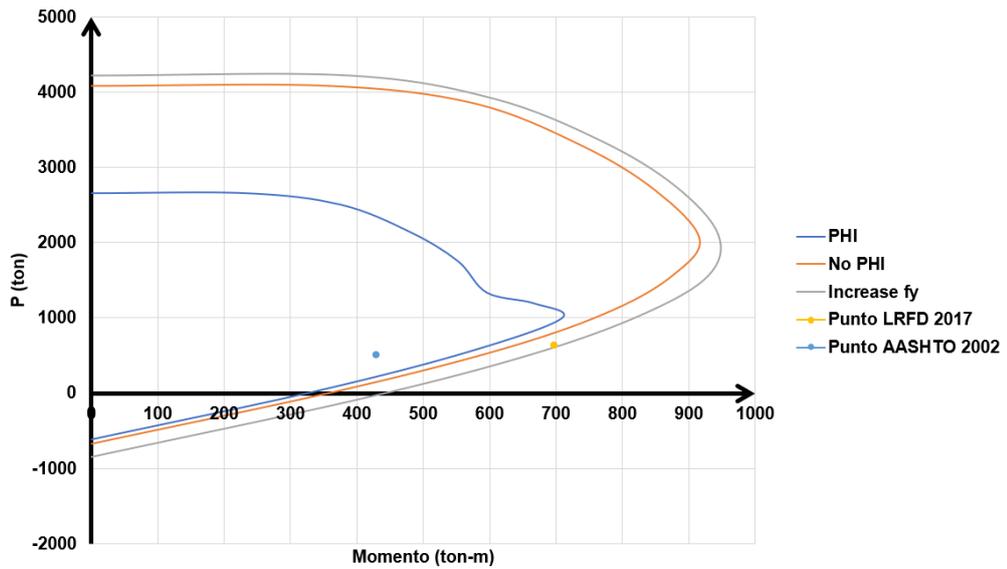


Ilustración 56. Diagrama de interacción de pila #12 con valores de R=3.

Fuente: Elaboración propia de autor.

Tabla 36. Demandas para ambas normas obtenidas por SAP 2000 mediante un valor sin R para la pila #12 Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)
AASHTO 2002	965	978
LRFD 2017	1210	1215

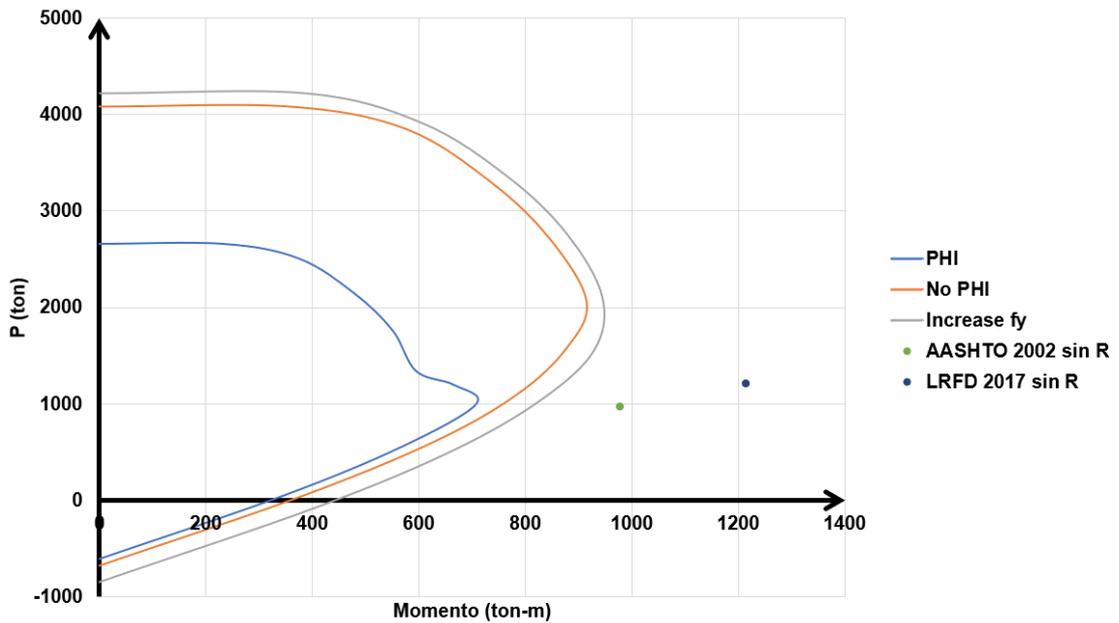


Ilustración 57. Diagrama de interacción de pila #12 sin valores de R.

Fuente: Elaboración propia de autor.

4.4.3.1 DIAGRAMA DE INTERACCION SEGÚN VALORES DE “R”

Tabla 37. Valores de P y M para diagrama de interacción de ambas normas con diferentes valores de R. Fuente: Elaboración propia de autor.

	P (ton)	M (ton-m)	
AASHTO 2002	503	430	R=3
LRFD 2017	638	698	
AASHTO 2002	965	978	sin “R”
LRFD 2017	1210	1215	

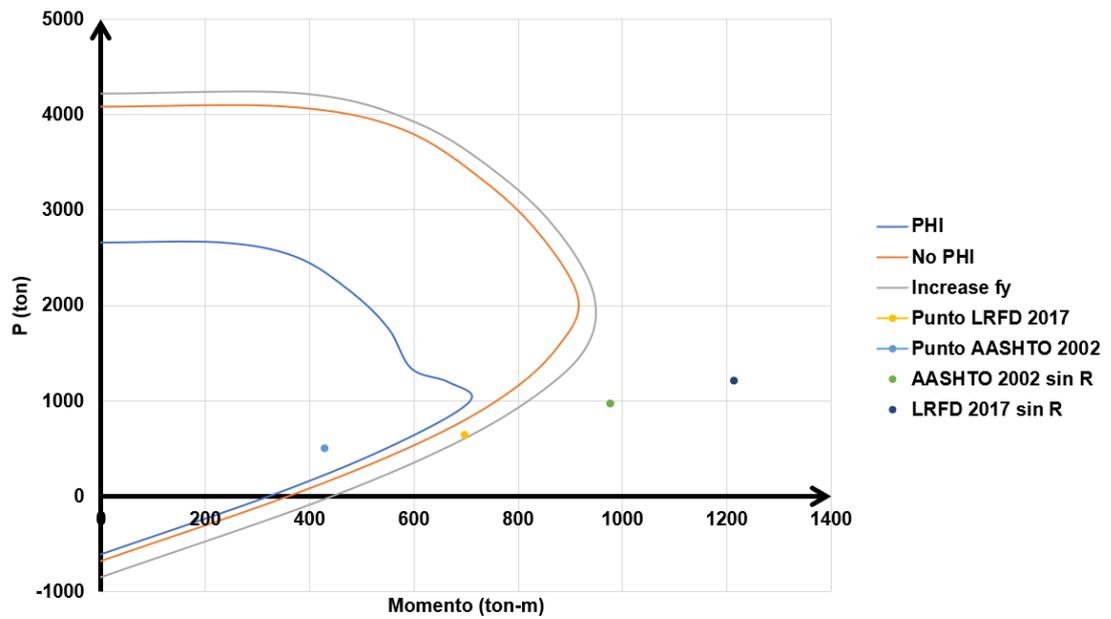


Ilustración 58. Comparativa con respecto a valores de demanda para valores de $R=3$ vs sin “R” para la pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.4.4 MOMENTO CURVATURA

Tabla 38. Demandas resultantes para pila de 11 metros. Fuente: Elaboración propia de autor.

