



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

**RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL POSTE DE ALTA TENSIÓN
SOMETIDO A CARGAS DE VIENTO, SAN MARTÍN DE PORRES
2023**

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Cielo Marina, Pablo Francisco

Asesor

Aroquipa Velásquez, Héctor
ORCID: 0000-0002-6502-5618

Jurado

Malpartida Canta, Rommel
Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique
García Urrutia Olavarria, Roque Jesús Leonardo

Lima – Perú

2026



RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL POSTE DE ALTA TENSIÓN SOMETIDO A CARGAS DE VIENTO, SAN MARTIN DE PORRES 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

28%

INDICE DE SIMILITUD

27%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

6%

2

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

lapem.cfe.gob.mx

Fuente de Internet

2%

4

ri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.usanpedro.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

text.123docz.net

Fuente de Internet

1%

7

dspace.ucuenca.edu.ec

Fuente de Internet

1%

8

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

9

repositorio.uwiener.edu.pe

Fuente de Internet

1%

10

www.slideshare.net

Fuente de Internet

1%

11

idoc.pub

Fuente de Internet

1%

12

docplayer.es

Fuente de Internet

<1%



ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL POSTE DE ALTA TENSIÓN SOMETIDO

A CARGAS DE VIENTO, SAN MARTIN DE PORRES 2023

Línea de investigación:

**Desarrollo urbano – rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el Grado Académico de Doctor en Ingeniería Civil

Autor

Cielo Marina, Pablo Francisco

Asesor

Aroquipa Velásquez, Héctor

ORCID: 0000-0002-6502-5618

Jurado

Malpartida Canta, Rommel

Cancho Zuñiga, Gerardo Enrique

García Urrutia Olavarria, Roque Jesús Leonardo

Lima – Perú

2026

AGRADECIMIENTO

A mis hijos y esposa por apoyarme cada día a ser más competitivo y sobresaliente.

A mi asesor el Dr. Héctor Aroquipa Velásquez por el apoyo en cada etapa del proceso de la elaboración de tesis.

DEDICATORIA

Dedico mi tesis a dios, mis hijos, esposa, padres y hermanos por ser mi fuente de inspiración para buscar el crecimiento profesional.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	XV
ABSTRACT	XVI
I.INTRODUCCIÓN	17
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3.1. Problema general.....	20
1.3.2. Problemas específicos	20
1.4. ANTECEDENTES	21
1.4.1. Internacionales	21
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.5.1. Justificación teórica.....	26
1.5.2. Justificación práctica.....	26
1.5.3. Justificación social	26
1.6. LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
1.7. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	27
1.7.1. Objetivo general.....	27
1.7.2. Objetivos específicos.....	27
1.8. HIPÓTESIS	28
1.8.1. Hipótesis general.....	28
1.8.2. Hipótesis específicas	28
II.MARCO TEÓRICO.....	30
2.1. MARCO CONCEPTUAL	30

2.1.1. Línea de transmisión	30
2.1.1.1. Características de una línea de transmisión	30
2.1.1.1.1. Estructuras de Soporte	30
2.1.1.1.2. Componentes de líneas de transmisión	31
2.1.2. Postes de C.A.C.....	33
2.1.2.1 Comportamiento estructural	33
2.1.2.1.1 Esfuerzo	34
2.1.2.1.2 Momento	34
2.1.2.1.3. Desplazamientos	35
2.1.2.1.4. Factor de respuesta dinámica.....	35
2.1.2.1.5. Factor de respuesta de ráfagas	35
2.1.3. Solicitaciones de carga sobre las estructuras	35
2.1.3.1. Generalidades	35
2.1.3.2. Cargas según norma CFE J6100-54.....	36
2.1.3.2.1. Cargas	36
2.1.3.2.2. Identificación de las cargas.....	36
2.1.3.2.3. Combinaciones y factores de carga	37
2.1.3.3. Cargas según norma ASCE 74.....	38
2.1.3.3.1. Cargas permanentes.....	38
2.1.3.3.2. Cargas por viento.....	39
2.1.3.3.3. Carga transversal por ángulo	40
2.1.3.3.4. Hipótesis de carga – estructura de suspensión.....	40
2.1.3.3.5. Combinaciones de carga	42
2.1.4. Normativas sobre análisis y diseño estructural por acción del viento en líneas de transmisión eléctrica .	43

2.1.4.1. Manual de diseño de obras civiles, Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad 2020...	43
2.1.4.2. Guidelines for electrical transmission line structural loading, fourth edition, ASCE manuals and reports on engineering practice N° 74	44
2.1.4.3. Código Nacional de Electricidad 2011	44
2.1.5. Análisis dinámico	44
2.1.6. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes	45
2.1.6.1. Fuerza Cortante en la base	45
2.1.6.2. Periodo fundamental de vibración	45
2.1.6.2.1. Combinaciones de cargas	46
2.1.7. Requisitos normados	46
III.MÉTODO	47
3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN	47
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA	48
3.2.1. Población.....	48
3.2.2. Muestra.....	48
3.2.3.1. Muestreo	48
3.3. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	49
3.4. INSTRUMENTOS.....	52
3.4.1. Validación del instrumento	52
3.5. PROCEDIMIENTOS	54
3.5.1. Etapa 1: Recolección de información.....	55
3.5.2. Etapa 2: Estimación de las cargas del viento.....	55
3.5.3. Etapa 3: Respuesta estructural bajo cargas de viento y comparación de resultados.....	56
3.5.4. Respuesta estructural bajo cargas de viento y sismo	57
3.6. ANÁLISIS DE DATOS	57
3.6.1. Procesamiento de datos	57

3.6.1.1. Recolección de información	57
3.6.1.2. Estimación de las cargas de viento	58
3.6.1.3. Respuesta estructural bajo cargas de viento y comparación de resultados	58
3.6.1.4. Respuesta estructural bajo cargas de viento y sismo	59
3.6.2. Estadística inferencial	59
3.6.3. Consideraciones éticas	60
IV.RESULTADOS	61
4.1. CARGAS DE VIENTO	61
4.1.1. Cargas de viento con la norma CFE	62
4.1.2. Cargas de viento con la norma ASCE 74	62
4.2. DIAGRAMA DE CARGAS EN EL POSTE	64
4.3. MODELACIÓN EN EL SOFTWARE SAP2000.....	65
4.3.1. Definición de la estructura	66
4.4. METRADO DE CARGAS	68
4.5. CARGAS.....	68
4.5.1. Hipótesis de carga según CFE.....	68
4.5.1.1. De servicio (suspensión).....	68
4.5.1.2. Máxima (suspensión).....	69
4.5.1.3. Tendido y mantenimiento (suspensión)	70
4.5.2. Hipótesis de carga según ASCE 74.....	72
4.5.2.1. Viento Extremo (suspensión).....	72
4.5.2.2. Construcción y mantenimiento (suspensión)	73
4.5.2.2.1 Construcción.....	73
4.5.2.3. Contención de fallas (Suspensión).....	74
4.6. ANÁLISIS DE LOS DATOS PROCESADOS.....	76
4.6.1. Resultados del análisis con la norma CFE	76

4.6.1.1. Esfuerzos con carga de servicio CFE.....	76
4.6.1.2. Momentos con carga de servicio CFE	77
4.6.1.3. Desplazamientos con carga de servicio CFE	78
4.6.1.4. Esfuerzos con carga máxima sin hielo CFE.....	79
4.6.1.5. Momentos con carga máxima sin hielo CFE	80
4.6.1.6. Desplazamientos con carga máxima sin hielo CFE	81
4.6.1.7. Esfuerzos con carga de tendido y mantenimiento CFE.....	82
4.6.1.8. Momentos con carga de tendido y mantenimiento CFE	83
4.6.1.9. Desplazamientos con carga de tendido y mantenimiento CFE	84
4.6.1.10. Factor de respuesta dinámica CFE.....	84
4.6.2. Resultados del análisis con la norma ASCE 74.....	85
4.6.2.1. Esfuerzos con carga de viento extremo ASCE 74	85
4.6.2.2. Momentos con carga de viento extremo ASCE 74	86
4.6.2.3. Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74.....	87
4.6.2.4. Esfuerzos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74	88
4.6.2.5. Momentos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74	89
4.6.2.6. Desplazamientos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74.....	90
4.6.2.7. Esfuerzos con carga de contención de fallas ASCE 74.....	91
4.6.2.8. Momentos con carga de contención de fallas ASCE 74	92
4.6.2.9. Desplazamientos con carga de contención de fallas ASCE 74	93
4.6.2.10. Factor de respuestas de ráfagas ASCE 74.....	93
4.6.3. Comparación de resultados	94
4.6.4. Presiones del viento.....	101
4.6.4.1. Presiones del viento según la norma CFE.....	101
4.6.4.2. Presiones del viento según la norma ASCE 74	101
4.6.4.3. Presiones del viento según la norma CNE	101
4.6.4.3.1. Mapa eólico	102
4.6.4.3.2. Zona de carga	102

4.6.5. Análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento	106
4.6.6. Análisis sísmico	108
4.7. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	112
4.7.1. Hipótesis específica 1	112
4.7.1.1. Normalidad de los datos	113
4.7.1.2. Prueba estadística: U de Mann Whitney	114
4.7.2. Hipótesis específica 2	115
4.7.2.1. Normalidad de los datos	116
4.7.2.2. Prueba estadística: U de Mann Whitney	117
4.7.3. Hipótesis específica 3	118
4.7.3.1. Normalidad de los datos	119
4.7.3.2. Igualdad de varianza	120
4.7.3.3 Prueba estadística: T Student	120
4.7.4. Hipótesis específica 4	121
4.7.4.1. Normalidad de los datos	122
4.7.4.2. Igualdad de varianza	123
4.7.4.3 Prueba estadística: T Student	123
4.7.5. Hipótesis específica 5	124
4.7.5.1. Normalidad de los datos	125
4.7.5.2. Igualdad de varianza	126
4.7.5.3 Prueba estadística: T Student	126
4.7.6. Hipótesis específica 6	127
4.7.6.1. Normalidad de los datos	128
4.7.6.2. Igualdad de varianza	129
4.7.6.3 Prueba estadística: T Student	129
4.7.7. Hipótesis específica 7	130

4.7.7.1. Normalidad de los datos	131
4.7.7.2. Igualdad de varianza	132
4.7.7.3 Prueba estadística: T Student	132
4.7.8. Hipótesis general	133
4.7.8.1. Normalidad de los datos	134
4.7.6.2. Prueba estadística: a: Kruskal-Wallis	136
V.DISCUSIÓN DE RESULTADOS	139
VI.CONCLUSIONES.....	144
VII.RECOMENDACIONES	147
VIII.REFERENCIAS	149
IX.ANEXO	158
9.1. MATRIZ DE CONSISTENCIA	158
9.2. CÁLCULO DE LAS CARGAS DEL VIENTO SEGÚN LA CFE	160
9.3. CÁLCULO DE LAS CARGAS DEL VIENTO SEGÚN LA ASCE 74.....	163
9.4. CÁLCULOS EN SAP2000	169
9.5. PARÁMETROS SÍSMICOS	196
9.6. FICHAS TÉCNICAS	197

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista en plata de los ángulos de deflexión en una línea de transmisión eléctrica de alta tensión.	31
Figura 2. Torre de remate n°1 saliendo de la subestación santo tomas hacia subestación el pedregal.	32
Figura 3. Torre n° 13 en suspensión, sobre la 17 av. norte ciudad merliot (a la izquierda). torre n° 6 en suspensión, línea soyapango-san martin (a la derecha).	32
Figura 4. Apoyos	34
Figura 5. Diagrama de flujo del procedimiento.	54
Figura 6. Ejemplo de comparación de resultados.	59
Figura 7. Poste n° 03.	61
Figura 8. Esquema del poste.	64
Figura 9. Diagrama de cargas en el poste.	65
Figura 10. Propiedades del material de concreto.	66
Figura 11. Sección de la cima del poste de c.a.c.	67
Figura 12. Sección de la base del poste de c.a.c.	67
Figura 13. Poste de c.a.c.	67
Figura 14. Árbol de cargas de servicio.	69
Figura 15. Árbol de carga máxima.	70
Figura 16. Árbol de carga de tendido y mantenimiento.	71
Figura 17. Árbol de carga de viento extremo.	72
Figura 18. Árbol de carga de construcción.	74
Figura 19. Árbol de carga de contención de fallas.	75
Figura 20. Comparación de esfuerzos con la norma cfe y esfuerzos con la norma asce74.	95
Figura 21. Comparación de momentos con la norma cfe y momentos con la norma asce 74.	97
Figura 22. Comparación de desplazamientos con la norma cfe y desplazamientos con la norma asce 74.	99
Figura 23. Comparación del factor de respuesta de ráfaga con la norma cfe y factor de respuesta de ráfaga con la norma asce 74.	100
Figura 24. Ubicación de las zonas de carga en el Perú.	102

Figura 25. Viento y temperatura para zonas de carga 103

Figura 26. Viento y temperatura para áreas de carga..... 103

Figura 27. Parámetros de entrada y velocidad del viento fluctuante 106

Figura 28. Comparación de resultados de desplazamientos del análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento 108

Figura 29. Comparación de resultados de esfuerzos con cargas de viento y cargas sísmicas..... 110

Figura 30. Comparación de resultados de momentos con cargas de viento y cargas sísmicas 111

Figura 31. Comparación de resultados de desplazamientos con cargas de viento y cargas sísmicas 112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Combinaciones y factores de carga para la condición de carga sin hielo.	38
Tabla 2. Combinaciones y factores de carga para la condición de carga con hielo.	38
Tabla 3. Cargas principales para combinaciones de carga de diseño por resistencia	42
Tabla 4. Operacionalización de variables.	50
Tabla 5. Juicio de expertos	53
Tabla 6. Cargas permanentes en la estructura.....	68
Tabla 7. Carga de servicio y combinaciones de cargas.	68
Tabla 8. Carga máxima y combinaciones de cargas.	69
Tabla 9. Carga de tendido y mantenimiento y combinaciones de cargas.	70
Tabla 10. Carga de viento extremo y combinaciones de cargas.	72
Tabla 11. Carga de construcción y combinaciones de cargas.	73
Tabla 12. Carga de contención de fallas y combinaciones de cargas.	74
Tabla 13. Esfuerzos con carga de servicio CFE.	76
Tabla 14. Momentos con carga de servicio CFE.	77
Tabla 15. Desplazamientos con carga de servicio CFE.	78
Tabla 16. Esfuerzos con carga máxima sin hielo CFE.	79
Tabla 17. Momentos con carga máxima sin hielo CFE.	80
Tabla 18. Desplazamientos con carga máxima sin hielo CFE.	81
Tabla 19. Esfuerzos con carga de tendido y mantenimiento CFE.	82
Tabla 20. Momentos con carga de tendido y mantenimiento CFE.	83
Tabla 21. Desplazamientos con carga de tendido y mantenimiento CFE.	84
Tabla 22. Factor de respuesta dinámica CFE.	84
Tabla 23. Esfuerzos con carga de viento extremo ASCE 74.	85
Tabla 24. Momentos con carga de viento extremo ASCE 74.	86
Tabla 25. Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74.	87
Tabla 26. Esfuerzos con carga de construcción ASCE 74.	88

Tabla 27. Momentos con carga de construcción ASCE 74.....	89
Tabla 28. Desplazamientos con carga de construcción ASCE 74.	90
Tabla 29. Esfuerzos con carga de contención de fallas ASCE 74.	91
Tabla 30. Momentos con carga de contención de fallas ASCE 74.....	92
Tabla 31. Desplazamientos con carga de contención de fallas ASCE 74.....	93
Tabla 32. Factor de respuestas de ráfagas ASCE 74.	93
Tabla 33. Esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74.....	94
Tabla 34. Momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74.....	96
Tabla 35. Desplazamientos con la norma CFE y desplazamientos con la norma ASCE 74.....	98
Tabla 36. Factor de respuesta dinámica con la norma CFE y factor de respuesta de ráfaga con la norma ASCE 74.	100
Tabla 37. Desplazamientos con carga de máxima sin hielo CFE, tomando en cuenta la velocidad fluctuante del viento	107
Tabla 38. Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74, tomando en cuenta la velocidad fluctuante del viento	107
Tabla 39. Esfuerzos con cargas sísmicas	109
Tabla 40. Momentos con cargas sísmicas.....	109
Tabla 41. Desplazamientos con cargas sísmicas	110
Tabla 42. Normalidad, esfuerzos con la norma CFE y ASCE 74.....	113
Tabla 43. Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74), rangos.	114
Tabla 44. Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74), significancia.	115
Tabla 45. Normalidad, momentos con la norma CFE y ASCE 74.	116
Tabla 46. Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74), rangos.	117
Tabla 47. Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74), significancia.	118
Tabla 48. Normalidad, desplazamientos con la norma CFE y ASCE 74.....	119

Tabla 49. Igualdad de varianza, desplazamientos con la norma CFE y desplazamientos con la norma ASCE 74....	120
Tabla 50. Prueba T Student, comparación de medias (desplazamientos con la norma ASCE 74 y desplazamientos con la norma CFE).	121
Tabla 51. Normalidad, factor de respuesta dinámica con la norma CFE y ASCE 74.....	122
Tabla 52. Igualdad de varianza, factor de respuesta dinámica con la norma CFE y factor de respuesta dinámica con la norma ASCE 74.....	123
Tabla 53. Prueba T Student, comparación de medias (factor de respuesta de ráfaga con la norma ASCE 74 y factor de respuesta dinámica con la norma CFE).	124
Tabla 54. Normalidad, presión del viento con la norma CFE y ASCE 74.	125
Tabla 55. Igualdad de varianza, presión del viento con la norma CFE y presión del viento con la norma ASCE 74.	126
Tabla 56. Prueba T Student, comparación de medias (presión del viento con la norma ASCE 74 y presión del viento con la norma CFE).....	127
Tabla 57. Normalidad, desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74.....	128
Tabla 58. Igualdad de varianza, desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74.....	129
Tabla 59. Prueba T Student, comparación de medias (desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74).....	130
Tabla 60. Normalidad, respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas	131
Tabla 61. Igualdad de varianza, respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas	132
Tabla 62. Prueba T Student, comparación de medias (respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas).	133
Tabla 63. Normalidad, respuesta estructural del poste con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74.	135
Tabla 64. Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (respuesta estructural con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74), rangos.....	137
Tabla 65. Prueba de Kruskal-Wallis, comparación de medias (respuesta estructural con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74).	138
Tabla 66. Relación entre longitud integral de escala de turbulencia y factor de respuesta de ráfagas.....	141
Tabla 67. Factor de respuesta dinámica sobre el poste y cables	141
Tabla 68. Factor de respuesta de ráfagas sobre el poste y cables	142

RESUMEN

Objetivo: Evaluar la variación de la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023. **Método:** La investigación por su propósito es aplicada con un enfoque cuantitativo. Por su nivel es explicativa y presenta un diseño cuasi-experimental. La muestra está compuesta por el poste de C.A.C. N.º 3 de la LT 60 KV L622 / L6756, se emplea la técnica de la observación y como instrumento de recolección de datos se utiliza la ficha técnica. Los datos se procesan en el software SAP 2000 y para la contrastación de hipótesis se utiliza el software SPSS. **Resultado:** Los desplazamientos en el poste de C.A.C. son mayores al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE bajo las mismas condiciones de viento en el análisis estático y los desplazamientos en el poste de C.A.C. son mayores al aplicar la carga de viento extremo de la norma ASCE 74 bajo las mismas condiciones de viento en el análisis dinámico. **Conclusiones:** La respuesta estructural del poste de C.A.C., sometido a cargas de viento mediante las normas CFE y ASCE 74 está gobernado por el componente estático del viento, el cual genera mayores esfuerzos, momentos y desplazamiento; así mismo, produce mayor factor de respuesta dinámica en la estructura. La simulación del historial de viento medio, al emplear el análisis tiempo-historia, permite representar con mayor precisión el comportamiento dinámico de la estructura bajo cargas de viento fluctuante.