NOMENCLATURA		DEMANDA			CORTANTE		CAPACIDAD
		P (ton)	M3 (ton-m)	M2 (ton-m)	V3 (ton)	V2 (ton)	My (ton-m)
Pila #12	AASHTO 2002	503	430	923	129	41	448,4
	LRFD 2017	638	698	1600	221	72	502,1

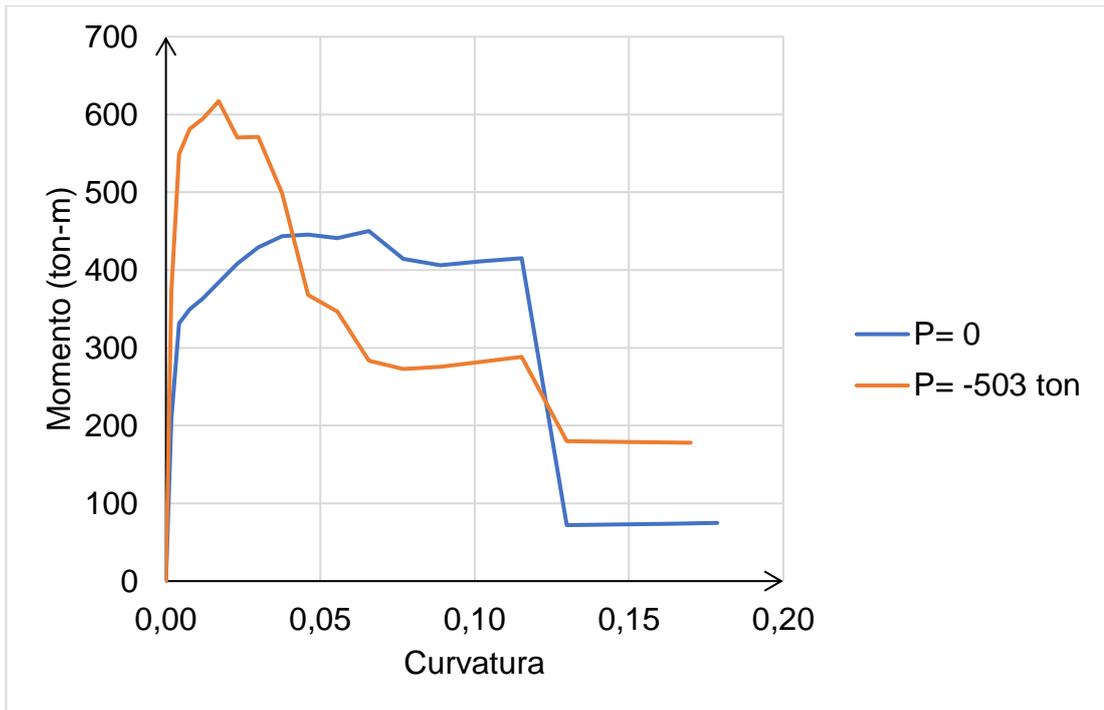


Ilustración 59. Diagrama momento-curvatura para pila #12 para AASHTO 2002. Fuente: SAP 2000.

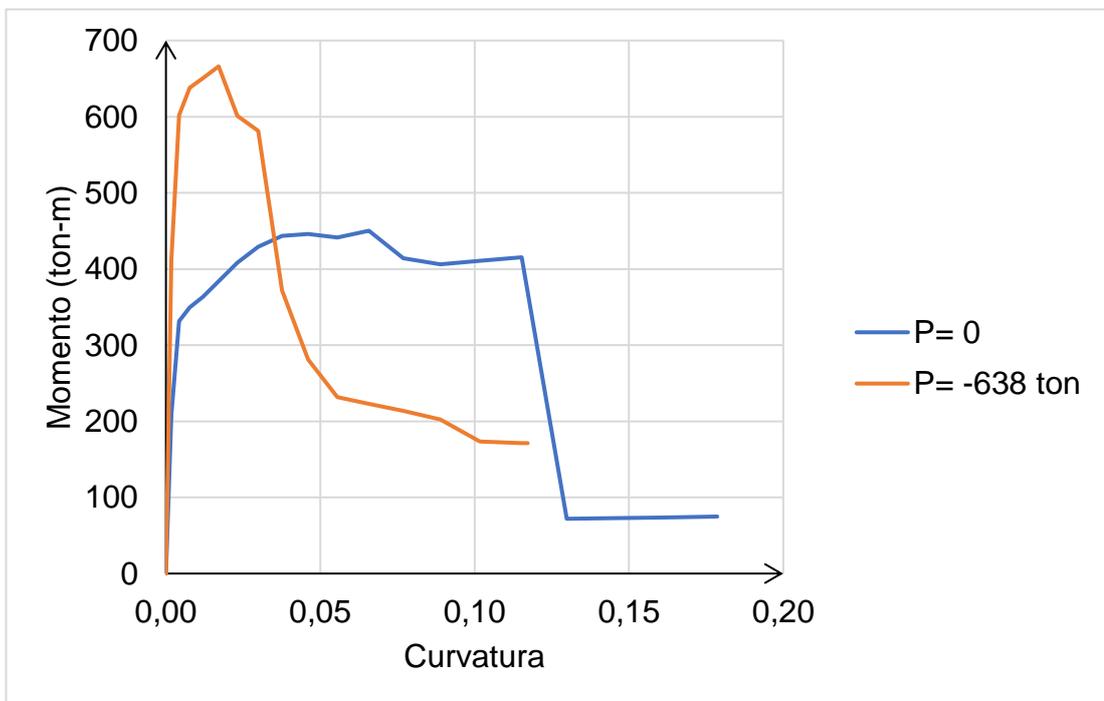


Ilustración 60. Diagrama momento-curvatura para pila #12 para LRFD 2017. Fuente: SAP 2000.

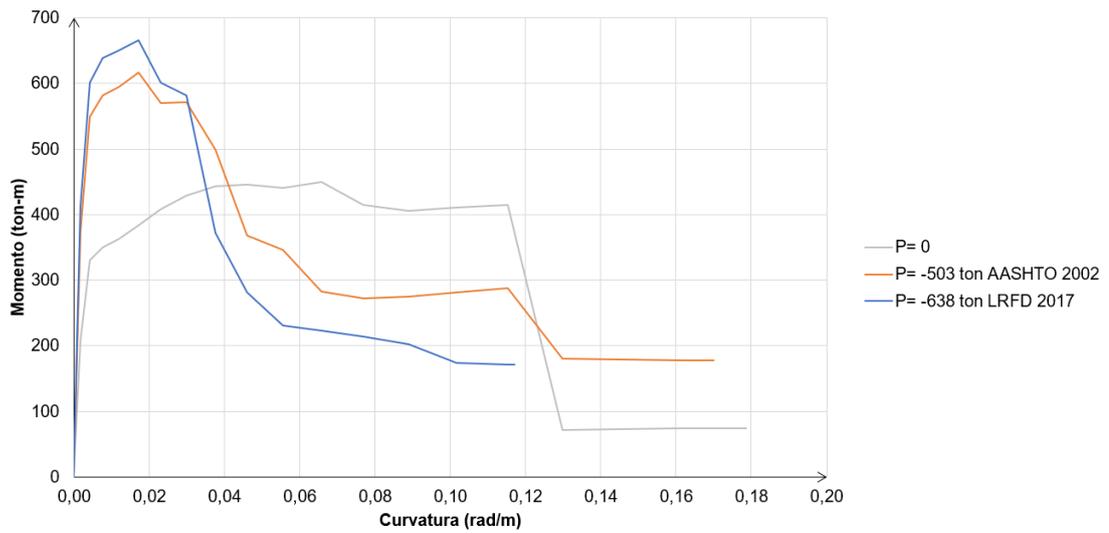


Ilustración 61. Comparativa de momento curvatura para ambas normas con su valor máximo “P” para pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.4.4.1 COMPARATIVA DE MOMENTO CURVATURA SEGÚN VALORES DE “R”

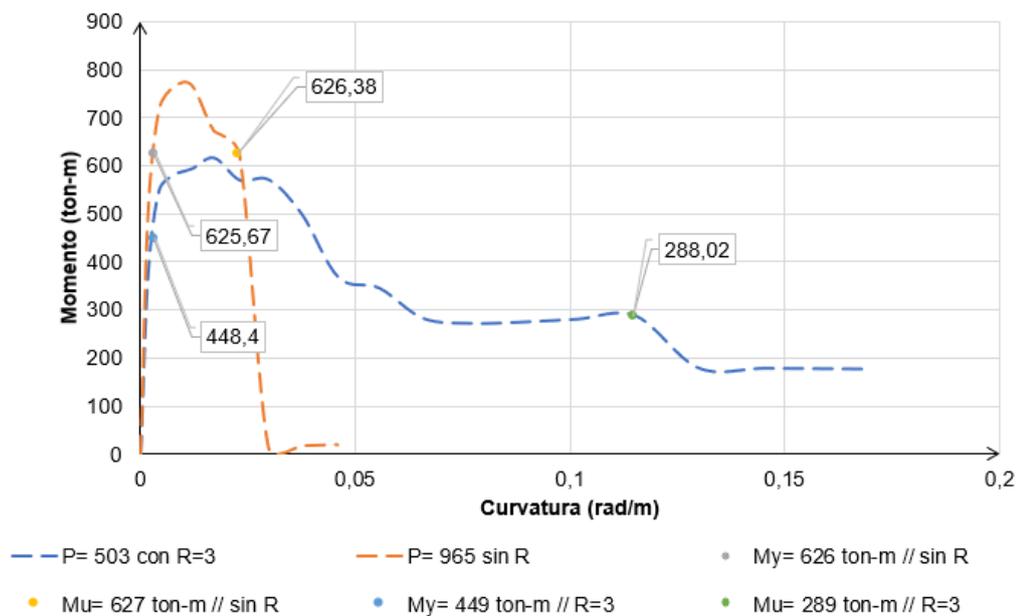


Ilustración 62. Diagrama momento curvatura de pila #12 para R=3 y sin R según AASHTO 2002. Fuente: Elaboración propia de autor.

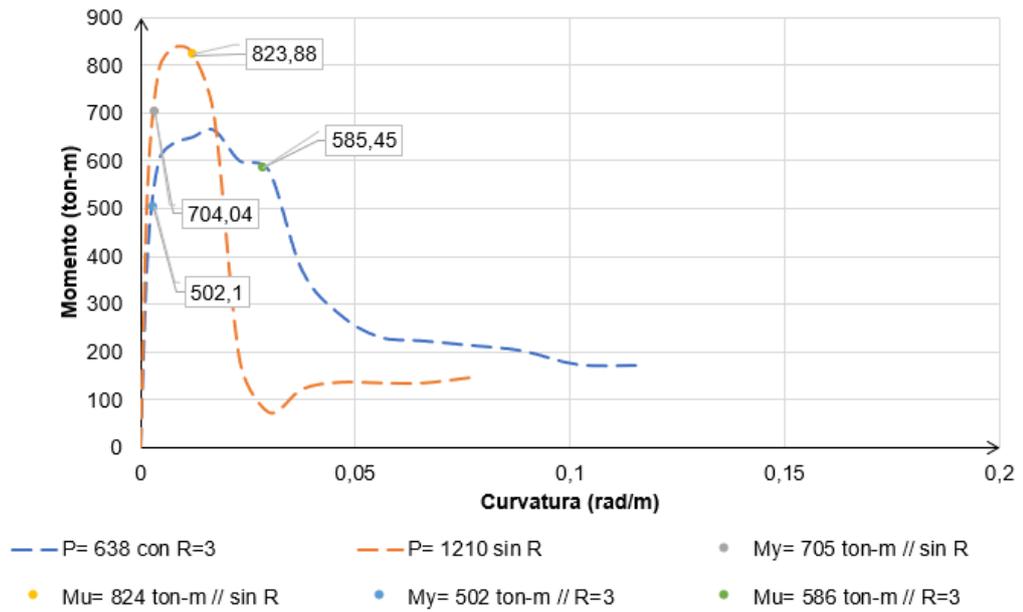


Ilustración 63. Diagrama momento curvatura de pila #12 para R=3 y sin R según LRFD 2017. Fuente: Elaboración propia de autor.

4.4.4.2 MOMENTO CURVATURA CONSIDERADA LA CARGA MUERTA SIN FACTORAR

Tabla 39. Datos extraídos de SAP 2000 para la carga P=-187. Fuente: SAP 2000.