Palabras clave: Respuesta estructural, CFE, ASCE 74

ABSTRACT

Objective: To evaluate the variation in the structural response of a high-voltage CAC pole subjected to wind loads using the ASCE 74 and CFE methods in the district of San Martin de Porres 2023. **Method:** Due to its purpose, this research is applied with a quantitative approach. Its level of research is explanatory and presents a quasi-experimental design. The sample consists of CAC pole N.º 3 of the 60 KV L622 / L6756 transmission line. Observational techniques are used, and the data collection tool is a technical sheet. The data are processed in SAP 2000 software, and SPSS software is used for hypothesis testing. **Results:** The displacements on the CAC pole. are greater when applying the CFE standard stringing and maintenance load under the same wind conditions in the static analysis, and the displacements in the CAC pole are greater when applying the ASCE 74 standard extreme wind load under the same wind conditions in the dynamic analysis. **Conclusions:** The structural response of the CAC pole subjected to wind loads according to the CFE and ASCE 74 standards is governed by the static component of the wind, which generates greater stresses, moments, and displacements; it also produces a greater dynamic response factor in the structure. Simulating the mean wind history, using time-history analysis, allows for a more accurate representation of the dynamic behavior of the structure under fluctuating wind loads.

Keywords: Structural response, CFE, ASCE 74

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

Las líneas de transmisión de energía eléctrica son un componente clave en el desarrollo de las sociedades modernas. “Las líneas de transmisión llevan potencia desde las estaciones de generación hasta las estaciones de recepción” (Haper, 1978 como se citó en Nasimba et al., 2020). La disponibilidad ininterrumpida de energía eléctrica exige la construcción de estructuras de líneas de transmisión que puedan resistir amenazas naturales severas.

Estas estructuras deben diseñarse para resistir diferentes tipos de cargas ambientales, incluidos los efectos del viento. El campo de velocidad del viento sinóptico consta de una componente media que es estática y una componente fluctuante (turbulenta), que varía con el tiempo. La componente turbulenta puede desencadenar una respuesta dinámica de la estructura, que puede conducir a un fallo por el efecto ráfaga.

Existen investigaciones donde se evalúa la respuesta estructural de los soportes de las líneas de transmisión bajo un comportamiento estático, pero no se toma en cuenta la acción dinámica del viento al momento de desarrollar los proyectos de ampliación del sistema de transmisión eléctrica en nuestro país. Nuestro país, posee un clima variado en todo su territorio y la ocurrencia de tormentas es común, pero, sumado a estas tormentas el cambio climático a causa del fenómeno invernadero, generaran fenómenos naturales como viento downburst que son los causantes de fallas en las líneas de transmisión en todo el mundo.

“Si una torre se derrumba, todo el sistema de suministro de energía se paraliza, lo que resulta en cortes de energía en grandes áreas, lo que no solo afecta gravemente nuestra vida normal, sino que también causa pérdidas financieras inconmensurables” (Tian et al., 2020).

“Las líneas aéreas de transmisión son vulnerables a una amplia gama de factores ambientales en particular al viento, la lluvia, el hielo y la nieve” (Solheim et al. 2016, como se citó en Zhu et al., 2021). Las investigaciones sobre las líneas de transmisión se basan en el rendimiento de las líneas de transmisión sometidos a cargas de viento, que junto con otros tipos de eventos son responsables del 80 % de las fallas relacionadas con el clima (I. Ibrahim et al., 2019).

1.2. Descripción del problema

“En China, en 2005; 18 torres de transmisión que transportaban líneas de 500 KV y otras 60 torres que transportaban líneas de 110 KV colapsaron por fuertes vientos como ráfagas, tornados y tifones” (Zhang, 2006). Para Shu et al. (2021) los vientos extremos no sinópticos representan una mayor parte de los daños para las líneas de transmisión. (Hawes & Dempsey, 1993) informaron que más del 90% de las fallas de las líneas de transmisión en Australia estaban asociadas con tormentas eléctricas.

Con el desarrollo de la economía, la demanda de suministro de energía continúa creciendo, y el aumento en la altura de las torres de transmisión y la longitud de las líneas de transmisión hace que estas estructuras sean más sensibles a las cargas de viento (Sun et al., 2020). En condiciones climáticas y del terreno extremas, la probabilidad de daño de la torre de transmisión aumenta (Holmes et al., 2008). Sin embargo, el diseño de las torres de transmisión en muchas regiones del mundo no tiene en cuenta el impacto de la carga del viento de alta intensidad, como las ráfagas descendentes (Yang et al., 2014).

En el pasado, el análisis de respuesta de vibración inducida por el viento del sistema de línea de torre de transmisión se enfocaba principalmente en el campo de viento de la capa límite atmosférica (ABL), y el valor de la carga de viento de diseño en el código actual se basa

principalmente en este tipo de viento (Fang et al., 2022). Sin embargo, los datos meteorológicos y la información estadística relevante (Chay et al., 2006; Holmes & Oliver, 2000; Letchford et al., 2002; Solari, 2014) muestran que la mayor parte de la velocidad del viento de diseño en áreas sin tifones proviene de vientos extremadamente fuertes, como las ráfagas descendentes generadas por tormentas eléctricas.

Para A. M. Ibrahim (2017), la seguridad de las estructuras de las líneas de transmisión no sólo se ve amenazada por los vientos de gran intensidad (HIW), sino que las excitaciones dinámicas de las líneas de transmisión causadas por las cargas de viento sinóptico se consideraron la causa de los fallos de las líneas de transmisión, como informaron (C. Q. Li, 2000; Savory et al., 2001; H. Li & Bai, 2006).

Para Quiñonez et al. (2019, como se citó en Itusaca et al., 2023), las edificaciones en la ciudad de Juliaca no están exentas a la acción del viento, debido a que llegan a experimentar velocidades del viento de hasta 126 km/h. Esta condición aumenta la exposición de las estructuras, sobre todo aquellas que por sus características propias de construcción o por fallas de diseño presenten mayor vulnerabilidad a las cargas debidas al viento, lo que ocasiona que aumente el riesgo para la vida y salud de las personas.

Según Calderón et al. (2016), la intensidad de vientos que predominó en la bahía de Paracas en los meses de agosto y setiembre del 2008 fue en el rango de 8.8 – 11.1 m/s llegando incluso a los 34.72 m/s (124.99 km/h). Con este registro histórico de la velocidad del viento en Paracas, existe el riesgo de falla de algunas estructuras donde no se considera en los diseños los registros máximos de la velocidad del viento.

Según el mapa de isotacas, las velocidades extremas del viento en km/h con un periodo de retorno de 50 años, muestran que los postes de C.A.C. de alta tensión en estudio (distrito de San Martín de Porres) están afectadas por una velocidad básica de diseño de 60 km/h, pero muy cerca de la zona en estudio especialmente en el distrito de Cercado del Callao la velocidad básica de diseño alcanza los 90 km/h (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2021). Para la investigación se tomará la velocidad básica de diseño del Cercado del Callao; debido al cambio climático que se está presentando en los últimos años, existe gran probabilidad de presentarse variaciones en las velocidades del viento en la costa peruana; lo que hace importante considerar registros históricos cercanos a las zonas de estudio de la velocidad del viento de diseño para de esa forma mejorar los diseños de las estructuras expuestas a la acción del viento.

1.3. Formulación del problema

1.3.1. Problema general

¿En qué medida varía la respuesta estructural del poste de concreto armado centrifugado de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la American Society of Civil Engineers 74 y la Comisión Federal de Electricidad, en el distrito de San Martín de Porres 2023?

1.3.2. Problemas específicos

- ¿En qué medida varían los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?
- ¿En qué medida varían los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?

- ¿En qué medida varían los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martin de Porres 2023?
- ¿En qué medida varía el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martin de Porres 2023?
- ¿En qué medida varía la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el Código Nacional de Electricidad, en el distrito de San Martin de Porres 2023?
- ¿En qué medida varían los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martin de Porres 2023?
- ¿En qué medida varía la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martin de Porres 2023?

1.4. Antecedentes

Se tiene las siguientes investigaciones:

1.4.1. Internacionales

García et al. (2018) “Análisis estructural de postes para soporte de líneas de transmisión de energía eléctrica”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo elaborar un modelo numérico para representar el comportamiento de un poste de madera que sirven como soporte de líneas de transmisión de energía eléctrica de media tensión en la Provincia de Misiones; para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo no experimental, donde el modelado

numérico del poste de madera se realiza en un software comercial y la acción dinámica del viento es considerada como un proceso estocástico; concluyendo que, los desplazamientos para el caso de empotramiento perfecto del poste en el suelo tuvo los siguientes resultados: a una velocidad de 5 m/s el desplazamiento es 0.2 m, a una velocidad de 10 m/s el desplazamiento es 0.25 m, a una velocidad de 15 m/s el desplazamiento es 0.31 m y a una velocidad de 20 m/s el desplazamiento es 0.41. En relación a las tensiones se obtuvieron valores máximos de tensiones en la línea de empotramiento que varían entre 7.44 N/mm² y 8.1 N/mm² los cuales están lejos a los valores de Torrán et al. (2009) pero muy cercanos al límite de 8.8 N/mm² definido en el CIRSOC 601 (2016) como valor de diseño.

Fu et al. (2020) “Gust Response Factor of a Transmission Tower Under Typhoon”. En este artículo científico los autores tuvieron el objetivo de evaluar los factores de respuesta de ráfagas (GRF) de una torre de transmisión bajo vientos de alta intensidad (HIW); para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo no experimental, que involucró modelar en un programa computacional una torre de transmisión y someterlo a cargas de vientos de alta intensidad, además, comparo los resultados con los datos del sistema de monitoreo de salud estructural (SHM) de las torres de transmisión; concluyendo que, tanto la medición de campo como los resultados de la simulación muestran que los GRF bajo los tifones son más grandes (mayor a 1.5) que aquellos bajo el viento sinóptico (1.29 – 1.5) y que los GRF recomendados en el estándar chino (1.29) subestiman las respuestas máximas. Finalmente, se realiza un análisis paramétrico que demuestra que la intensidad de la turbulencia, la velocidad del viento y el exponente de la ley de potencia tienen grandes efectos en las GRF de las torres de transmisión.

Guo et al. (2021) “Wind tunnel tests and dynamic analysis of wind-induced response of a transmission tower on a Hill”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo analizar la resistencia al viento y las respuestas dinámicas de la torre de transmisión debido a la complejidad estructural; para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo no experimental que involucró hacer ensayos de túnel de viento y simulaciones numéricas para analizar el campo de viento de la colina y las respuestas dinámicas de la torre de transmisión construida sobre él; concluyendo que, el valor máximo del desplazamiento de la torre es mayor cuando la pendiente de la colina es de 25° (0 - 0.225 m) en comparación cuando la pendiente de la colina es de 15° y 35° . Los resultados amplían el conocimiento sobre las pruebas de túnel de viento en colinas de diferentes terrenos y brindan una comprensión integral de los efectos interactivos entre la colina y la torre de transmisión existente con respecto a las características del campo de viento y las respuestas dinámicas estructurales.

Azzi et al. (2021) “Aeroelastic modeling to study the wind-induced response of a self-supported lattice tower”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo ampliar el estudio de la vibración del viento cruzado de las torres de celosía y el amortiguamiento aerodinámico relevante, de esta forma llenar el vacío existente en la literatura y avanzar en el conocimiento de la respuesta de la estructura reticular; para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo experimental que involucró construir una torre de celosía autosoportada a escala de 1:50, la torre se probó a varias velocidades del viento que van desde 50 m/s a 92 m/s para diferentes direcciones del viento; concluyendo que la cortante máxima en la base de la torre de transmisión a una velocidad del viento de 92 m/s tuvo su mayor valor en la dirección de 90° , siendo el valor de 38 KN aproximadamente y el momento máximo en la base de la torre de transmisión a una velocidad de 92 m/s tuvo su mayor valor en la dirección de 15° , siendo el valor

de 350 KN.m aproximadamente, además el valor del factor de respuesta de ráfagas (GRF) de la torre de transmisión (G_T) dio como resultado 0.88.

Fu et al. (2021) “On-Site measured gust response factors of transmission towers based on SHM system”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo estimar el factor de respuesta de ráfagas (GRF) de torres de transmisión durante vientos monzón y bajo tifón; para ello se valieron de un diseño metodológico descriptivo no experimental que involucró comparar diferentes métodos para obtener los GRF y posteriormente determinar los GRF con mediciones in situ de vientos monzón y valores de vientos durante tifones observados; concluyendo que, los resultados de las mediciones muestran que a mayor intensidad de turbulencia, mayor GRF. A velocidades de viento bajas, cuanto mayor es la velocidad del viento, menor es la GRF; a la inversa, a velocidades de viento altas, una mayor velocidad del viento conduce a una mayor GRF con una velocidad crítica del viento de aproximadamente 9 m/s. La mayoría de las GRF medidas son mayores que los valores estándar, lo que indica que las normas actuales subestiman las GRF de las torres de transmisión. En las zonas propensas a los tifones, se recomienda que la GRF de una torre de transmisión sea de al menos 3,0 para garantizar la seguridad estructural.

Yao et al. (2022) “Wind tunnel tests of an aeroelastic model of a long-span transmission tower”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo proponer un método de medición del desplazamiento de la torre basado en visión; para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo experimental donde se realizaron ensayos en túnel aerodinámico con un modelo aeroelástico. El análisis modal de la torre se llevó a cabo mediante el método de los elementos finitos y, a continuación, se diseñó y fabricó su modelo aeroelástico basándose en el método de la rigidez discreta; concluyendo que, 1) El desplazamiento medio (en lo alto de la torre)

en la dirección Y e X cuando el ángulo de incidencia del viento es 0° es casi similar en ambas direcciones, además los desplazamientos aumentan con la altura y el aumento de la velocidad, como en el caso de la velocidad de 63.15 m/s a una altura de 220 m el desplazamiento es 0.22 m aproximadamente y a una altura de 359.5 m el desplazamiento es 0.41 m , 2) El factor de respuesta de ráfaga (GRF) de la torre en dirección X es 1.33 y el factor de respuesta a ráfaga en dirección Y es 1.37.

Azzi et al. (2022) “Aeroelastic modeling to investigate the wind induced response of a multi span transmission lines system”. En este artículo científico los autores tuvieron como objetivo evaluar los coeficientes de amortiguación aerodinámica a lo largo del viento basados en experimentos y compararlos con sus homólogos teóricos, Se compararon dos modelos aeroelásticos: (i) una torre de celosía autoportante y (ii) un sistema de líneas de transmisión de varios vanos; para ello se valieron de un diseño metodológico explicativo experimental que involucró construir un sistema de líneas de transmisión de varios vanos compuestos por tres torres y cuatro vanos de conductores a escala de 1:50, el cual fue sometido a pruebas aeroelásticas, con velocidades de viento desde 35 m/s hasta 78 m/s en distintas direcciones; concluyendo que la cortante máxima en la base del sistema de la línea de transmisión a una velocidad del viento de 78 m/s tuvo su mayor valor en la dirección de 60° , siendo el valor de 370 KN aproximadamente y el momento máximo en la base del sistema de la línea de transmisión a una velocidad de 78 m/s tuvo su mayor valor en la dirección de 15° , siendo el valor de 4000 KN.m aproximadamente, además los valores del factor de respuesta de ráfagas de las torres del sistema de líneas de transmisión (GRF_T) sugeridos por ASCE 74 (2010) dieron como resultado 0.88 y los valores del factor de respuesta de ráfagas en los conductores del sistema de líneas de transmisión (GRF_C) dieron como resultado 0.74.

1.5. Justificación de la investigación

1.5.1. Justificación teórica

Esta investigación se realiza con el propósito de, aportar al conocimiento existente sobre la respuesta estructural de postes de C.A.C. bajo la acción del viento, cuyos resultados pueden ser tomados como una metodología para diseñar estructuras de soportes de líneas de baja y media tensión. Así mismo, esta investigación puede ser incorporado como conocimiento a la ingeniería estructural y al diseño de las líneas de transmisión eléctrica.

1.5.2. Justificación práctica

Esta investigación se realiza porque existe la necesidad de mejorar el diseño de las estructuras de soporte de las líneas de transmisión de alta tensión bajo la acción del viento, utilizando el método de los elementos finitos.

1.5.3. Justificación social

Es importante el análisis de las estructuras de soporte de las líneas de transmisión bajo la acción del viento; debido al incremento de la población y al crecimiento de las industrias que generan la necesidad de tener mayor cantidad de infraestructura de transmisión eléctrica, pero estas infraestructuras deben presentar modificaciones para garantizar el abastecimiento de electricidad. Estas modificaciones de las estructuras de soportes, pueden generar ciertos cambios en el comportamiento estructural por la acción el viento, y que, a su vez produciría un colapso de la estructura de soporte, dando como resultado una falla en el sistema de la transmisión que deja sin electricidad a un pueblo, ciudad y región.