PILA #12 con P= -187	
Curvature	Moment
0	5,68E-17
0,001709	260,9228
0,004272	400,7594
0,00769	423,2603
0,012	438,4351
0,0171	458,3409
0,0231	481,1746
0,0299	501,9595
0,0376	479,5166
0,0461	486,957
0,0555	442,2939
0,0658	428,409

0,0769	426,4783
0,0889	407,7654
0,1017	387,1996
0,1153	384,228
0,1299	388,6177
0,1452	394,3179
0,1615	400,321
0,1786	0,7395

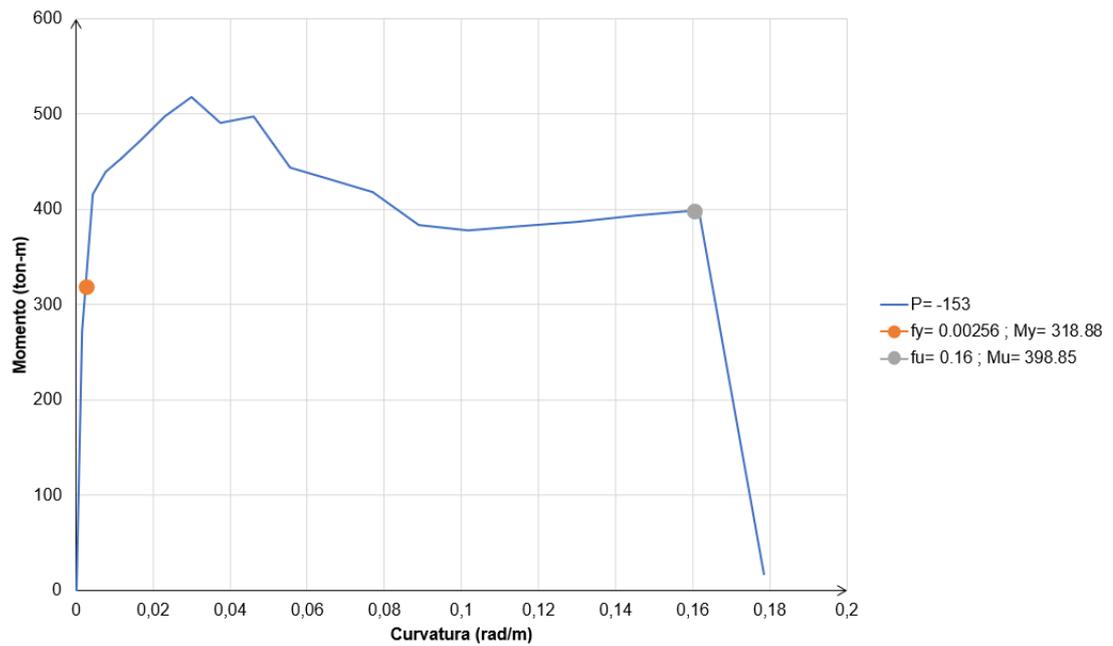


Ilustración 64. Momento curvatura con carga muerta sin factorizar con fluencia y curvatura última para pila #12.

4.4.5 DESPLAZAMIENTOS SEGÚN SAP 2000

Tabla 40. Resumen de desplazamientos según la norma para la pila #12.

Fuente: Elaboración propia de autor.

		U1 Desplazamiento en "X" Longitudinal (mm)	U2 Desplazamiento en "Y" Transversal (mm)	Vx (ton)	Vy (ton)
Sin "R"					
Pila #12 (11 metros)	AASHTO 2002	187	158	74	162
	LRFD 2017	281	198	108	258

4.5 ESPECTROS DE DESPLAZAMIENTO

Estos gráficos sirven para establecer la máxima fuerza de un sistema con un periodo determinado, para el caso del presente trabajo en estudio, se considera un valor de “R=1” para ambos espectros de respuesta.

Se consideran valores de periodo desde 0 utilizando cada centésima hasta el periodo 3, para obtener una gráfica con mayor exactitud.

$$D = \frac{A}{\left(\frac{2\pi}{Tn}\right)^2}$$

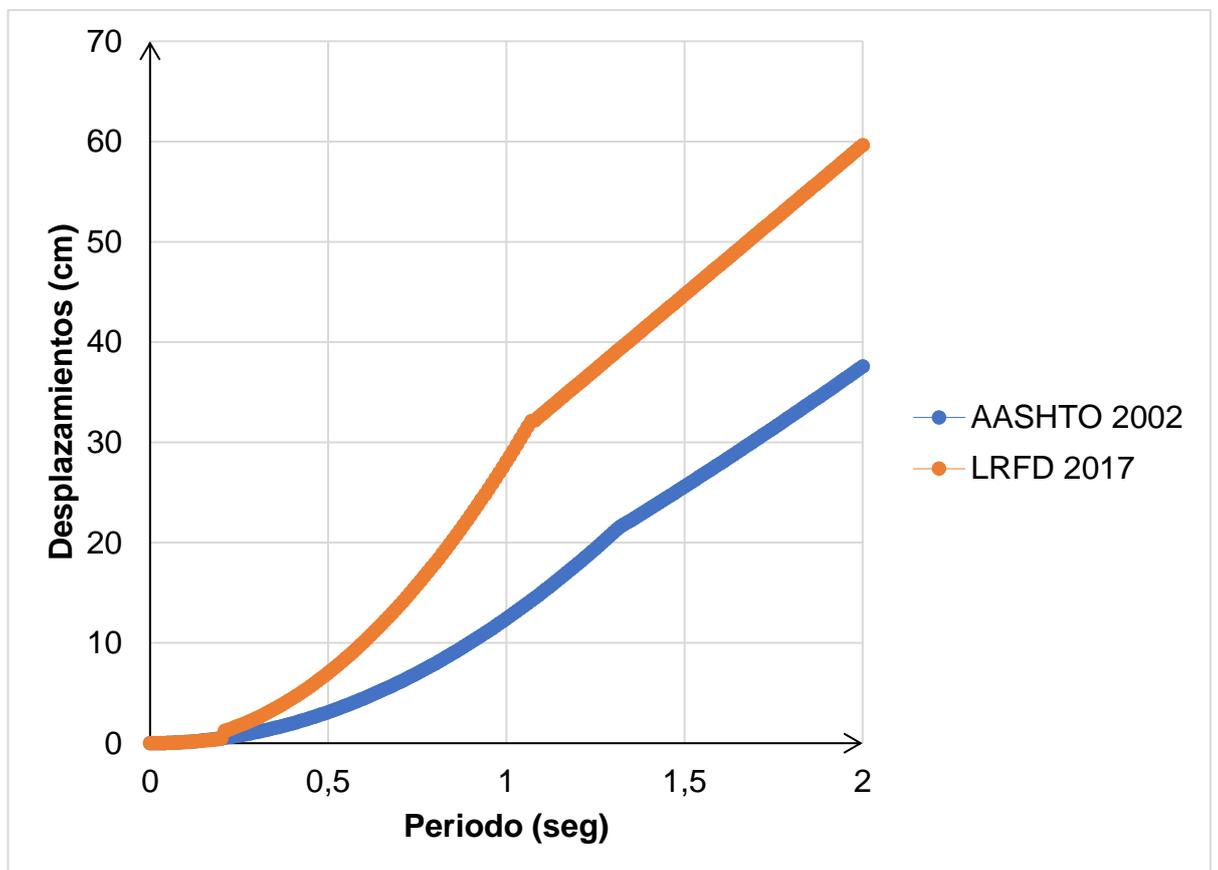


Ilustración 65. Comparativa de espectros de desplazamiento. Fuente:
Elaboración propia de autor.