1.6. Limitaciones de la investigación

Para realizar esta investigación se tendrá limitaciones respecto a la obtención de la información de los materiales que conforman los postes de C.A.C. dado que las instituciones privadas del subsector eléctrico de Lima no entregan información relacionado a los proyectos que ejecutan. La información de los postes de C.A.C. se tomarán de las páginas web de los fabricantes. Respecto a los datos de la geometría, ubicación y otras características de los postes de C.A.C. y conductores, estos podrán tomarse de campo.

1.7. Objetivos de la investigación

1.7.1. Objetivo general

Evaluar la variación de la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

1.7.2. Objetivos específicos

- Evaluar la variación de los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Evaluar la variación de los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Evaluar la variación de los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Evaluar la variación del factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Evaluar la variación de la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Evaluar la variación de los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Evaluar la variación de la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

1.8. Hipótesis

1.8.1. Hipótesis general

Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

1.8.2. Hipótesis específicas

- Existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Existe diferencia significativa en la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Marco conceptual

2.1.1. Línea de transmisión

La función de la línea de transmisión es llevar la energía producida en las plantas de generación, hacia la zona de distribución eléctrica (Ruiz de Abarca, 2018).

2.1.1.1. Características de una línea de transmisión

Una línea de transmisión eléctrica está compuesta básicamente por cables y estructuras de soporte, que pueden ser de tipo torres de celosía o postes metálicos y/o concreto como las que se estudiarán en esta investigación.

2.1.1.1.1. Estructuras de Soporte

La función principal de las estructuras de transmisión es soportar los cables conductores para la transmisión de energía eléctrica respetando las distancias dieléctricas mínimas requeridas entre estos puntos de apoyo de los cables, teniendo la resistencia mecánica necesaria para soportar las tensiones creadas por los cables y teniendo en cuenta su entorno (Ruiz de Abarca, 2018).

Para Ruiz de Abarca (2018), el tipo de estructuras a utilizar en el diseño y posterior construcción de una línea aérea de transporte viene determinado principalmente por:

- Nivel de tensión eléctrica de servicio
- Calibre del conductor a utilizar
- Número de circuitos necesarios para el enlace con la red eléctrica
- Disposición de fases en el espacio
- Costes o presupuesto asignado para su construcción.

2.1.1.1.2. Componentes de líneas de transmisión

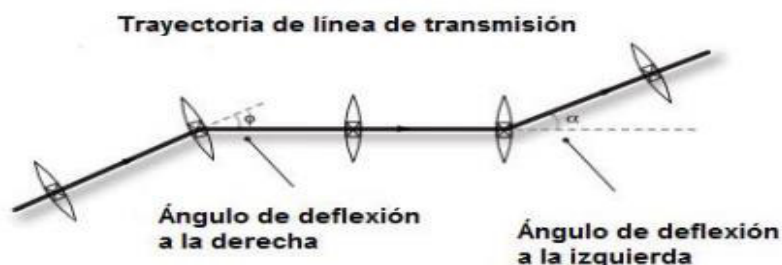
Según Ruiz de Abarca (2018), las estructuras de soporte de una línea de transmisión eléctrica tienen una finalidad distinta, que se refleja en su nombre. Las construcciones de líneas de transmisión se clasifican en los siguientes tipos:

- **Estructura De Deflexión**

Cuando la línea de transmisión cambia de dirección, se utilizan estructuras de deflexión (véase la figura 1). El eje transversal del soporte biseca (divide) el ángulo creado por el conductor, igualando así las tensiones longitudinales de los conductores en los vanos vecinos (Ruiz de Abarca, 2018).

Figura 1.

Vista en planta de los ángulos de deflexión en una línea de transmisión eléctrica de alta tensión.



Nota: Tomado de la Comisión federal de electricidad, 2012. Figura 3.27. pág.44.

- **Estructura De Remate o Anclaje**

Las estructuras de remate se sitúan al principio y al final de una línea de transporte eléctrico, ya sea para conectarla a una subestación o simplemente para marcar el final de la línea; soportan una carga longitudinal muy grande. En consecuencia, las cargas que influyen en las torres de remate se limitan a un solo vano (un lado de la torre) (Ruiz de Abarca, 2018).

Figura 2.

Torre de remate n°1 saliendo de la subestación Santo Tomas hacia subestación El Pedregal



Nota: Tomada de Ruiz de Abarca, 2018.

- **Estructura De Suspensión**

Esta estructura corresponde al tipo autoportante, lo que significa que sólo transmite su peso a los cimientos; está diseñada para soportar únicamente cargas verticales y la fuerza ejercida por la presión del viento que actúa perpendicularmente a la dirección del trazado de la línea de transmisión (Ruiz de Abarca, 2018).

Figura 3.

Torre N° 13 en suspensión, sobre la 17 av. norte ciudad Merliot (a la izquierda). Torre N° 6 en suspensión, línea Soyapango-San Martín (a la derecha).



Nota: Tomada de Ruiz de Abarca, 2018.

2.1.2. Postes de C.A.C.

Son de forma troncocónicas y la producción de los Postes de Concreto Armado Centrifugado (C.A.C.) se basa en la aplicación controlada de la fuerza centrífuga creada por cuerpos giratorios. El poste de hormigón armado centrifugado es un producto formado por componentes inorgánicos que, combinados en las proporciones adecuadas, dan como resultado un producto de consistencia compacta, fuerte resistencia a la compresión y a la adherencia, y mayor uniformidad en la distribución de la mezcla. Además, proporcionamos a los postes acabados superficiales exteriores lisos y consistentes, lo que da como resultado un producto de alta calidad (Escarsa, 2020).

El acabado de los postes debe ser del color natural del hormigón en todas sus superficies, las cuales deben estar libres de porosidades e imperfecciones causadas por defectos de fabricación, tales como escorias causadas por mala fluidez del hormigón, burbujas causadas por mala compactación del material, grietas no capilares, desprendimientos de hormigón, etc. Los orificios no deben presentar salientes, estar obstruidos, ni tener porosidades o desprendimientos en su interior. La NTP 339.027 se aplica a los postes de concreto armado centrifugado (Escarsa, 2020).

2.1.2.1 Comportamiento estructural

El comportamiento estructural está enfocado en una distribución simple, regular con continuidad vertical y horizontal, buena configuración estructural y excelente relación entre las propiedades mecánicas y dinámicas de los sistemas estructurales que resiste las cargas laterales y a la interacción suelo – estructura (Zúñiga & Terán, 2012).

2.1.2.1.1 Esfuerzo

El esfuerzo de corte es una magnitud de fuerza que representa los posibles puntos de falla de una estructura por corte (Beer, 2014).

2.1.2.1.2 Momento

El momento flector es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan en la porción de viga a la izquierda o a la derecha de una sección, respecto al eje perpendicular al plano de las fuerzas y que pasa por el centro de gravedad, centroide de la sección considerada. Análíticamente viene dado por: (Pytel, 2012).

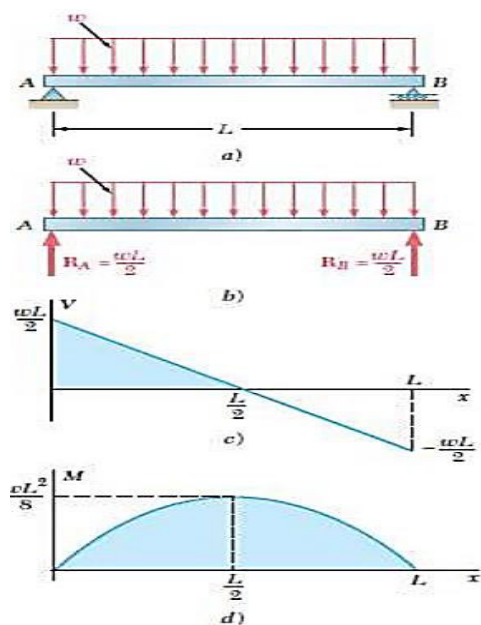
$$M = \sum M_{IZ} + \sum M_{Der}$$

Ecuación 1

El momento flector es producto de la operación mostrada en la figura:

Figura 4.

Apoyos



Nota: Tomada de Beer J., 2014.

2.1.2.1.3. Desplazamientos

Deformaciones de las estructuras bajo la acción de un sismo las cuales deben ser limitados con el fin de no causar inconvenientes en el funcionamiento de la estructura ni poner en peligro la seguridad pública cuando se produzcan sismos intensos (Solis, 2016, p.71).

2.1.2.1.4. Factor de respuesta dinámica

Es un parámetro que ajusta la presión ejercida por el viento en estructuras para considerar los efectos de las cargas dinámicas, como las ráfagas y la fluctuación de velocidad del viento, así como la interacción entre el viento y las propiedades dinámicas de la estructura.

2.1.2.1.5. Factor de respuesta de ráfagas

Un término comúnmente utilizado en ingeniería de viento es el factor de respuesta de ráfaga, y corresponde a un método simplificado para estimaciones simples de cargas dinámicas por viento sobre estructuras. El factor de respuesta de ráfaga G , puede definirse como la relación máxima entre la respuesta esperada (como por ejemplo deflexión o fatiga) de una estructura en un intervalo de tiempo definido y la media o respuesta de tiempo media en el mismo periodo de tiempo. La expresión para el factor de ráfaga es variable según cada código o norma en particular, pero en general depende del factor máximo (Beltrán, 2011).

2.1.3. Solicitaciones de carga sobre las estructuras

2.1.3.1. Generalidades

Todas las estructuras están diseñadas para resistir fuerzas dinámicas distintas de su propio peso, como el viento, los terremotos y las cargas de las líneas de transmisión. Como estas construcciones son ligeras, no se cree que el impacto sísmico sea significativo. Según la norma ASCE 74, no es necesario diseñar las estructuras de transmisión para cargas sísmicas porque,

históricamente, se ha demostrado un comportamiento adecuado ante movimientos sísmicos siempre que no haya problemas geotécnicos, siendo estas cargas inferiores a las establecidas por el viento o la rotura de cables (Vivanco, 2018).

2.1.3.2. Cargas según norma CFE J6100-54

2.1.3.2.1. Cargas

Según CFE J6100-54 (2019), las principales cargas a considerar en el diseño de postes de transmisión son:

- a) Las cargas soportadas por los cables. Son causadas por:
 - La deflexión.
 - Esfuerzos mecánicos.
 - El peso propio.
 - La fuerza del viento.
- b) El efecto del viento sobre el poste.
- c) La masa propia del poste.
- d) El peso total de las cadenas aislantes y de los herrajes.
- e) La construcción, el tendido y el mantenimiento.
- f) Formación de hielo (cuando se especifique en las Características Particulares de los criterios de licitación).

2.1.3.2.2. Identificación de las cargas

Según CFE J6100-54 (2019), en las condiciones de carga empleadas para el análisis de los postes se identifican las cargas con las siguientes letras:

- PC = Carga vertical en kN debida a la masa del conductor y del cable de guarda.

- PCH = Carga vertical en kN debida a la acumulación de hielo en los cables.
- PA = Carga vertical en kN debida a la masa de aisladores, herrajes y accesorios (ver normas de referencia CFE 52210-02 y CFE 2C301-15).
- PE = indica la masa propia del poste en kN.
- PVM = Carga vertical de montaje y/o mantenimiento, que para los brazos de alambre de guarda es de 2.9 kN y para los brazos de alambre conductor es de 4.9 kN.
- VC = Carga transversal en kN causada por la acción VM sobre los cables de guarda y conductores.
- VCH = Carga transversal en kN causada por la acción del viento VR sobre los cables de guarda y conductores en presencia de hielo acumulado.
- VM = Velocidad máxima del viento regional para un período de 50 años.
- VR = significa velocidad del viento reducida. Para un plazo de retorno de diez años, se considera equivalente al 50% de la velocidad regional más elevada de la zona de la línea.
- VE = Fuerza transversal en kN creada por el viento VM que actúa sobre el poste.
- VEH = Fuerza transversal debida a la acción del viento VR sobre el poste, en kN.
- FL = Fuerza longitudinal en kN debida a la tensión del cable. Para las condiciones de carga de servicio y tendido, se debe considerar la tensión diaria EDS (Every Day Strength) en los cables; para la condición de carga máxima, se debe utilizar la tensión obtenida con las presiones del viento VM; y para la condición máxima con hielo, se debe considerar la tensión aplicando VR y con la presencia de hielo, si lo hubiera.
- CT = Componente transversal, medida en kN, causada por la tensión del cable debida a la deflexión de la línea. Para las condiciones de carga de servicio y tendido debe considerarse la tensión diaria EDS en los cables, para la condición de carga máxima debe utilizarse la tensión obtenida con las presiones de viento VM, y para la condición máxima con hielo debe considerarse la tensión aplicando VR y considerando la presencia de hielo, si existe.

2.1.3.2.3. Combinaciones y factores de carga

Las combinaciones y los factores de carga se indican en las tablas 1 y 2.

Tabla 1.

Combinaciones y factores de carga para la condición de carga sin hielo.

Hipótesis de carga	Combinación de carga	Deformación permisible para fustes (%)	Viento
De servicio (suspensión)	(PC + PA + PE) 1.0	2	---
De servicio (deflexión)	(PC + PA + PE + CT) 1.0	3	---
Servicio (remate)	(PC + PA + PE + FL + CT) 1.0	3	---
Servicio (transición)	(PC + PA + PE + FL + CT) 1.0	1	---
Máxima (suspensión)	(PC + PA + PE + VC + VE) 1.16	---	VM
Máxima (deflexión)	(PC + PA + PE + VC + VE + CT) 1.26	---	VM
Máxima (remate)	(PC + PA + PE + VC + VE + FL + CT) 1.26	---	VM
Tendido y mantenimiento	(PC + PA + PE + PVM + FL + CT) 1.0	---	---

Nota: Tomado de CFE J6100-54, (2019).

Tabla 2.

Combinaciones y factores de carga para la condición de carga con hielo.

Hipótesis de carga	Combinación de carga	Viento
Máxima (suspensión)	(PCH + PA + PE + VCH + VEH) 116	VR
Máxima (deflexión)	(PCH + PA + PE + VCH + VEH + CT) 126	VR
Máxima (remate)	(PCH + PA + PE + VCH + VEH + FL) 126	VR

Nota: Tomado de CFE J6100-54, (2019).

2.1.3.3. Cargas según norma ASCE 74

Según Rojas (2017), las cargas de viento se evaluaron utilizando la técnica ASCE 74/2010, teniendo en cuenta la dirección en la que el viento interceptaba la estructura, ya fuera en dirección transversal, longitudinal o a 45°.

2.1.3.3.1. Cargas permanentes

Según Rojas (2017), se consideran cargas persistentes las relacionadas con el peso de las siguientes partes de la línea: cables, aisladores, accesorios, soportes y cimentaciones.

- **Gravivano**

El vano de gravedad es la longitud del vano que debe considerarse al calcular la fuerza transferida al soporte debido a la componente vertical del peso consiguiente de los conductores (Rojas, 2017).

- **Carga vertical debida al peso del conductor**

La fuerza vertical que cada conductor transmite a su punto de sujeción.

2.1.3.3.2. Cargas por viento

Según Rojas (2017) se tendrá consideración especial durante el diseño de los apoyos, para vientos actuantes en un rango de direcciones, así:

- **Transversal:**

Viento que actúa horizontalmente, normal a la línea, en apoyos situados en tramos rectos, y en la dirección de la bisectriz del ángulo en apoyos situados en ángulos de deflexión de la línea.

- **Longitudinal:**

Viento que opera horizontalmente en la dirección de la línea para apoyos situados en tramos rectos y en la dirección normal a la bisectriz del ángulo para apoyos situados en ángulos de deflexión de la línea.

- **Oblicuo:**

Viento que opera horizontalmente en un ángulo de 45° respecto a la dirección de la línea para apoyos situados en tramos rectos y en ángulos de deflexión de la línea respecto a la bisectriz del ángulo para apoyos situados en los ángulos de deflexión de la línea.

2.1.3.3.3. Carga transversal por ángulo

Las tensiones mecánicas de los apoyos situados en los puntos de deflexión se ven afectadas significativamente por los cambios de dirección de una línea de transmisión. Esto se debe a la suma vectorial de las tracciones sobre los conductores de los vanos próximos al apoyo (Rojas, 2017).

Según Rojas (2017) la expresión para calcular la carga transversal por ángulo es la que sigue:

$$T_{\Phi} = (H_2 + H_1) * \sin \frac{\Phi}{2} \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- T_{Φ} : es la fuerza del viento que actúa sobre los conductores en la dirección del eje transversal del apoyo (daN).
- H_1 : es la componente horizontal de la tracción sobre el conductor en el tramo aguas arriba del apoyo (daN).
- H_2 : es la componente horizontal de la tracción sobre el conductor a continuación del apoyo (daN).
- Φ : es el ángulo de desviación de la línea (por cambio de dirección) (°).

Para calcular H_1 y H_2 se utilizarán las condiciones de temperatura y sobrecarga en las que se evalúan las cargas sobre los apoyos.

2.1.3.3.4. Hipótesis de carga – estructura de suspensión

Las hipótesis de cargas consideradas son: viento extremo, construcción y mantenimiento, y contención de fallas (Rojas, 2017).

- **Viento extremo**
 - ✓ Viento en los conductores

- Componente vertical
- Componente transversal
- ✓ Viento en la estructura
- **Viento extremo a los 30°**
 - ✓ Viento en los conductores
 - Componente vertical
 - Componente transversal
 - ✓ Viento en la estructura
- **Viento extremo con hielo**
 - ✓ Viento en los conductores
 - Componente vertical
 - Componente transversal
 - ✓ Viento en la estructura
- **Construcción y mantenimiento**
 - ✓ Carga en los conductores
 - Componente vertical
 - Componente transversal
 - ✓ Carga en la estructura
- **Contención de fallas**
 - ✓ Carga en conductores
 - Cable roto
 - Cable intacto

Para la comparación y análisis de resultados en la presente investigación, en lo que respecta a las combinaciones y factores de carga con la norma ASCE 74 (cuarta edición), se tomarán las hipótesis de carga de viento extremo (suspensión) y de construcción y mantenimiento (suspensión).

2.1.3.3.5. Combinaciones de carga

Las combinaciones de cargas a considerar serán de la norma ASCE 7-16.

Tabla 3.

Cargas Principales para Combinaciones de Carga de Diseño por Resistencia

Ítem	Combinación de cargas
1	1.4D
2	1.2D + 1.6L + 0.5(L, or S or R)
3	1.2D + 1.6(L, or S or R) + (L or 0.5W)
4	1.2D + 1.0W + L + 0.5(L, or S or R)
5	0.9D + 1.0W

Nota: Tomado de la tabla C.2.3-1 del ASCE 7-16, (2017).

Donde:

- D: Carga muerta
- L: Carga viva
- Lr: Carga en techos
- S: Carga de nieve
- R: Carga de lluvia
- W: Carga de viento

Para verificar la capacidad del poste para resistir los efectos de un evento extraordinario (ruptura de cable), se debe considerar la siguiente combinación de carga de gravedad (ASCE 74, 2020):

$$(0.9 \text{ or } 1.2) * D + A_k + 0.5L + 0.2S$$

Donde:

- A_k es la carga o efecto de carga resultante del evento extraordinario A.

2.1.4. Normativas sobre análisis y diseño estructural por acción del viento en líneas de transmisión eléctrica

2.1.4.1. Manual de diseño de obras civiles, Diseño por viento, Comisión Federal de Electricidad 2020

El manual de diseño de obras civiles explica cómo calcular las velocidades del viento en la República Mexicana y las fuerzas mínimas correspondientes que deben aplicarse para el diseño por viento de diversas edificaciones del sector eléctrico. Asimismo, a menos que se especifique lo contrario, todos los enfoques suponen que la respuesta estructural a la acción del viento es lineal (CFE, 2020).

Es importante destacar que las recomendaciones presentadas en el manual de diseño de obras civiles deben ser utilizadas para revisar la seguridad del sistema estructural, el cual debe soportar los efectos de las fuerzas generadas por las presiones (empuje o succión) producidas por el viento sobre las superficies del edificio expuestas al mismo. Además, se debe realizar un diseño local de los elementos expuestos directamente a la acción del viento, tanto los que forman parte del sistema estructural (cordones, diagonales, zancas, entre otros) como los que son sólo un recubrimiento (láminas de cubierta, elementos de fachada y techo, vidrios de ventanas, entre otros) (CFE, 2020).

2.1.4.2. Guidelines for electrical transmission line structural loading, fourth edition, ASCE manuals and reports on engineering practice N° 74

La presente guía para el diseño de soportes de líneas de transmisión posee ciertas consideraciones que proporcionan diseños rentables y confiables para estructuras de líneas de transmisión; para ello se deben cumplir con lo siguiente: 1) Procedimientos y definiciones uniformes en toda la industria para el cálculo de cargas. 2) Diseñar procedimientos que proporcionen una confiabilidad mínima aceptable para todas las líneas. 3) Procedimientos para calcular cargas de diseño y factores de carga independientes de los materiales de las estructuras de soporte. 4) Ajuste de los criterios de carga en algunas de las estructuras o componentes críticos de una línea para garantizar que una falla inicial no desencadene la falla en cascada de múltiples estructuras (efecto dominó). 5) Incentivos para desarrollar mejores bases de datos locales para fenómenos meteorológicos como el viento y el hielo. 6) Siempre se tendrán en cuenta las cargas reglamentadas, que pretenden proporcionar niveles mínimos para la seguridad pública (ASCE, 2020).

2.1.4.3. Código Nacional de Electricidad 2011

“El código nacional de electricidad indica que, las cargas de viento horizontales o presiones debidas al viento deberán aplicarse a las áreas proyectadas de los alambres que están siendo sostenidos y a las estructuras de soporte y aisladores” (CNE, 2011).

2.1.5. Análisis dinámico

La componente dinámica de la carga de viento es la que corresponde al valor de la componente fluctuante de la velocidad del viento. Su magnitud influye en gran medida en la respuesta dinámica de la estructura debido a las pulsaciones provocadas por el viento. Para realizar

una evaluación numérica de estos efectos, es preciso simular series temporales representativas de las velocidades fluctuantes del campo de flujo, que consideren la aleatoriedad espacial y temporal del viento atmosférico durante la ocurrencia de un fenómeno extremo determinado, como, por ejemplo, un huracán (Reyes-Ramírez et al., 2022).

2.1.6. Análisis estático o de fuerzas estáticas equivalentes

2.1.6.1. Fuerza Cortante en la base

Este método representa las solicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación (Reglamento nacional de edificaciones, 2019).

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

- V = Cortante basal
- Z = Factor de zona
- U = Categoría de la edificación
- C = Factor de amplificación sísmica
- S = Factor de suelo
- R = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas
- P = Peso

2.1.6.2. Periodo fundamental de vibración

Se estima de la siguiente forma:

$$T = \frac{h_n}{c_T} \quad \text{Ecuación 4}$$

2.1.6.2.1. Combinaciones de cargas

$$1.2D + E_{\gamma} + E_h + L + 0.2S$$

2.1.7. Requisitos normados

La deformación permanente causada por la carga no debe superar el 5% de la flecha máxima. Para postes con un factor de seguridad igual a 2, la flecha máxima no debe superar el 6% de la longitud útil del poste (Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual [INDECOPI], 2008).

Si el factor de seguridad es igual a 3, la deformación permanente no debe superar el 5% de la flecha máxima. La flecha máxima no debe superar el 4% de la longitud útil del poste (INDECOPI, 2008).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La investigación por su propósito es aplicada debido a que por medio de la respuesta estructural de los postes de C.A.C. bajo la acción del viento, se busca dar solución a las fallas o colapsos que presentan estas estructuras y afectan el sistema de transmisión eléctrica. Por su enfoque es cuantitativo, debido a que los datos se encuentran en escala de razón, y que los mismos serán trabajados como datos numéricos y mediante métodos estadísticos. Además, Ramírez et al., (2007) menciona que el enfoque cuantitativo considera como objetos y campos de investigación únicamente hechos observables o fenómenos susceptibles de medición, y emplea el método hipotético-deductivo, cuyos procedimientos son: observación, formulación de hipótesis, posterior contraste o comprobación de hipótesis y, por último, correlación de variables para alcanzar el rigor del método científico.

Por su nivel es explicativa; dado que a través de la respuesta estructural de los postes de C.A.C., se demostrará como la componente media y turbulenta del viento afecta el comportamiento estructural y dinámico de los postes de C.A.C. y a su vez, nos dará un amplio conocimiento para diseñar estas estructuras de soporte de las líneas de transmisión en lugares donde se presenten vientos sinópticos y no sinópticos. Además, es de nivel explicativo, permitiéndonos determinar y controlar las causas y factores que han dado origen a la investigación planteada (Hernández et al., 2014).

Por su diseño es cuasi-experimental y de acuerdo a Hernández et al. (2014) indican que los diseños cuasi experimentales permiten manipular la variable independiente para comparar los efectos sobre la(s) variable(s) dependiente(s), lo que permite comprender mejor lo que ocurre

cuando se buscan mejoras en función de los cambios que pueden producirse al utilizar nuevas metodologías en diversos contextos existentes. Una consideración clave es que, para llamarse cuasi experimental, la muestra debe crearse de forma natural, en lugar de aleatoria, como en los diseños no experimentales.

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población

Como universo tenemos a todos los postes de C.A.C. de alta tensión que hay en el distrito de San Martín de Porres (todos los postes de C.A.C. deben cumplir los requisitos establecidos en la NTP 339.027: 2002 HORMIGÓN (CONCRETO). Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas. 2a Edición); por lo tanto, para esta investigación la población está conformada por los postes 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de C.A.C. de la línea de alta tensión de 60 kilovoltios (KV) L622 / L6756 ubicados en la Av. Tomas Valle en el distrito de San Martín de Porres. Estos postes reúnen las mismas características de los postes de C.A.C. especificados en la norma.

3.2.2. Muestra

Para la muestra se tomó el poste de C.A.C. número 3 de la LT 60 KV L622 / L6756 en el distrito de San Martín de Porres 2023.

3.2.3.1. Muestreo

Con respecto a la muestra que se está tomando se debe mencionar que el muestreo es no probabilístico por conveniencia; debido a que permite encontrar de una manera más sencilla y accesible a la población objetivo (Malhotra, 2008). Se toma en cuenta el poste 3; debido a que los vanos más largos están entre los postes 2 y 4 (postes metálicos), y el dato de la longitud del vano

es importante al momento de considerar las cargas en el análisis estructural de los postes por acción del viento.

3.3. Operacionalización de variables

La operacionalización de variables comienza definiendo conceptualmente la variable de estudio, luego la definición operacional, que es definirla en base a sus indicadores.

Tabla 4.*Operacionalización de variables.*

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala / Niveles de medición
Independiente: Cargas de viento	Una de las amenazas climáticas que, debido a su presencia constante, se encuentra entre las menos observadas pero que por esta razón es imposible de evitar es el viento. Se define como el movimiento horizontal del aire, y ocurre debido a la diferencia de presión del mismo (Rosado Cisneros, 2016).	Las cargas del viento serán determinadas a través de las ecuaciones de las normas CFE 2020 / ASCE 74 y con el apoyo del software Smath Studio.	ASCE 74	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de viento máximo (V50m) • Factor de respuesta de ráfagas (GW) • Fuerza de viento máximo (F50m) 	Razón
			CFE	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad básica de diseño (VD) • Presión dinámica de base (qz) • Factor de respuesta dinámica de la estructura (Fge) • Presión dinámica de la estructura (qze) • Factor de respuesta dinámica de los cables (Fgc) • Presión dinámica de los cables (Pzc) 	Razón

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala / Niveles de medición
Dependiente: Respuesta estructural del poste de alta tensión	Como todo fluido, cuando el viento libre es obstaculizado por un objeto fijo, se desvía para rodearlo. Estos desvíos de flujo producen presiones sobre el objeto o líneas de transmisión (Arroyo Contreras, 2015). Estas presiones del viento hacen que estas estructuras deban ser analizadas en la mayoría de los casos bajo cargas estáticas [...] las vibraciones de interacción entre conductores y estructura como el cambio de velocidad de diseño del viento, no son considerados en las especificaciones actuales de cálculo para el dimensionamiento de la misma. Por lo que es necesario un análisis para detallar las cargas y factores naturales que afectan a las líneas de transmisión en forma dinámica (Wyss et al., 2022).	La acción que generan las cargas del viento sobre los postes de C.A.C. serán evaluados a través de las ecuaciones de las normas CFE / ASCE 74 y también con el método de elementos finitos. Para estos procesos se utilizarán el software Smath Studio y el software SAP 2000.	Comportamiento estructural	Esfuerzos	Razón
				Momentos	Razón
				Desplazamientos	Razón
				Factor de respuesta dinámica	Razón
				Presión del viento	Razón
				Velocidad fluctuante del viento	Razón
				Parámetros de demanda sísmica	Razón

3.4. Instrumentos

Los instrumentos de investigación desempeñan un papel fundamental en la recogida de datos y se utilizan en función de la naturaleza y las características del tema, así como de la meta del objetivo de la investigación. Algunos autores se refieren a ellos como instrumentos de observación, mientras que otros los denominan equipos de medición (Carrasco, 2007, como se citó en Bendezú, 2021).

En esta investigación se empleará la técnica de la observación, dado que con esta técnica se podrá apreciar las características (dimensiones) y el comportamiento estructural del poste de C.A.C. sometido a cargas de viento.

El instrumento que se empleará es la guía de observación – ficha técnica (ver anexo – fichas técnicas), con este instrumento se recolectan los datos y posteriormente se analizan. También se utilizará el instrumento de revisión de documentos.

3.4.1. Validación del instrumento

Para efectos de validación del instrumento, como estrategia de evaluación se empleará el juicio de expertos, que presenta numerosas ventajas, entre ellas la posibilidad de adquirir una amplia y exhaustiva información sobre el tema de investigación y la calidad de las respuestas de los jueces (Cabero y Llorente, 2013); es por ello que, para la validez de los instrumentos se empleará el juicio de tres (3) expertos en base a cinco criterios: Congruencia del ítem, amplitud del contenido, redacción del ítem, claridad-precisión y finalmente pertinencia (García de Yebenés et al., 2009) (ver anexo-validación del instrumento).

Tabla 5.*Juicio de expertos*

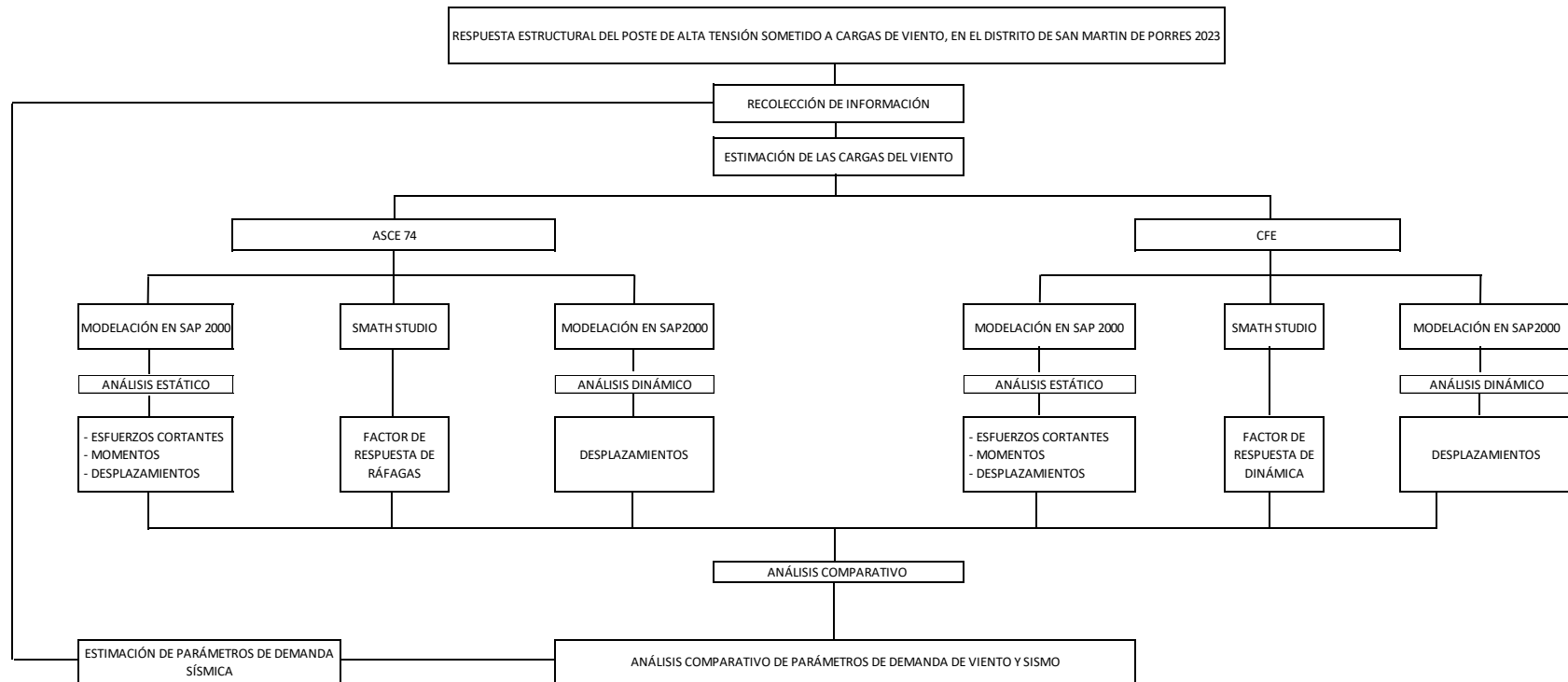
CRITERIOS	INDICADORES	Inaceptable					Mínimamente aceptable			Aceptable				
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1.CLARIDAD	Los ítems están redactados con lenguaje apropiado y libre de ambigüedades acorde con los sujetos muestrales.													
2.OBJETIVIDAD	Las instrucciones y los ítems del instrumento permiten recoger la información objetiva sobre la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental en todas sus dimensiones en indicadores conceptuales y operacionales.													
3.ACTUALIDAD	El instrumento demuestra vigencia acorde con el conocimiento científico, tecnológico, innovación y legal inherente a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental													
4.ORGANIZACIÓN	Los ítems del instrumento reflejan organicidad lógica entre la definición operacional y conceptual respecto a la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental de manera que permiten hacer inferencias en función a las hipótesis, problema y objetivos de la investigación.													
5.SUFICIENCIA	Los ítems del instrumento son suficientes en cantidad y calidad acorde con la variable, dimensiones e indicadores.													
6.INTENCIONALIDAD	Los ítems del instrumento son coherentes con el tipo de investigación y responden a los objetivos, hipótesis y variable de estudio.													
7.CONSISTENCIA	La información que se recoja a través de los ítems del instrumento, permitirá analizar, describir y explicar la realidad, motivo de la investigación.													
8.COHERENCIA	Los ítems del instrumento expresan relación con los indicadores de cada dimensión de la variable: Evaluación y monitoreo de impacto ambiental													
9.METODOLOGÍA	La relación entre la técnica y el instrumento propuestos responden al propósito de la investigación, desarrollo tecnológico e innovación.													
10.PERTINENCIA	La redacción de los ítems concuerda con la escala valorativa del instrumento.													

Nota: Las categorías asignadas a los criterios corresponden a la evaluación que realizarán los tres expertos para las fichas de análisis de datos. Adaptado de Pelaez, 2022.

3.5. Procedimientos

Figura 5.

Diagrama de flujo del procedimiento.



Nota: Elaboración propia

Para obtener resultados de la acción del viento en el sistema de postes de C.A.C., se realizará lo siguiente:

3.5.1. Etapa 1: Recolección de información

Se recopilará datos de las estructuras a evaluar; como la altura y el diámetro (base y parte superior) de los postes C.A.C. y las longitudes de los conductores entre los postes (vanos).

3.5.2. Etapa 2: Estimación de las cargas del viento

Para estimar las cargas del viento se utilizará el software Smath Studio.

Según norma CFE

Para determinar las cargas del viento se utilizará la norma CFE con la versión del año 2020. Se detalla los pasos para obtener las cargas del viento para el análisis estático y dinámico de los postes de C.A.C.