4.6 DESPLAZAMIENTO DE FLUENCIA Y DESPLAZAMIENTO ÚLTIMO

Para hallar cual es el desplazamiento de fluencia de cada una de las cargas “P” con “R” o sin “R”, se procede a determinar cuáles son sus rotulas plásticas, para esto, se iniciará con estos datos principales para el desarrollo del desplazamiento de fluencia.

Tabla 41 Datos principales para determinar desplazamiento de fluencia.

Fuente: Elaboración propia de autor.

L (mm)	11000
dbl (mm)	32
fy (Mpa)	460

- L= Longitud de la columna.
- dbl= Diámetro de varilla longitudinal.
- fy= Esfuerzo de fluencia del acero.

4.6.1 LONGITUD DE RÓTULA PLÁSTICA

Una vez definido cada uno de los parámetros, se procede a resolver las fórmulas reemplazando para cada uno de sus valores, tanto para la pila de poca altura como la de gran altura.

$$Lp_a = (0.08) \times (L) + (0.022) \times (dbl) \times (fy)$$

$$Lp_b = (0.044) \times (fy) \times (dbl)$$

$$Lp = * \text{el valor máx entre } Lp_a - Lp_b$$

4.6.2 RESUMEN DE DESPLAZAMIENTOS PARA R=3 y sin “R” PARA AMBAS NORMATIVAS

Ya obtenida la longitud de las rotulas plásticas se procede a calcular los desplazamientos:

$$\Delta y = (\phi_y) \times (L)$$

$$\Delta u = (\Delta y) + (\phi_u - \phi_y) \times (L_p) \times \left(\frac{(L) - 0.5(L_p)}{1000} \right)$$

Tabla 42. Resumen de curvaturas y desplazamientos para la pila #2 según ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.

Pila #2 de 1,8 metros								
NORMA	ESTADO	P (ton)	M_y	ϕ_y	Δ_y (mm)	M_u	ϕ_u	Δ_u (mm)
AASHTO 2002	sin "R"	510	434	0,00256	4,62	558	0,03141	32,19
	R = 3	265	351	0,00256	4,62	380	0,14490	140,70
LRFD 2017	sin "R"	745	549	0,00308	5,54	696	0,01615	18,04
	R = 3	208	328	0,00256	4,62	398	0,16150	156,57

Tabla 43. Resumen de curvaturas y desplazamientos para la pila #12 según ambas normas. Fuente: Elaboración propia de autor.

Pila #12 de 11 metros								
NORMA	ESTADO	P (ton)	M_y	ϕ_y	Δ_y (mm)	M_u	ϕ_u	Δ_u (mm)
AASHTO 2002	sin "R"	965	626	0,00321	35,26	626	0,02260	278,03
	R = 3	503	448	0,00320	35,20	288	0,11470	143,09
LRFD 2017	sin "R"	1210	704	0,00333	36,66	824	0,01205	145,78
	R = 3	638	502	0,00308	33,85	585	0,02846	351,58

4.7 CAPACIDAD DE CORTE PARA AMBAS PILAS SEGÚN NORMATIVA ACI 318

La capacidad de corte que poseen cada una de las pilas a analizar en el presente trabajo se calculan en base a las fórmulas propuestas por la norma de AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, la cual utiliza ciertos parámetros esenciales para obtener su valor final.

Tabla 44. Datos iniciales para obtención de cortante. Fuente: Elaboración propia de autor.

f'c (kg/cm ²)	292
Nu = Pmáx (ton)	Variable
h (cm)	120
bw (cm)	150
d (cm)	106
Av (cm ²)	2,26
fyt (kg/cm ²)	4200
Espaciamento (cm)	15

$$V_c = 0.53 \times \sqrt{f'c} \times \left(1 + \frac{Nu}{140 A_g} \right) \times bw \times d$$

Donde:

- Vc: Cortante para cargas axiales a compresión.
- f'c: Resistencia del hormigón.
- Nu: Carga axial máxima obtenida por el programa SAP 2000.
- Ag: Area gruesa de la sección transversal.
- bw: Ancho de pila.
- d: Peralte efectivo.

$$V_s = \frac{Av \times fy \times d}{S}$$

Donde:

- Av: Área de ramas de estribo.
- fy: Esfuerzo de fluencia del acero.
- d: Peralte efectivo.
- S: Espaciamento.

Una vez definidos los valores necesarios para obtener el cortante, se reemplazan los valores de cargas máximas del SAP 2000 y se ubican en el valor de "Nu", luego de esto se elabora una tabla de resumen junto el aporte que brindan los estribos donde se especifica la capacidad a corte para

diferentes estados de R, donde se analiza para el valor de R=3 y donde no se utiliza el valor de R.

Tabla 45. Resumen de capacidad a corte según el valor de R. Fuente:
Elaboración propia de autor.

Pila	Norma	Estado	P máx (ton)	Vc (ton)	Vs (ton)	CORTANTE (Vc + Vs)	con PHI 0,75
1,8 metros	AASTHO 2002	R3	265	159,14	67,08	226,22	169,66
		Sin	510	173,14	67,08	240,22	180,17
	LRFD 2017	R3	208	155,89	67,08	222,97	167,23
		Sin	745	186,57	67,08	253,65	190,24
11 metros	AASTHO 2002	R3	503	172,74	67,08	239,82	179,87
		Sin	965	199,14	67,08	266,22	199,67
	LRFD 2017	R3	638	180,46	67,08	247,54	185,66
		Sin	1210	213,14	67,08	280,22	210,17

CAPITULO 5: INTERPRETACIÓN Y ALTERNATIVAS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Debido a que el análisis obtenido por el programa SAP 2000 indica que para ambas columnas (pila de 1,8 y 11 metros) resueltas sin valores de "R" y con la normativa actual, su capacidad esta fuera de los rangos normales, por ende, una de las modificaciones que se podría optar para obtener un mejor desempeño es un refuerzo con encamisado de acero estructural A-36 alrededor de ambas pilas.