- Determinar la velocidad básica de diseño (V_D).

$$V_D = F_T F_{rz} V_R \quad \text{Ecuación 5}$$

- Determinar la presión dinámica de base (q_z).

$$q_z = 0.0047 G V_D^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

- Determinar el factor de respuesta dinámica de la estructura (F_{ge})

$$F_{ge} = \frac{1}{g_z^2} \left[1 + 12.86 \sqrt{k} \left(\frac{10}{h_o} \right)^{\alpha'} \left(\frac{1}{1 + 0.563 \frac{h_o}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

- Determinar la presión equivalente de la estructura (P_{ze}).

$$P_{ze} = F_{ge} C_{ae} q_z \quad \text{Ecuación 8}$$

- Determinar el factor de respuesta dinámica de los cables (F_{gc}).

$$F_{gc} = \frac{1}{g_z^2} \left[1 + 12.86 \sqrt{k} \left(\frac{10}{z} \right)^{\alpha'} \left(\frac{1}{1 + 0.8 \frac{L}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right] \quad \text{Ecuación 9}$$

- Determinar la presión dinámica equivalente de los cables (P_{zc}).

$$P_{zc} = 0.6F_{gc}C_{ac}q_z \quad \text{Ecuación 10}$$

Según norma ASCE 74

Se detalla los pasos para obtener las cargas del viento para el análisis estático y dinámico de los postes de concreto armado centrifugado.

- Presión del viento en los cables (P_c).

$$\frac{F}{A} = QK_zK_{zt}(V_{50})^2G_cC_f \quad \text{Ecuación 11}$$

- Presión del viento en la estructura (P_e).

$$\frac{F}{A} = QK_zK_{zt}(V_{50})^2GG_eC_f \quad \text{Ecuación 12}$$

3.5.3. Etapa 3: Respuesta estructural bajo cargas de viento y comparación de resultados

- Pasos para realizar el análisis estructural en el software SAP 2000:
 - ✓ Dibujar la geometría del poste de C.A.C.
 - ✓ Ingresar los materiales.
 - ✓ Ingresar las cargas, combinaciones y factores de cargas.
 - ✓ Análisis estructural.
 - Respuesta estructural.
- Los resultados de la respuesta estructural se agruparán en tablas de doble entrada y gráficos en Excel, para compararlos e interpretarlos. Los resultados obtenidos con la norma ASCE 74 y CFE que se compararán serán los siguientes:
 - ✓ Los esfuerzos.
 - ✓ Los momentos.

- ✓ Los desplazamientos.
- ✓ El factor de respuesta dinámica.
- Se comparará la presión del viento mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE.
- Se compararán los desplazamientos mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento.

3.5.4. Respuesta estructural bajo cargas de viento y sismo

- Se comparará los parámetros de demanda de viento y sismo.

3.6. Análisis de datos

Según Hernández et al. (2014) se utiliza un ordenador para hacer un análisis cuantitativo de la información recopilada. Se utiliza un programa informático para construir la evaluación de los datos a partir de la matriz de datos (p. 112).

3.6.1. Procesamiento de datos

Para iniciar el análisis pertinente, se organizarán y resumirán los datos recogidos mediante la aplicación de procedimientos y equipos mencionados. Se utilizarán estadísticas descriptivas, tablas de doble entrada y visualizaciones de Excel para evaluar los datos ordenados y tabulados (Tarazona, 2018).

3.6.1.1. Recolección de información

Se recogerá datos del poste a evaluar; como la altura y el diámetro (base y parte superior) y las longitudes de los conductores entre los postes (vanos).

3.6.1.2. Estimación de las cargas de viento

- ASCE 74: Presión del viento en los cables (P_c) y presión del viento en la estructura (P_e).
- CFE: Presión dinámica equivalente en la estructura (P_{ze}) y factor de respuesta dinámica en la estructura (F_{ge}); Presión dinámica equivalente en los cables (P_{zc}) y factor de respuesta dinámica en los cables (F_{zc}).

3.6.1.3. Respuesta estructural bajo cargas de viento y comparación de resultados

- Primero. - Se realizará el cálculo de la respuesta estructural del poste de C.A.C. con el software SAP2000; tomando en cuenta la carga del viento según el método de la ASCE 74.
- Segundo. - Se realizará el cálculo de la respuesta estructural del poste de C.A.C. con el software SAP2000; tomando en cuenta la carga del viento según el método de la CFE.
- Tercero. - Se realizará el análisis comparativo de la respuesta estructural con los métodos de la ASCE 74 y la CFE. Los datos serán analizados a través de la estadística descriptiva, elaborando tablas de doble entrada y gráficos en Excel. Los resultados a comparar serán los siguientes:
 - ✓ Esfuerzos con las cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE.
 - ✓ Momentos con las cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE.
 - ✓ Desplazamientos con las cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE.
 - ✓ Factor de respuesta dinámica/ráfaga con las cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE.
- Cuarto. – Se comparará la presión del viento mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE.

- Quinto. – Se compararán los desplazamientos mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento.

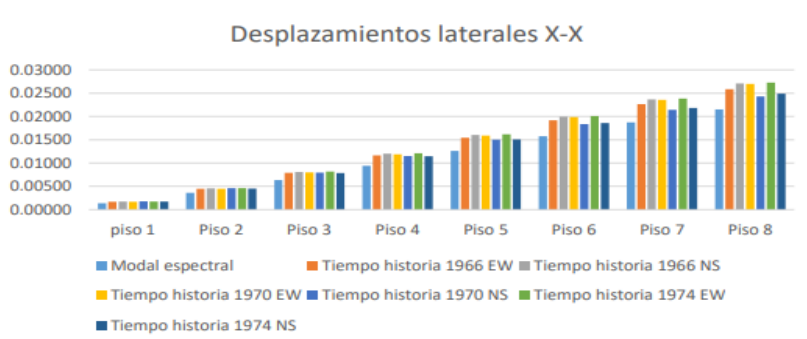
3.6.1.4. Respuesta estructural bajo cargas de viento y sismo

- Primero. – Se compararán los parámetros de demanda de viento y sismo.

Figura 6.

Ejemplo de comparación de resultados.

Desplazamientos laterales En X-X							
Story	Modal Espectral	Tiempo historia					
		1966		1970		1974	
		Ew	NS	EW	NS	EW	NS
8	0.02150	0.025876	0.0271	0.026994	0.024328	0.02726	0.024884
7	0.01875	0.022662	0.023686	0.023577	0.021445	0.023838	0.021857
6	0.01576	0.019164	0.019964	0.019851	0.018363	0.020107	0.018575
5	0.01261	0.015444	0.016023	0.015899	0.015032	0.01615	0.015082
4	0.00942	0.011622	0.012000	0.011869	0.011516	0.012108	0.011464
3	0.00634	0.00788	0.008096	0.007973	0.00796	0.008179	0.007867
2	0.00358	0.004463	0.004562	0.00447	0.004602	0.004618	0.004516
1	0.00134	0.001681	0.001713	0.001667	0.001775	0.001736	0.001726



Nota: Tomado de Ricalde, (2019).

3.6.2. Estadística inferencial

Así mismo, para la contratación de las hipótesis se plantearán hipótesis estadísticas (Hipótesis Nula e Hipótesis Alternativa), utilizando como estadística de prueba lo siguiente:

- Prueba de Normalidad: Como el número de datos que se dispone es menor a 25, se tomará en cuenta la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

- De acuerdo al resultado de la prueba de normalidad se utilizarán pruebas paramétricas y no paramétricas para contrastar las hipótesis.

3.6.3. Consideraciones éticas

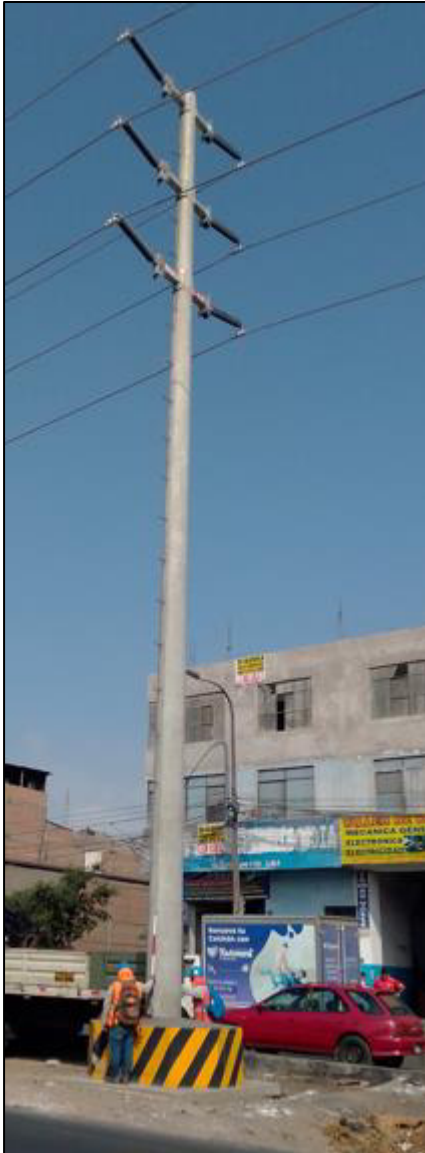
Se respetará las buenas prácticas éticas de la investigación, donde la información que se suministre tenga en cuenta la verdad, objetividad y honestidad, sobre todo respetando el derecho de autores y propiedad intelectual. Se cumplirá con el lineamiento del Código de Ética de la Universidad Nacional Federico Villarreal (Resolución N° 6436-2019-CU-UNFV), donde se establecen las buenas prácticas en la realización de los procesos de investigación sobre la base de una voluntad de actuar siempre con principios éticos (Benites, 2022).

IV. RESULTADOS

4.1. Cargas de viento

Figura 7.

Poste N° 03.



Nota: Elaboración propia

4.1.1. Cargas de viento con la norma CFE

En esta parte de la tesis se colocará los resúmenes de los cálculos que se realizaron en el programa Smath Studio, el cálculo completo esta adjuntado en los anexos.

- Factor de respuesta dinámica de la estructura (F_{ge}).

$$F_{ge} := \frac{1}{g_z} \cdot \left(1 + 12.86 \cdot \sqrt{k_1} \cdot \left(\frac{10}{h_o} \right)^{\alpha'} \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.563 \cdot \frac{h_o}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 0.99$$

- Presión dinámica equivalente en la estructura (P_{ze}).

$$P_{ze} := F_{ge} \cdot C_{ae} \cdot q_z = 421.52 \text{ Pa}$$

- Factor de respuesta dinámica de los conductores (F_{gc}).

$$F_{gc} := \frac{1}{g_z} \cdot \left(1 + 12.86 \cdot \sqrt{k_1} \cdot \left(\frac{10}{z_c} \right)^{\alpha'} \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.8 \cdot \frac{L}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 0.77$$

- Presión dinámica equivalente de los conductores (P_{zc}).

$$P_{zc} := 0.6 \cdot F_{gc} \cdot C_{ac} \cdot q_z = 164.19 \text{ Pa}$$

4.1.2. Cargas de viento con la norma ASCE 74

En esta parte de la tesis se colocará los resúmenes de los cálculos que se realizaron en el programa Smath Studio, el cálculo completo esta adjuntado en los anexos.

- Presión del viento en los cables (P_c)

$$P_c := Q \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot (V_{50})^2 \cdot G_w \cdot C_{fW} = 8.03 \text{ psf} \quad \circ \quad P_c \cdot 4.882428 = 39.22 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

- Factor de respuesta de ráfagas en los cables (G_w)

$$G_w := \left(\frac{1 + 4.6 \cdot I_{zc} \cdot B_w}{1 + 6.1 \cdot I_{zc}} \right) = 0.73$$

- Presión del viento en la estructura (P_e)

$$P_e := Q \cdot K_{zp} \cdot K_{zt} \cdot (V_{50})^2 \cdot G_t \cdot C_{fW} = 8.99 \quad \text{psf} \quad \circ \quad P_e \cdot 4.882428 = 43.89 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

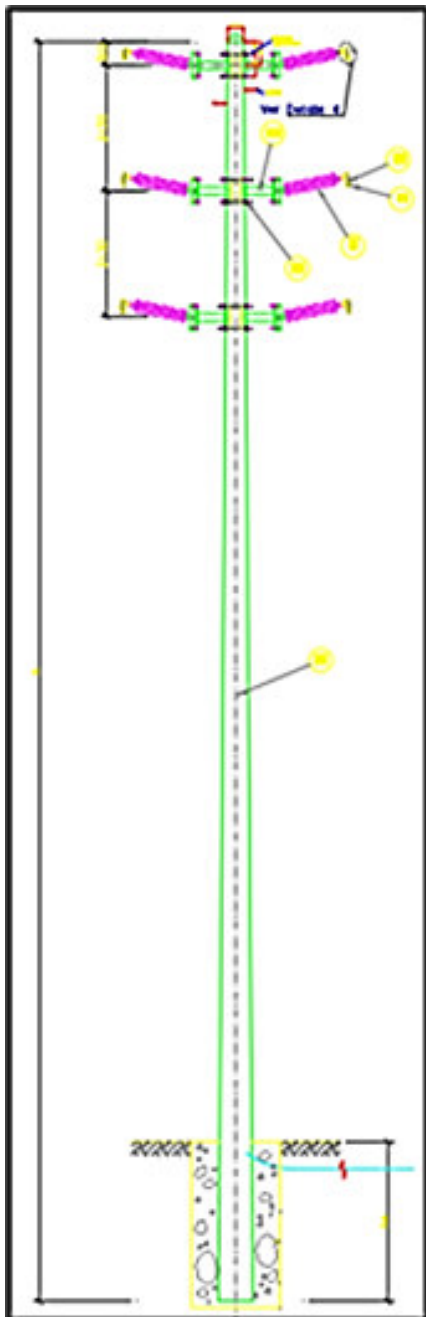
- Factor de respuesta de ráfagas en la estructura (G_t)

$$G_t := \left(\frac{1 + 4.6 \cdot I_{zp} \cdot B_t}{1 + 6.1 \cdot I_{zp}} \right) = 0.85$$

4.2. Diagrama de cargas en el poste

Figura 8.

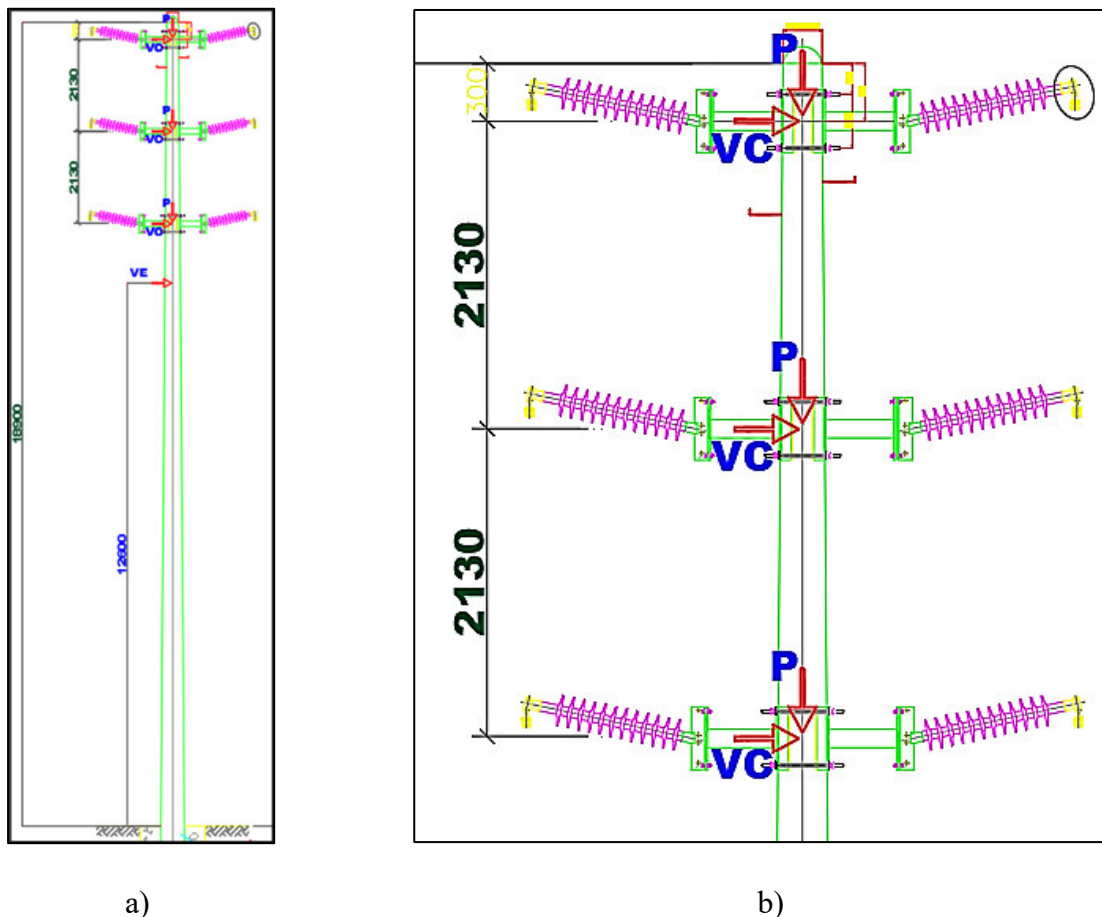
Esquema del poste.



Nota: Elaboración propia

Figura 9.

Diagrama de cargas en el poste.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ, las cargas de viento y peso que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga de viento y peso en las fases en el poste.

4.3. Modelación en el software SAP2000

La geometría del modelo es definida en esta etapa. Los atributos y varias condiciones son aplicados al modelo:

4.3.1. Definición de la estructura

El poste de C.A.C. tiene 21 metros de altura, diámetro de la base 0.585 metros y diámetro de la parte superior 0.27 metros.

Las propiedades resistentes del concreto son:

- Resistencia del concreto $f'c = 350 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto $\gamma_c = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de elasticidad del concreto (NTE E.060 Art. 8.5.1) $E_c = 282495.1327 \text{ kg/cm}^2$
- Coeficiente de Poisson del concreto $\mu = 0.20$

Figura 10.

Propiedades del material de concreto.