5.1 ENCAMISADO DE ACERO ESTRUCTURAL A-36

Al utilizar el encamisado de acero en las pilas del paso elevado en estudio, se obtiene una mayor capacidad del elemento debido a que estas aumentan su resistencia, para esto, se añade un espesor de acero que demuestre resultados aptos y permisibles para la norma actual.

En el programa SAP 2000 se encuentra una herramienta donde se pueden añadir varios tipos de refuerzos, donde uno de ellos son los encamisados de acero, en donde se escriben sus dimensiones y propiedades para así observar su comportamiento ya una vez corrido el programa.

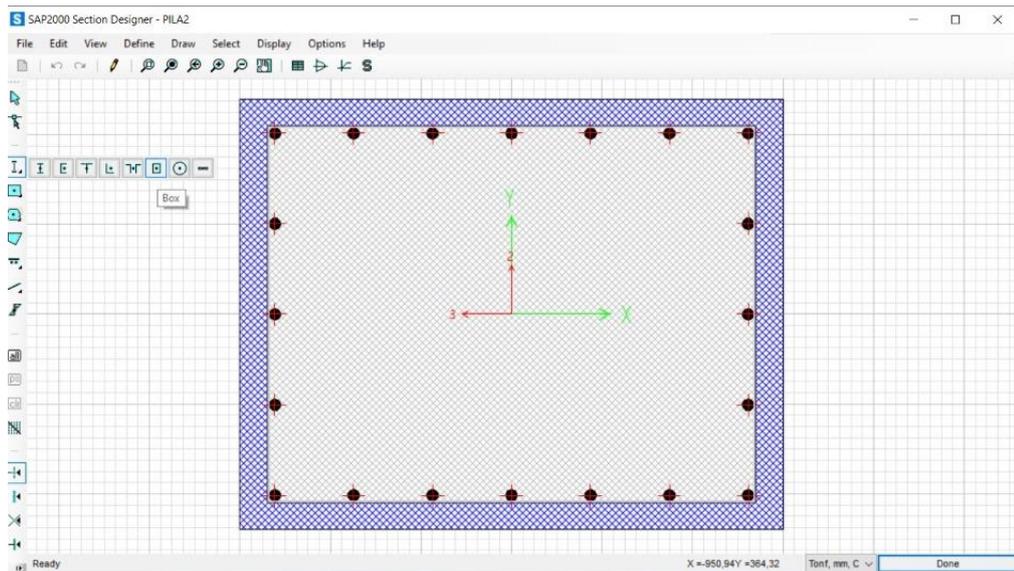


Ilustración 66. Herramienta para diseño de encamisado en pilas rectangulares. Fuente: SAP 2000.

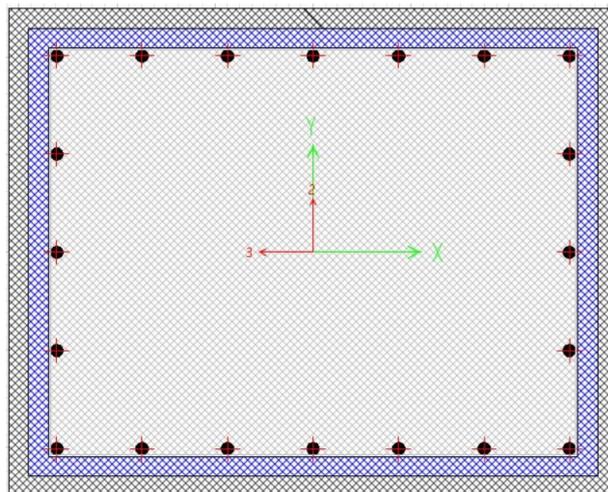


Ilustración 67. Columna con encamisado de acero. Fuente: SAP 2000.

5.1.1 REFUERZO ADICIONAL DE PILA #2 DE 1,8 METROS DE ALTURA

Como se mencionó en el inicio del presente capítulo, los diagramas de capacidad para la pila #2 sin valores de “R”, demostró que los valores de su demanda no cumplen con la norma, razón por la cual se opta por añadir un encamisado de 20 mm, el suficiente para que la normativa actual apruebe con totalidad sus demandas.

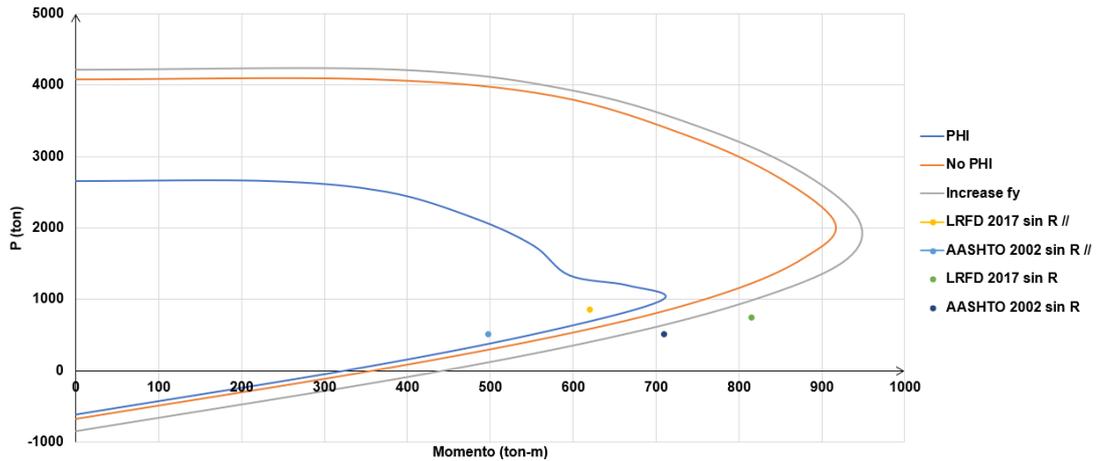


Ilustración 68. Comparativa de demandas para valores sin R vs valores sin R con encamisado para la pila #2. Fuente: Elaboración propia de autor.

5.1.2 REFUERZO ADICIONAL DE PILA #12 DE 11 METROS DE ALTURA

Aquí se desarrolla el mismo proceso que en el apartado anterior 5.1.1, donde sus únicas diferencias se basan en la altura de la pila, antes analizada con 1,8 metros y ahora con 11 metros y el espesor del encamisado, antes utilizado de 20 mm y ahora de 30 mm.