General Data	
Material Name and Display Color	FC350
Material Type	Concrete
Material Grade	fc 5000 psi
Material Notes	Modify/Show Notes...

Weight and Mass		Units
Weight per Unit Volume	2.400E-03	Kgf, cm, C
Mass per Unit Volume	2.447E-06	

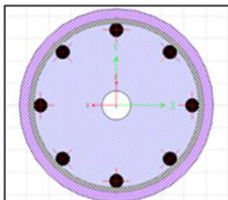
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	282495.13270143
Poisson, U	0.2
Coefficient Of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	117706.31

Other Properties For Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, fc	350
Expected Concrete Compressive Strength	350
<input type="checkbox"/> Lightweight Concrete	
Shear Strength Reduction Factor	

Nota: Elaboración propia.

Figura 11.

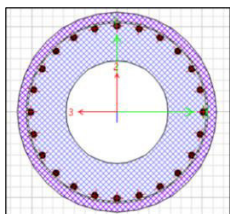
Sección de la cima del poste de C.A.C.



Nota: Elaboración propia.

Figura 12.

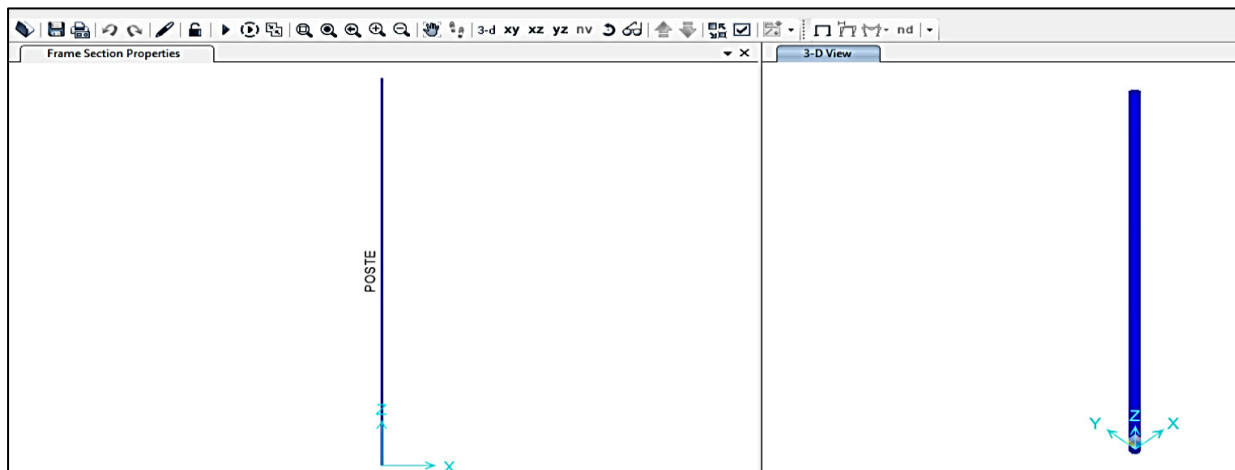
Sección de la base del poste de C.A.C.



Nota: Elaboración propia.

Figura 13.

Poste de C.A.C.



Nota: Elaboración propia.

4.4. Metrado de cargas

Tabla 6.

Cargas permanentes en la estructura

Descripción (cargas permanentes)	Peso (kg)	Metrado unitario	Peso parcial (kg)	Metrado total	Peso total (kg)
Aislador polimérico tipo line post 60 KV	4.10	1	4.10	6	24.60
Grapa de suspensión para conductor de 491 mm ² AAAC	1.56	1	1.56	6	9.36
Eslabón abierto	0.80	1	0.80	6	4.80
Varilla de armar para conductor de 491 mm ² AAAC	4.50	1	4.50	6	27
Suple metálico (incluye tuercas y contratueras)	48	1	48	6	288
Perno de doble armado de A° g°, 19mmø x 508mm long. Con 2 tuercas y contratueras	1.10	1	1.10	6	6.60
Peso de la fibra (kg/km)	150	0.15	22.50	0.15	22.50
Peso de los conductores	206.85	1	206.85	6	1241.10
TOTAL					1623.96

Nota: Elaboración propia.

La carga muerta está conformada por el peso propio del poste, el cual lo determina el software SAP2000.

4.5. Cargas

4.5.1. Hipótesis de carga según CFE

4.5.1.1. De servicio (suspensión)

Tabla 7.

Carga de servicio y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.5 kg	360.36 kg	7500 kg	1.0*(PC+PF+PA+PE)

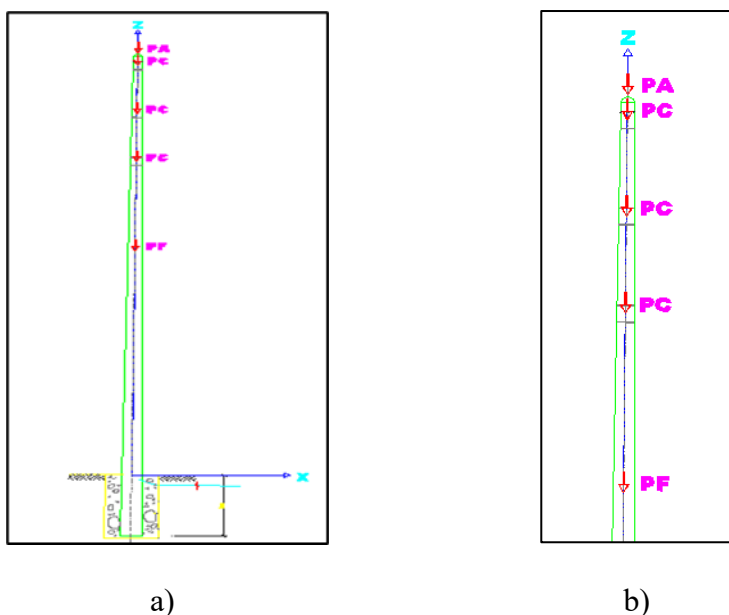
Nota: Elaboración propia.

Donde:

- PC: Peso de los conductores.
- PF: Peso de la fibra óptica.
- PA: Peso de los accesorios (Brazos, aisladores, otros).
- PE: Peso de la estructura (poste).

Figura 14.

Árbol de cargas de servicio.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ las cargas de servicio que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.5.1.2. Máxima (suspensión)

Tabla 8.

Carga máxima y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	VTC	VTF	VTE	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.5 kg	360.36 kg	7500 kg	263.46 kg	39.95 kg	421.76 kg	$1.16*(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)$

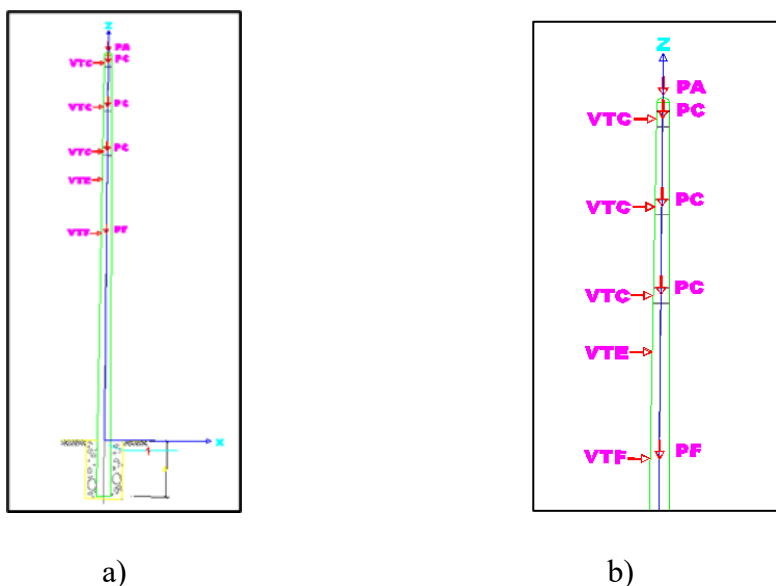
Nota: Elaboración propia.

Donde:

- VTC: Viento transversal en los conductores (global), se debe dividir en tres partes para colocar en cada fase del poste.
- VTF: Viento en la fibra óptica.
- VTE: Viento en la estructura (poste).

Figura 15.

Árbol de carga máxima.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ las cargas máximas que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.5.1.3. Tendido y mantenimiento (suspensión)

Tabla 9.

Carga de tendido y mantenimiento y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	PVMC	PVMF	FL	CT	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.5 kg	360.36 kg	7500 kg	499.66 kg	295.72 kg	800 kg	800 kg	$1.0*(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)$

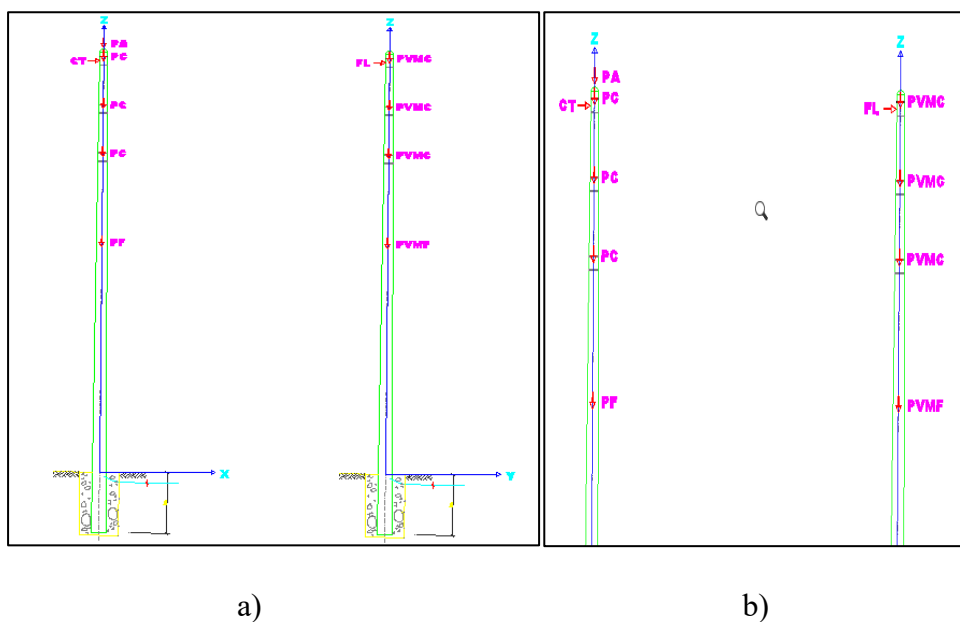
Nota: Elaboración propia.

Donde:

- PVMC: Carga de montaje y mantenimiento en los conductores.
- PVMF: Carga de montaje y mantenimiento en la fibra óptica.
- FL: Fuerza longitudinal debida a la tensión del cable.
- CT: Componente transversal causada por la tensión del cable debida a la deflexión de la línea.

Figura 16.

Árbol de carga de tendido y mantenimiento.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ / YZ las cargas de tendido y mantenimiento que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.5.2. Hipótesis de carga según ASCE 74

4.5.2.1. Viento Extremo (suspensión)

Tabla 10.

Carga de viento extremo y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	VTC	VTF	VTE	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.5 kg	360.36 KG	7500 kg	508.29 kg	77.07 kg	354.62 kg	1.2D+1W

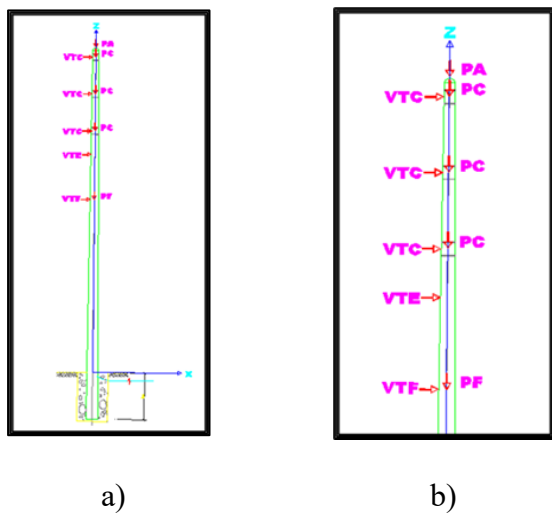
Nota: Elaboración propia.

Donde:

- PC: Peso de los conductores
 - PF: Peso de la fibra óptica
 - PA: Peso de los accesorios (Brazos, aisladores, otros)
 - PE: Peso de la estructura (poste)
 - P = D = Peso
 - VTC: Viento transversal en los conductores (global), se debe dividir en tres partes para colocar en cada fase del poste
 - VTF: Viento en la fibra óptica
 - VTE: Viento en la estructura (poste)
- V = W = Viento

Figura 17.

Árbol de carga de viento extremo.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ las cargas de viento extremo que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.5.2.2. Construcción y mantenimiento (suspensión)

4.5.2.2.1 Construcción

Tabla 11.

Carga de construcción y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	CVCC	CVCF	VTC	VTF	VTE	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.50 kg	360.36 kg	7500 kg	400 kg	200 kg	127.07 kg	19.27 kg	88.655 kg	1.4D+1.6L+0.25W

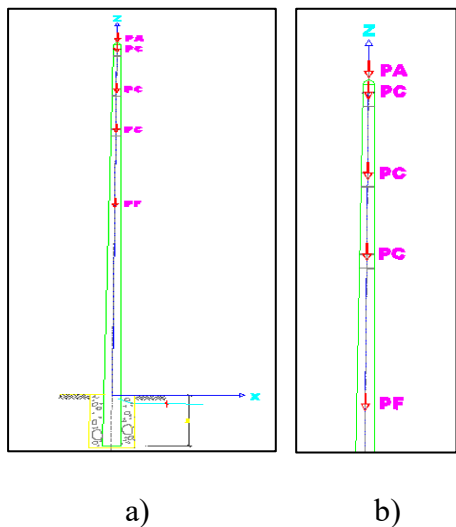
Nota: Elaboración propia.

Donde:

- PC: Peso de los conductores.
- PF: Peso de la fibra óptica.
- PA: Peso de los accesorios (Brazos, aisladores, otros).
- PE: Peso del poste.
- CVCC: Carga vertical de construcción del conductor.
- CVCF: Carga vertical de construcción de la fibra.

Figura 18.

Árbol de carga de construcción.



Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ las cargas de servicio que afectan al poste.

Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.5.2.3. Contención de fallas (Suspensión)

Tabla 12.

Carga de contención de fallas y combinaciones de cargas.

PC	PF	PA	PE	VTC	VTF	VTE	CR	Combinaciones de cargas
1241.10 kg	22.5 kg	360.36 KG	7500 kg	254.145 kg	38.535 kg	177.31 kg	300 kg	1.4D+1.6L+0.50W

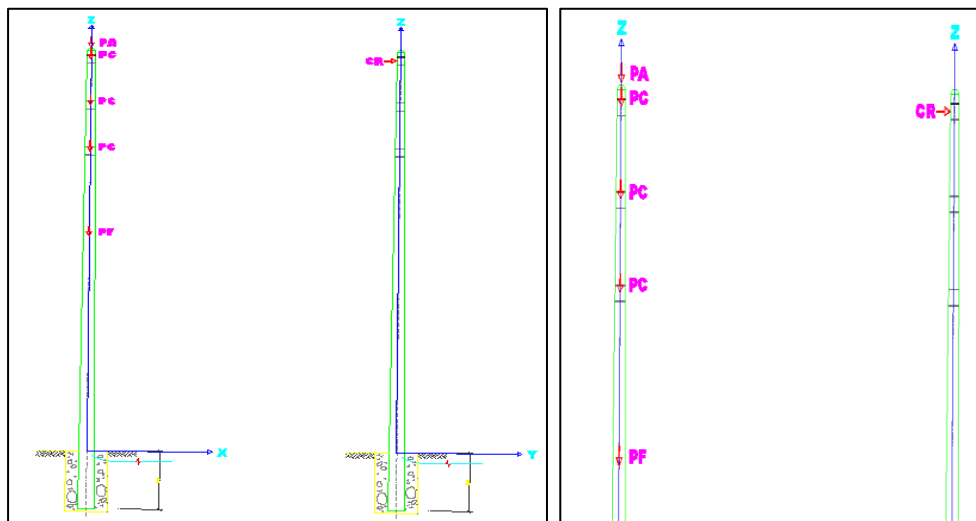
Nota: Elaboración propia. La carga de viento se ha considerado a la mitad del viento extremo.

Donde:

- CR: Tensión generada por conductor roto (20 % de la tensión mecánica del conductor).

Figura 19.

Árbol de carga de contención de fallas.



a)

b)

Nota: Elaboración propia. Figura a) muestra en el plano XZ y YZ las cargas de contención que afectan al poste. Figura b) muestra cómo actúa cada carga en el poste.

4.6. Análisis de los datos procesados

4.6.1. Resultados del análisis con la norma CFE

4.6.1.1. Esfuerzos con carga de servicio CFE

Tabla 13.

Esfuerzos con carga de servicio CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-46.77
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.26
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.26
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.51
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.68
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.68
10	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.7
10	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.5
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-47.01
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-47.01
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-48.36
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-43.33
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-44.97
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-44.97
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-45.68
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-39.73
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-42.52
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-35.31
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	Max	-35.66

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 13 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de - 48.36 Tonf/m² al aplicar la carga de servicio de la norma CFE.

4.6.1.2. Momentos con carga de servicio CFE

Tabla 14.

Momentos con carga de servicio CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
10	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
10	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 14 se aprecia que no se generan momentos al aplicar esta carga de servicio de la norma CFE.

4.6.1.3. Desplazamientos con carga de servicio CFE

Tabla 15.

Desplazamientos con carga de servicio CFE.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	-0.000096
~2	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	-0.00016
~3	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	-0.000209
~4	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	-0.000257
2	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.0	0.0	-0.000301

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 15 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en dirección Z, con un valor de -0.000301 m al aplicar la carga de servicio de la norma CFE.

4.6.1.4. Esfuerzos con carga máxima sin hielo CFE

Tabla 16.

Esfuerzos con carga máxima sin hielo CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-46.77
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.26
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.26
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.51
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.68
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.68
10	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.7
10	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.5
12.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-46.76
12.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-46.76
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-47.01
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-47.01
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-48.36
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-43.33
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-44.97
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-44.97
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-45.68
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-39.73
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-42.52
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-35.31
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	Max	-35.66

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 16 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de -48.36 Tonf/m² al aplicar la carga máxima sin hielo de la norma CFE.

4.6.1.5. Momentos con carga máxima sin hielo CFE

Tabla 17.

Momentos con carga máxima sin hielo CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	10.05188
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	5.77379
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	5.77379
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	3.19968
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	2.87339
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	2.87339
10	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	2.80088
10	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	2.80088
12.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	1.01936
12.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	1.01936
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.94034
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.94034
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.56104
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.56104
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.28711
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.28711
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.18701
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.18701
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	1.798E-14
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	1.798E-14
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	1.812E-14

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 17 se aprecia que el momento máximo se presenta a la altura de 0.0 m con un valor de 10.05188 Tonf-m al aplicar la carga máxima sin hielo de la norma CFE.

4.6.1.6. Desplazamientos con carga máxima sin hielo CFE

Tabla 18.

Desplazamientos con carga máxima sin hielo CFE.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.015147	0.0	-0.000096
~2	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.04338	0.0	-0.00016
~3	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.072842	0.0	-0.000209
~4	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.106332	0.0	-0.000257
2	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.141697	0.0	-0.000301

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 18 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en dirección X, con un valor de 0.141697 m al aplicar la carga máxima sin hielo de la norma CFE.

4.6.1.7. Esfuerzos con carga de tendido y mantenimiento CFE

Tabla 19.

Esfuerzos con carga de tendido y mantenimiento CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.17
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.06
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.06
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.54
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.91
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.91
10	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.98
10	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-50.07
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.5
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.5
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-54.43
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-49.4
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.83
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.83
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-52.87
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-46.92
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-51.23
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-35.31
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	Max	-35.66

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 19 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de -54.43 Tonf/m2 al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE.

4.6.1.8. Momentos con carga de tendido y mantenimiento CFE

Tabla 20.

Momentos con carga de tendido y mantenimiento CFE.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M2	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)	(Tonf-m)
0.0	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	14.88	14.88
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	10.16	10.16
5.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	10.16	10.16
9.45	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	7.32	7.32
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	6.96	6.96
9.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	6.96	6.96
10	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	6.88	6.88
10	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	6.88	6.88
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	4.56	4.56
12.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	4.56	4.56
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	3.408	3.408
14.34	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	3.408	3.408
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	2.16	2.16
15.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	2.16	2.16
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	1.704	1.704
16.47	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	1.704	1.704
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	5.903E-14	-4.614E-14
18.6	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	5.903E-14	-4.614E-14
18.9	1.0(PC+PF+PA+PE+PVMC+PVMF+FL+CT)	Combination	5.99E-14	-5.38E-14

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 20 se aprecia que el momento máximo se presenta a la altura de 0.0 m con un valor de 14.88 Tonf-m en la dirección X e Y al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE.

4.6.1.9. Desplazamientos con carga de tendido y mantenimiento CFE

Tabla 21.

Desplazamientos con carga de tendido y mantenimiento CFE.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0	0	0
~1	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.023481	0.023066	-0.000106
~2	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.070812	0.069617	-0.000179
~3	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.126132	0.124142	-0.000234
~4	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.199075	0.196116	-0.000289
2	1.0(PC+PF+PA+PE)	Combination	0.285342	0.281247	-0.00034

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 21 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en dirección X, con un valor de 0.199075 m al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE.

4.6.1.10. Factor de respuesta dinámica CFE

Tabla 22.

Factor de respuesta dinámica CFE.

Estructura	Factor de respuesta dinámica (F_{ge})
(Texto)	(Adimensional)
Poste	0.99

Nota: Elaboración propia.

4.6.2. Resultados del análisis con la norma ASCE 74

4.6.2.1. Esfuerzos con carga de viento extremo ASCE 74

Tabla 23.

Esfuerzos con carga de viento extremo ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	1.2D+1W	Combination	Max	-56.13
5.9	1.2D+1W	Combination	Max	-54.31
5.9	1.2D+1W	Combination	Max	-54.31
9.45	1.2D+1W	Combination	Max	-54.61
9.9	1.2D+1W	Combination	Max	-54.82
9.9	1.2D+1W	Combination	Max	-54.82
10	1.2D+1W	Combination	Max	-54.84
10	1.2D+1W	Combination	Max	-54.6
12.6	1.2D+1W	Combination	Max	-56.11
12.6	1.2D+1W	Combination	Max	-56.11
12.9	1.2D+1W	Combination	Max	-56.41
12.9	1.2D+1W	Combination	Max	-56.41
14.34	1.2D+1W	Combination	Max	-58.03
14.34	1.2D+1W	Combination	Max	-52
15.9	1.2D+1W	Combination	Max	-53.97
15.9	1.2D+1W	Combination	Max	-53.97
16.47	1.2D+1W	Combination	Max	-54.82
16.47	1.2D+1W	Combination	Max	-47.68
18.6	1.2D+1W	Combination	Max	-51.02
18.6	1.2D+1W	Combination	Max	-42.37
18.9	1.2D+1W	Combination	Max	-42.8

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 23 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de -58.03 Tonf/m² al aplicar la carga de viento extremo de la norma ASCE 74.

4.6.2.2. Momentos con carga de viento extremo ASCE 74

Tabla 24.

Momentos con carga de viento extremo ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)
0.0	1.2D+1W	Combination	13.60901
5.9	1.2D+1W	Combination	8.0636
5.9	1.2D+1W	Combination	8.0636
9.45	1.2D+1W	Combination	4.72696
9.9	1.2D+1W	Combination	4.304
9.9	1.2D+1W	Combination	4.304
10	1.2D+1W	Combination	4.21001
10	1.2D+1W	Combination	4.21001
12.6	1.2D+1W	Combination	1.96673
12.6	1.2D+1W	Combination	1.96673
12.9	1.2D+1W	Combination	1.81427
12.9	1.2D+1W	Combination	1.81427
14.34	1.2D+1W	Combination	1.08247
14.34	1.2D+1W	Combination	1.08247
15.9	1.2D+1W	Combination	0.55394
15.9	1.2D+1W	Combination	0.55394
16.47	1.2D+1W	Combination	0.36082
16.47	1.2D+1W	Combination	0.36082
18.6	1.2D+1W	Combination	1.334E-15
18.6	1.2D+1W	Combination	1.334E-15
18.9	1.2D+1W	Combination	-3.978E-16

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 24 se aprecia que el momento máximo se presenta a la altura de 0.0 m con un valor de 13.60901 Tonf-m al aplicar la carga de viento extremo de la norma ASCE 74.

4.6.2.3. Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74

Tabla 25.

Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.2D+1W	Combination	0	0	0
~1	1.2D+1W	Combination	0.020669	0	-0.000115
~2	1.2D+1W	Combination	0.05974	0	-0.000192
~3	1.2D+1W	Combination	0.101463	0	-0.00025
~4	1.2D+1W	Combination	0.150459	0	-0.000309
2	1.2D+1W	Combination	0.203073	0	-0.000361

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 25 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en dirección X, con un valor de 0.203073 m al aplicar la carga de viento extremo de la norma ASCE 74.

4.6.2.4. Esfuerzos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74

Tabla 26.

Esfuerzos con carga de construcción ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	Tonf/m2)
0.0	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-64.97
5.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-65.97
5.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-65.97
9.45	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-68.76
9.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-69.37
9.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-69.37
10	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-69.48
10	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-66.3
12.6	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-69.89
12.6	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-69.89
12.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-70.48
12.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-70.48
14.34	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-73.59
14.34	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-67.56
15.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-71.55
15.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-71.55
16.47	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-73.22
16.47	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-56.88
18.60	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-62.18
18.60	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-53.53
18.90	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	Max	-54.30

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 26 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de -73.59 Tonf/m2 al aplicar la carga de construcción de la norma ASCE 74.

4.6.2.5. Momentos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74

Tabla 27.

Momentos con carga de construcción ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)
0.0	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	3.40225
5.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	2.0159
5.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	2.0159
9.45	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	1.18174
9.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	1.076
9.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	1.076
10	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	1.0525
10	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	1.0525
12.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.45357
12.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.45357
14.34	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.27062
14.34	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.27062
15.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.13848
15.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.13848
16.47	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.09021
16.47	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.09021
18.6	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	3.335E-16
18.6	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	3.335E-16
18.9	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	-9.945E-17

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 27 se aprecia que el momento máximo se presenta a la altura de 0.0 m con un valor de 3.40225 Tonf-m al aplicar la carga de construcción de la norma ASCE 74.

4.6.2.6. Desplazamientos con carga de construcción y mantenimiento ASCE 74

Tabla 28.

Desplazamientos con carga de construcción ASCE 74.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.005167	0.0	-0.000136
~2	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.014935	0.0	-0.000231
~3	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.025366	0.0	-0.000304
~4	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.037615	0.0	-0.000379
2	1.2D+1.6L+0.25W	Combination	0.050768	0.0	-0.000444

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 28 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en dirección X, con un valor de 0.050768 m al aplicar la carga de construcción de la norma ASCE 74.

4.6.2.7. Esfuerzos con carga de contención de fallas ASCE 74

Tabla 29.

Esfuerzos con carga de contención de fallas ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-56.13
5.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.31
5.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.31
9.45	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.61
9.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.82
9.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.82
10	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.84
10	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.60
12.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-56.41
12.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-56.41
14.34	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-58.03
14.34	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-52.00
15.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-53.97
15.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-53.97
16.47	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-54.82
16.47	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-47.68
18.6	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-51.02
18.6	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-42.37
18.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	Max	-42.80

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 29 se aprecia que el esfuerzo máximo se presenta a la altura de 14.34 m con un valor de -58.03 Tonf/m² al aplicar la carga de contención de fallas de la norma ASCE 74.

4.6.2.8. Momentos con carga de contención de fallas ASCE 74

Tabla 30.

Momentos con carga de contención de fallas ASCE 74.

Z	Caso de salida	Tipo de caso	M2	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)	(Tonf-m)
0.0	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	8.928	6.80451
5.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	6.096	4.0318
5.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	6.096	4.0318
9.45	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	4.392	2.36348
9.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	4.176	2.152
9.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	4.176	2.152
10	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	4.128	2.10501
10	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	4.128	2.10501
12.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	2.736	0.90714
12.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	2.736	0.90714
14.34	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	2.0448	0.54123
14.34	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	2.0448	0.54123
15.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	1.296	0.27697
15.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	1.296	0.27697
16.47	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	1.0224	0.18041
16.47	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	1.0224	0.18041
18.6	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	3.743E-14	6.671E-16
18.6	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	3.743E-14	6.671E-16
18.9	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	3.879E-14	-1.989E-16

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 30 se aprecia que el momento máximo se presenta a la altura de 0.0 m en la dirección Y, con un valor de 8.928 Tonf-m al aplicar la carga de contención de fallas de la norma ASCE 74.

4.6.2.9. Desplazamientos con carga de contención de fallas ASCE 74

Tabla 31.

Desplazamientos con carga de contención de fallas ASCE 74.

Punto	Caso de salida	Tipo de caso	U1	U2	U3
(Texto)	(Texto)	(Texto)	(m)	(m)	(m)
1	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.010335	0.013839	-0.000115
~2	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.02987	0.04177	-0.000192
~3	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.050731	0.074485	-0.00025
~4	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.07523	0.117669	-0.000309
2	1.2D+1.6L+0.5W	Combination	0.101537	0.168748	-0.000361

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 31 se aprecia que el desplazamiento máximo se presenta en el punto 2 (cima del poste) en la dirección Y, con un valor de 0.168748 m al aplicar la carga de contención de fallas de la norma ASCE 74.

4.6.2.10. Factor de respuestas de ráfagas ASCE 74

Tabla 32.

Factor de respuestas de ráfagas ASCE 74.

Estructura	Factor de respuesta de ráfaga (G_T)
(Texto)	(Adimensional)
Poste	0.85

Nota: Elaboración propia.

4.6.3. Comparación de resultados

Tabla 33.

Esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74.

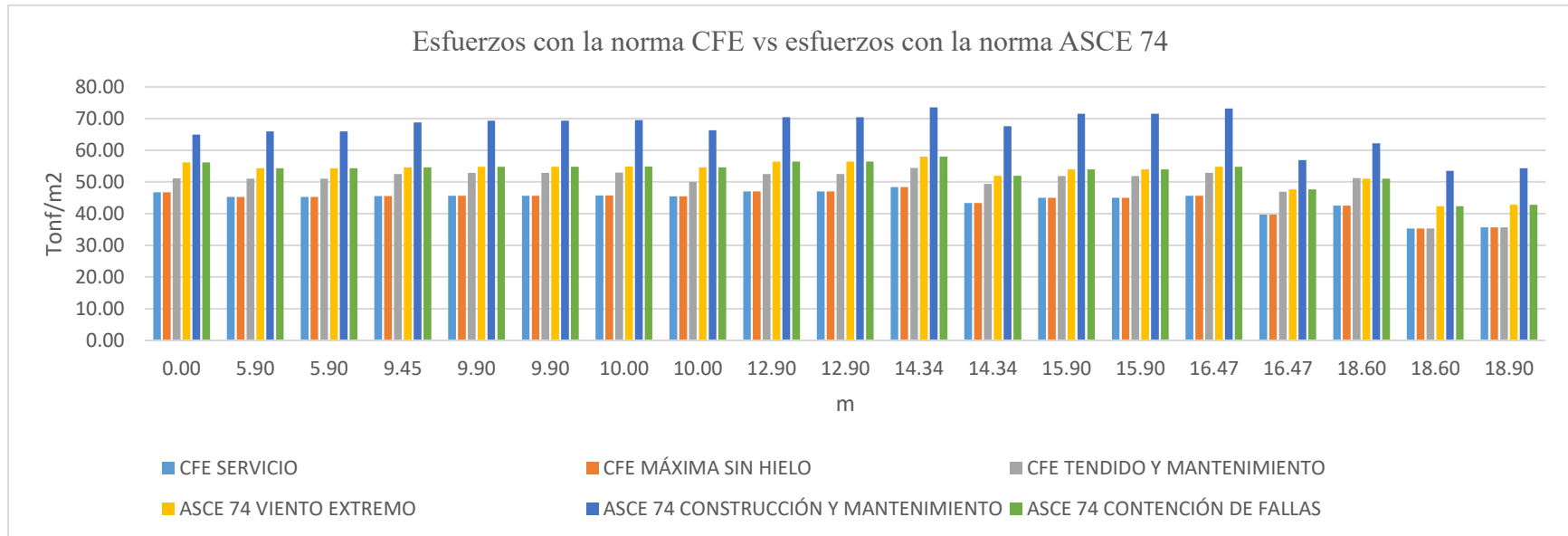
Z	CFE			ASCE 74		
	SERVICIO (Tonf/m ²)	MÁXIMA SIN HIELO (Tonf/m ²)	TENDIDO Y MANTENIMIENTO (Tonf/m ²)	VIENTO EXTREMO (Tonf/m ²)	CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO (Tonf/m ²)	CONTENCIÓN DE FALLAS (Tonf/m ²)
0.00	46.77	46.77	51.17	56.13	64.97	56.13
5.90	45.26	45.26	51.06	54.31	65.97	54.31
5.90	45.26	45.26	51.06	54.31	65.97	54.31
9.45	45.51	45.51	52.54	54.61	68.76	54.61
9.90	45.68	45.68	52.91	54.82	69.37	54.82
9.90	45.68	45.68	52.91	54.82	69.37	54.82
10.00	45.70	45.70	52.98	54.84	69.48	54.84
10.00	45.50	45.50	50.07	54.60	66.30	54.60
12.90	47.01	47.01	52.50	56.41	70.48	56.41
12.90	47.01	47.01	52.50	56.41	70.48	56.41
14.34	48.36	48.36	54.43	58.03	73.59	58.03
14.34	43.33	43.33	49.40	52.00	67.56	52.00
15.90	44.97	44.97	51.83	53.97	71.55	53.97
15.90	44.97	44.97	51.83	53.97	71.55	53.97
16.47	45.68	45.68	52.87	54.82	73.22	54.82
16.47	39.73	39.73	46.92	47.68	56.88	47.68
18.60	42.52	42.52	51.23	51.02	62.18	51.02
18.60	35.31	35.31	35.31	42.37	53.53	42.37
18.90	35.66	35.66	35.66	42.80	54.30	42.80

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 33 se aprecia que los esfuerzos máximos en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar la carga de construcción y mantenimiento de la norma ASCE 74.

Figura 20.

Comparación de esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE74.



Nota: Los esfuerzos se colocaron en valor absoluto para obtener una gráfica con valores positivos. Elaboración propia.

En la figura 20 se aprecia que los esfuerzos que se producen en el poste de C.A.C. al aplicar la carga de servicio y máxima sin hielo ambos de la norma CFE son iguales; además, los esfuerzos al aplicar la carga de viento extremo y contención de fallas ambos de la norma ASCE 74 son iguales. Los esfuerzos generados al aplicar la carga de tendido y mantenimiento son los más altos al utilizar la norma CFE y los esfuerzos generados al aplicar la carga de construcción y mantenimiento son los más altos al utilizar la norma ASCE 74.

Tabla 34.

Momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74.