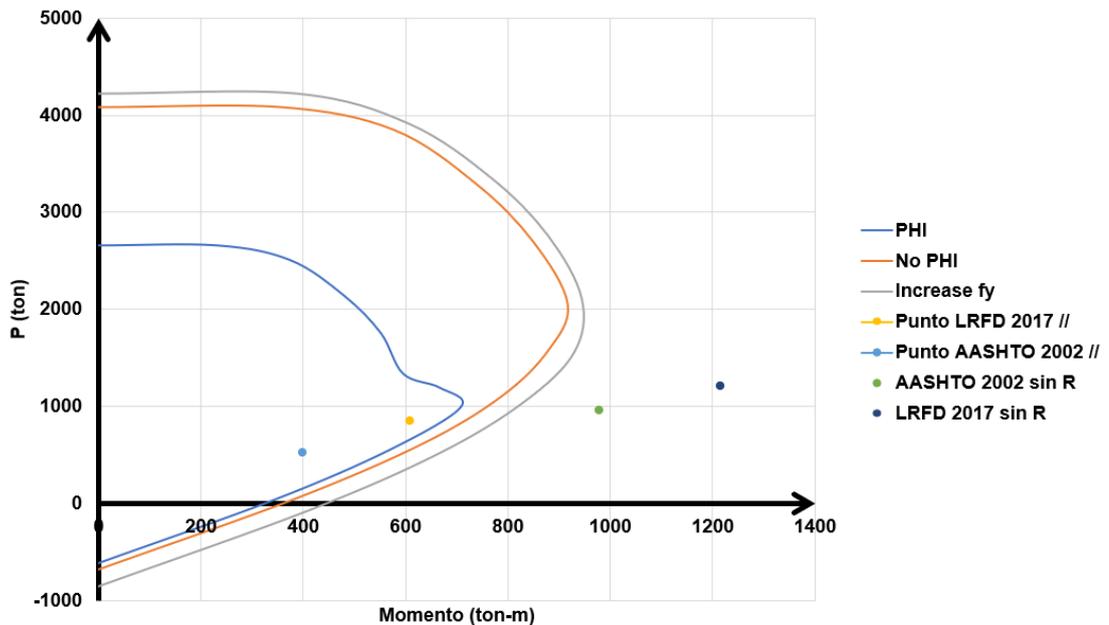


Ilustración 69. Comparativa de demandas para valores sin R vs valores sin R con encamisado para la pila #12. Fuente: Elaboración propia de autor.

5.1.3 RESUMEN DE RESISTENCIAS Y DESPLAZAMIENTOS CON DISTINTOS VALORES DE ESPESOR PARA ENCAMISADOS

Una vez definidos los espesores necesarios para que la normativa actual LRFD 2017 apruebe que la capacidad sea mayor que la demanda, se elabora un cuadro comparativo donde se observan sus nuevos desplazamientos y nueva resistencia a corte, tanto para la pila #2 y pila #12.

Tabla 46. Comparativa de valores para corte y desplazamientos según su valor de R y encamisado. Fuente: Elaboración propia de autor.

Pila	Norma	"R"	Desplazamientos (mm)		Cortantes (ton)	
			Longitudinal	Transversal	Vx	Vy
#2 (1,8 metros)	AASHTO 2002	sin R	88	76	84	119
	LRFD 2017		111	102	89	137
	AASHTO 2002	sin R con encamisado (20mm)	45	35	94	136
	LRFD 2017		53	54	99	158
#12 (11 metros)	AASHTO 2002	sin R	187	158	74	162
	LRFD 2017		281	198	108	258
	AASHTO 2002	sin R con encamisado (30mm)	90	74	113	196
	LRFD 2017		127	88	141	287

5.1.4 RESISTENCIA A CORTE CON ALTERNATIVAS DE ENCAMISADO

Según la guía de diseño AISC en el apartado G. Diseño de miembros en corte, especifica en el grupo 5 sobre los tubos de sección rectangular y cajón, en donde la resistencia a corte nominal es determinada por la fórmula:

$$A_w = 2ht$$

Donde:

- A_w : Área del alma, altura multiplicada por el espesor del alma.
- h : Ancho resistente a la fuerza de corte.
- t : Espesor de diseño de la pared

Luego de obtener los datos iniciales, se procede a reemplazar para la fórmula de corte nominal:

$$V_n = 0.6 Fy Aw$$

Donde:

- Fy: Esfuerzo de fluencia para acero A-36. (2530 kg/cm2)

Reemplazando los valores para cada tipo de espesor tanto para la pila #2 y pila #12, se obtienen los siguientes valores:

$$Pila2 = 0.75 * 0.6 * 2530 * (2 * 120 * 2) = 540 \text{ ton}$$

$$Pila12 = 0.75 * 0.6 * 2530 * (2 * 120 * 3) = 800 \text{ ton}$$

5.2 PRESUPUESTO DE ENCAMISADO SEGÚN SU ESPESOR

Para definir un costo aproximado de lo que costaría optar por una de las alternativas propuestas en el presente trabajo de estudio, se procederá a calcular el área necesaria para encamisar ambas pilas del paso elevado, para esto se requiere el costo unitario del Acero Estructural A-36, el cual se obtuvo desde el buscador del Sistema Oficial de Contratación Pública.

Logo: COMPRAS PÚBLICAS, Sistema Oficial de Contratación Pública, GOBIERNO NACIONAL DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR

Lunes 6 de Septiembre del 2021 03:22 [Ingresar al Sistema]

»Búsqueda de Procesos de Contratación

Para Buscar Procesos: Debe Presionar el botón "Buscar Entidad", e ingresar el nombre de la Entidad que desea consultar.

Palabras claves	<input type="text"/>	Para encontrar procesos según palabras claves ingresadas; ej: "computador", "camarón".
Entidad Contratante	<input type="text"/>	Presione el botón "Buscar Entidad", para encontrar el nombre de la Entidad Contratante, de la cual desea buscar Procesos.
Tipo de Contratación	TOCOS	Que tipo de contratación es el proceso: Licitación, Subasta Inversa o Publicación u otro.
Tipo de compra		Qué tipo de compra se realizó en el proceso: Bienes, Obras o Servicios incluidos Consultoría
Estado del Proceso		Seleccione el Estado en que se encuentren los procesos interesados.
Código del Proceso	<input type="text"/>	Ingrese el código del proceso a buscar, ej: INCOPI-SI-001
Por Fechas de Publicación (*)	Desde: 2021-03-6 Hasta: 2021-09-6	Seleccione el Periodo de la fecha de Publicación del Proceso. (Periodo válido 6 meses antes y 15 días después de la fecha de publicación)
Para una búsqueda más avanzada	Buscar en google	Esta opción permite buscar información e inclusive documentos que se encuentren en el Portal. Para acceder puede ingresar en el campo "Palabras claves" lo que necesita buscar y clic en el enlace.

Ilustración 70. Buscador de contrataciones públicas para obtener costo unitario del Acero A-36. Fuente: (COMPRAS PÚBLICAS, s.f.)

Una vez obtenido el Análisis de Precios Unitarios desde la página de contratación pública, se encontró un costo de 3,92\$ para el kilogramo del Acero Estructural A-36. A continuación, se mostrará en la tabla #xx los costos aproximados para acceder a las nuevas alternativas propuestas en el presente trabajo de estudio.

Antes de proceder al cálculo de costos, es necesario tener como dato el área que se va a encamisar y también el peso específico del Acero Estructural A-36.

Tabla 47. Especificaciones de acero a utilizar para encamisado. Fuente:
Elaboración propia de autor.

Pila	Área de pila (m2)	Espesor (m)	Volúmen (m3)
#2	9,72	0,02	0,194
#12	59,4	0,03	1,782

Ya obtenido el volumen a utilizar de acero para cada pila, se lo multiplica con su peso específico (7850 kg/m3) para obtener el valor en kilogramos y así proceder a elaborar el presupuesto.

$$Pila \#2 = 0.194 \times 7850 = 1522.9 \text{ Kg}$$

$$Pila \#12 = 1.782 \times 7850 = 13988.7 \text{ Kg}$$

Tabla 48. Costo aproximado de encamisado para ambas pilas. Fuente:
Elaboración propia de autor.

RUBRO	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	Acero para encamisado A-36 para pila #2	1522,9	Kg	\$ 2,98	\$ 4.538,24
2	Acero para encamisado A-36 para pila #12	13988,7	Kg	\$ 2,98	\$ 41.686,33
TOTAL					\$ 46.224,57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores obtenidos por el programa SAP 2000 demostraron que el diseño de las pilas #2 y #12 basado en la normativa actual LRFD 2017, no cumplen de manera satisfactoria una característica tan importante como es la capacidad de los elementos, al no cumplirse que la capacidad sea mayor que la demanda, se optó por añadir placas de Acero Estructural A-36 como refuerzo de encamisado.

Los espesores añadidos en las pilas del presente trabajo en estudio son de 20 milímetros para la pila #2 y de 30 milímetros para la pila #12, el cual mejora satisfactoriamente el desempeño de las columnas comprobado por el programa SAP 2000, donde reduce considerablemente sus valores de desplazamiento y aumenta su resistencia a corte, todo esto analizado reduciendo los valores de "R" para considerar que la estructura tome mayor carga en rangos elásticos y así también disminuir las deformaciones tanto elásticas como las residuales en caso de superarse el nivel de fluencia.

El costo estimado por optar estas alternativas de refuerzo da un precio de 4'538.24 dólares para la pila #2 y 41'686.33 dólares para la pila #12, obteniendo una suma total de 46'224.57 dólares, todo esto obtenido por APUS del Sistema de Contratación Pública.

BIBLIOGRAFÍA

AASHTO LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS (8ava ed.). (2017). USA.

AASHTO STANDARD SPECIFICATIONS FOR HIGHWAY BRIDGE. (2002).

Aguilar, D. M. (2015). *Modelacion de diagrama momento curvatura y momento rotacion en secciones de acero estructural.*

Argudo, J. (2011). *Proyecto Radius.* Guayaquil. Obtenido de <https://www.jaimeargudo.com/wp-content/uploads/2011/04/RADIUS-VOLUMEN-II-ESTUDIO-AMENAZA-SISMICA.pdf>

CEINVES. (s.f.).

COMPRAS PÚBLICAS. (s.f.). *Sistema Oficial de Contratación Pública.* Obtenido de <https://www.compraspublicas.gob.ec/ProcesoContratacion/compras/>

Dirección de construcción. INAPAC. (s.f.). *Estructuras y Obras Especiales; Puentes y Túneles.* Recuperado el 10 de Junio de 2021, de http://www.inacap.cl/web/material-apoyo-cedem/profesor/Construccion/Topografia-y-Obras-Viales/G03_Topografia_y_Obras_Viales._Puentes.pdf

HILTI. (s.f.). FERROSCAN 300. Obtenido de https://www.hilti.com.mx/c/CLS_MEA_TOOL_INSERT_7127/CLS_CONCRETE_SCANNERS_7127/r9374764

NEC. (2015).

Pedro Rojas. (2020). *Aceleración del suelo.*

Pedro Rojas. (2021). *Puentes.* Guayaquil.

Salazar, T. (2018). *Propuesta para la inclusión de la amplificación de señal sísmica en las normas para la construcción de obras en los depositos aluviales de Guayaquil*. Guayaquil.

Santana. (2018). *Nociones generales sobre los diagramas de interacción*.
Obtenido de <https://steemit.com/stem-espanol/@eliaschess333/aprendiendo-a-construir-el-diagrama-de-interaccion-de-una-columna-de-concreto-armado-aplicaciones-en-la-ingenieria>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Reyes Castillo, Enrique Sebastián**, con C.C: # **0951477686** autor/a del trabajo de titulación: **Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de columnas del Paso Elevado de la Av. 25 de Julio intersección vía Perimetral**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **14 de septiembre de 2021**

f. _____

Nombre: **Reyes Castillo, Enrique Sebastián**

C.C: **0951477686**



REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	Evaluación de alternativas para mejorar el desempeño de columnas del Paso Elevado de la Av. 25 de Julio intersección vía Perimetral		
AUTOR(ES)	Enrique Sebastián, Reyes Castillo		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Guillermo Alfonso, Ponce Vásquez. M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de Septiembre del 2021	No. PÁGINAS:	113
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Sísmica, Ingeniería estructural, Diseño		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Cargas de diseño, refuerzo, encamisado, rangos elásticos, deformaciones, espesor.		
<p>Las pilas de un paso elevado deben permanecer en estado óptimo para el soporte de cargas con las cuales fueron diseñadas, años atrás muchos puentes/pasos elevados de la ciudad de Guayaquil se diseñaron mediante normativas correspondientes al año de construcción, con el pasar del tiempo, estas normas se actualizan y consideran una nueva forma de analizar estas cargas. En el paso elevado de la Av. 25 de Julio ubicado frente al Riocentro Sur de la ciudad de Guayaquil se analizaron dos pilas, una de poca altura y otra de gran altura, obteniendo sus valores estructurales mediante un análisis del programa SAP 2000, los cuales fueron de vital importancia para desarrollar los cálculos pertinentes y observar el comportamiento de ambas pilas frente a sus respectivas cargas de diseño, estableciendo una comparación de la normativa utilizada en la época de construcción del año 2000 frente a una normativa más actual del año 2017, en donde se concluyó el necesario refuerzo de estas pilas mediante un encamisado de acero estructural A-36 para un estado se reducen sus valores de R obligando a que la estructura tome mayor carga en rangos elásticos y así también poder disminuir sus deformaciones. El costo que requiere optar esta nueva alternativa es de \$48'224,57 donde se emplea diferentes espesores de acero con 20 y 30 milímetros para la pila #2 y #12 respectivamente.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-984388068	E-mail: enrique.reyes01@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE)::	Nombre: Glas Cevallos, Clara		
	Teléfono: +593-42206956		
	E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			