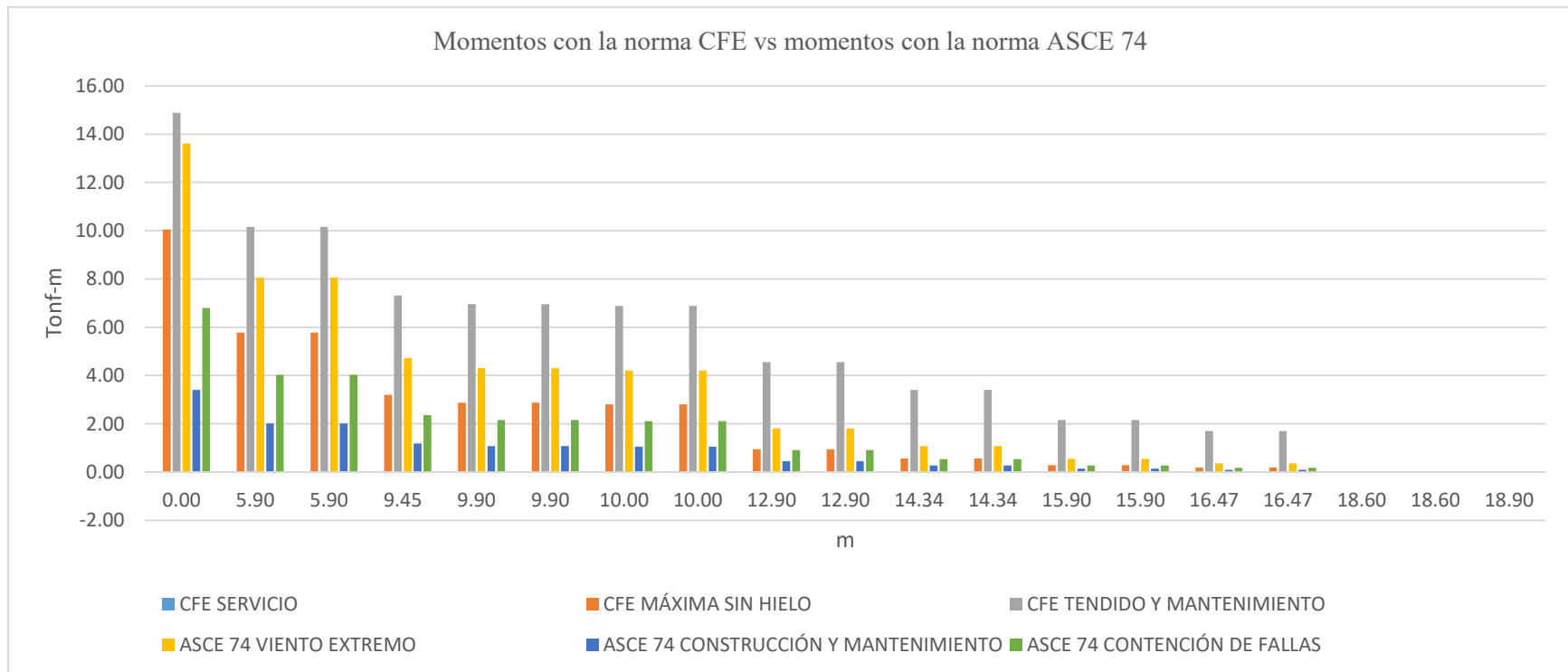
Z	CFE			ASCE 74		
	SERVICIO (Tonf-m)	MÁXIMA SIN HIELO (Tonf-m)	TENDIDO Y MANTENIMIENTO (Tonf-m)	VIENTO EXTREMO (Tonf-m)	CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO (Tonf-m)	CONTENCIÓN DE FALLAS (Tonf-m)
0.00	0.00	10.05	14.88	13.61	3.40	6.80
5.90	0.00	5.77	10.16	8.06	2.02	4.03
5.90	0.00	5.77	10.16	8.06	2.02	4.03
9.45	0.00	3.20	7.32	4.73	1.18	2.36
9.90	0.00	2.87	6.96	4.30	1.08	2.15
9.90	0.00	2.87	6.96	4.30	1.08	2.15
10.00	0.00	2.80	6.88	4.21	1.05	2.11
10.00	0.00	2.80	6.88	4.21	1.05	2.11
12.90	0.00	0.94	4.56	1.81	0.45	0.91
12.90	0.00	0.94	4.56	1.81	0.45	0.91
14.34	0.00	0.56	3.41	1.08	0.27	0.54
14.34	0.00	0.56	3.41	1.08	0.27	0.54
15.90	0.00	0.29	2.16	0.55	0.14	0.28
15.90	0.00	0.29	2.16	0.55	0.14	0.28
16.47	0.00	0.19	1.70	0.36	0.09	0.18
16.47	0.00	0.19	1.70	0.36	0.09	0.18
18.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18.90	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 34 se aprecia que los momentos máximos en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE.

Figura 21.

Comparación de momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74.



Nota: Elaboración propia.

En la figura 21 se aprecia que los esfuerzos que se producen en el poste de C.A.C. al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE son los más altos, sin embargo, al aplicar la carga de servicio de la norma CFE los esfuerzos que se producen son los más bajos (cero).

Tabla 35.

Desplazamientos con la norma CFE y desplazamientos con la norma ASCE 74.

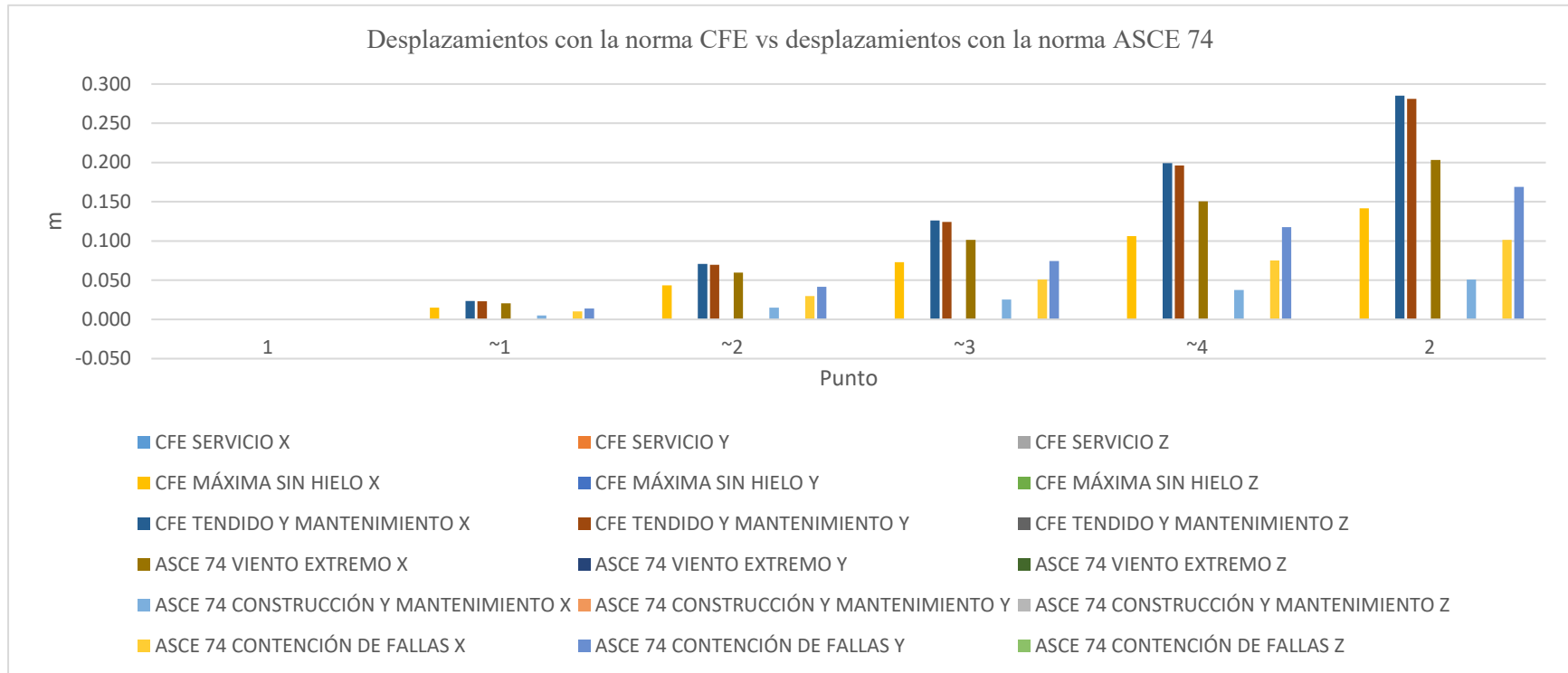
Punto	CFE									ASCE 74								
	SERVICIO (m)			MÁXIMA SIN HIELO (m)			TENDIDO Y MANTENIMIENT O (m)			VIENTO EXTREMO (m)			CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO (m)			CONTENCIÓN DE FALLAS (m)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
~1	0.000	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.023	0.023	0.000	0.021	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.010	0.014	0.000
~2	0.000	0.000	0.000	0.043	0.000	0.000	0.071	0.070	0.000	0.060	0.000	0.000	0.015	0.000	0.000	0.030	0.042	0.000
~3	0.000	0.000	0.000	0.073	0.000	0.000	0.126	0.124	0.000	0.101	0.000	0.000	0.025	0.000	0.000	0.051	0.074	0.000
~4	0.000	0.000	0.000	0.106	0.000	0.000	0.199	0.196	0.000	0.150	0.000	0.000	0.038	0.000	0.000	0.075	0.118	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.142	0.000	0.000	0.285	0.281	0.000	0.203	0.000	0.000	0.051	0.000	0.000	0.102	0.169	0.000

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 35 se aprecia que los desplazamientos máximos en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE.

Figura 22.

Comparación de desplazamientos con la norma CFE y desplazamientos con la norma ASCE 74.



Nota: Elaboración propia.

En la figura 22 se aprecia que los desplazamientos que se producen en el poste de C.A.C. al aplicar la carga de tendido y mantenimiento de la norma CFE son los más altos, sin embargo, al aplicar la carga de servicio de la norma CFE los desplazamientos que se producen son los más bajos (cero).

Tabla 36.

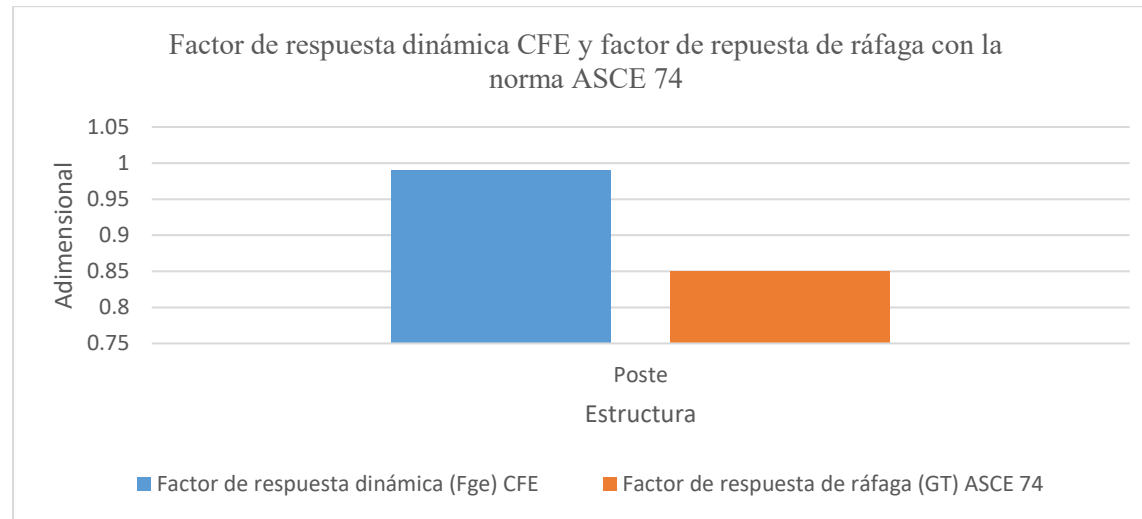
Factor de respuesta dinámica con la norma CFE y factor de respuesta de ráfaga con la norma ASCE 74.

Estructura	Factor de respuesta dinámica (F_{ge})	Factor de respuesta de ráfaga (G_T)
(Texto)	(Adimensional)	(Adimensional)
Poste	0.99	0.85

Nota: Elaboración propia.

Figura 23.

Comparación del factor de respuesta de ráfaga con la norma CFE y factor de respuesta de ráfaga con la norma ASCE 74.



Nota: Elaboración propia.

4.6.4. Presiones del viento

4.6.4.1. Presiones del viento según la norma CFE

De lo desarrollado anteriormente se obtuvo que la presión del viento sobre el poste es la siguiente:

- Presión dinámica equivalente de la estructura (P_{ze}).

$$P_{ze} = 52.20 \text{ kg/m}^2$$

4.6.4.2. Presiones del viento según la norma ASCE 74

De lo desarrollado anteriormente se obtuvo que la presión del viento sobre el poste es la siguiente:

- Presión del viento en la estructura

$$P_e = 43.89 \text{ kg/m}^2$$

4.6.4.3. Presiones del viento según la norma CNE

Según la norma CNE la presión del viento que afecta a un poste se calcula de la siguiente forma:

Figura 25.

Viento y temperatura para zonas de carga.

Viento y temperatura para las zonas de carga A, B y C (Para ser utilizado con la regla 250.B)			
Zona de Carga	A	B	C
	Ligera	Regular	Fuerte
Velocidad horizontal del viento	195 m/s de (70 km/h)	222 m/s (80 km/h)	25 m/s (90 km/h)
Temperatura	20 °C	15 °C	10 °C

Nota: Tomado del Código Nacional de Electricidad 2011. Tabla 250-1. A.

Figura 26.

Viento y temperatura para áreas de carga.

Viento hielo y temperatura para las áreas de carga 1 2 y 3 (Para ser utilizado con la Regla 250.B)				
Zona de carga	Área 0	Área 1	Área 2	Área 3
	elevación menor de 3 000 m.s.n.m.	elevación 3 000-4 000 m.s.n.m.	elevación 4 001-4 500 m.s.n.m.	elevación a partir de 4 500 m.s.n.m.
Caso de sólo viento	26 m/s	29 m/s	315 m/s	335 m/s
Velocidad horizontal del viento	(94 km/h)	(104 km/h)	(113 km/h)	(120 km/h)
Temperatura °C	10 °C	5 °C	0 °C	-5 °C
Caso de sólo hielo				
Grosor radial del hielo mm	No hay	6 mm	25 mm	50 mm
Temperatura	0 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C
Caso combinado de hielo y viento				
Grosor radial del hielo	No hay	3 mm	12 mm	25 mm
Velocidad horizontal del viento	14 m/s (50 km/h)	145 m/s (52 km/h)	155 m/s (56 km/h)	17 m/s (61 km/h)
Temperatura	5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C

Nota: Tomado del Código Nacional de Electricidad 2011. Tabla 250-1. B.

Según lo considerado en el diseño tanto con la norma CFE y ASCE 74, el viento de diseño será de 100 km/h.

$$P_v = K \times V^2 \times S_f \times A$$

Ecuación 13

$$P_v = 0.613 \times 27.78^2 \times 1 \times A$$

$$P_v = 48.24 \text{ kg/m}^2$$

Donde:

- P_v : Presión del viento
- K: Constante de presión
- $K = 0.613$ para las elevaciones hasta 3000 m.s.n.m.
- $K = 0.613$ para las elevaciones hasta 3000 m.s.n.m.
- V: Velocidad del viento en m/s.
- S_f : Factor de forma, para estructuras cilíndricas $S_f=1$.
- A: Área proyectada en m².

Si bien la presión del viento de la norma CNE está en un rango intermedio entre las normas CFE y ASCE 74 (según resultados de la presión del viento); la incorporación de algunas consideraciones de las normas CFE y ASCE 74 a la CNE complementarían el diseño de las estructuras del sector electricidad. Se describe algunas consideraciones:

1. Mapas de Zonificación del Viento

Integrar mapas específicos de velocidad del viento, como el estándar J6100-54 de la norma CFE, para simplificar el diseño estructural de postes de C.A.C. según las distintas regiones del Perú. Esto permite:

- Adaptar los postes a las condiciones climáticas específicas de cada área.
- Aumentar la eficiencia en el diseño y la seguridad frente a eventos climáticos extremos.

2. Incorporar Factores Dinámicos

Emplear conceptos del estándar ASCE 74, que abordan los efectos dinámicos como vibraciones y fluctuaciones de carga en postes de C.A.C. Esto es particularmente relevante para:

- Regiones costeras o áreas ventosas, donde las velocidades de viento tienden a ser mayores.
- Mejorar la resistencia de las estructuras frente a movimientos dinámicos no considerados en diseños estáticos simples.

3. Adaptación de Metodologías Internacionales

Plantear fórmulas, como las de la ASCE 74 y la CFE, ajustándolas a las condiciones locales de Perú. Esto implica:

- Modificar las velocidades del viento y otros parámetros según datos climáticos peruanos.
- Aumentar la confiabilidad en el diseño de postes en contextos locales.

4. Clasificación de Postes

Implementar un sistema de clasificación para los postes de C.A.C. basado en su importancia o función. Esto incluye:

- Postes críticos: Aquellos en zonas de alta importancia, donde una falla tiene graves consecuencias.
- Postes secundarios: Menor relevancia operativa, pero aún necesarios.

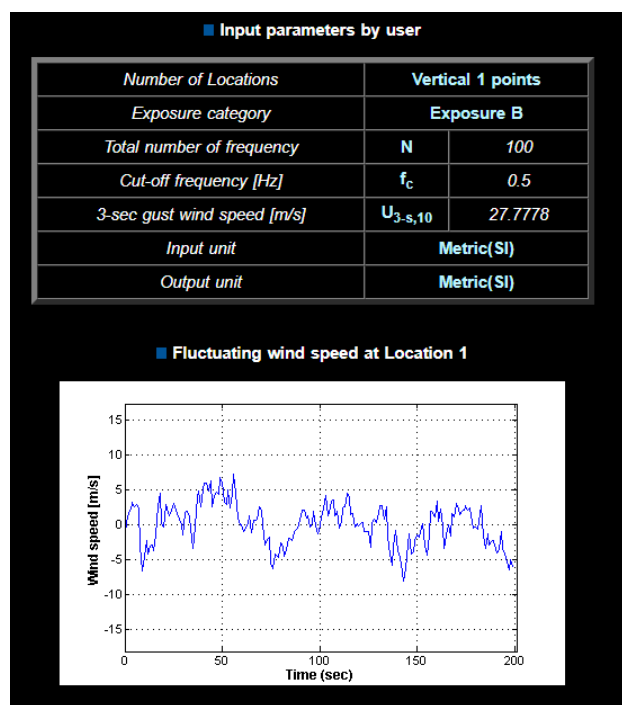
Este enfoque establece un criterio más estricto para los postes de mayor relevancia, mejorando su diseño y reduciendo riesgos.

4.6.5. Análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento

Para determinar el análisis dinámico bajo las cargas de viento, fue necesario simular campos de vientos aleatorios. Para este proceso se utilizó el simulador en línea denominado NatHaz On-line Wind Simulator (NOWS) para obtener las historias de viento. Para simular las cargas de viento es necesario tomar en cuenta la rugosidad del terreno y la velocidad de ráfaga del viento.

Figura 27.

Parámetros de entrada y velocidad del viento fluctuante



Nota: Resultado obtenido del NatHaz On-line Wind Simulator. Elaboración propia.

Con el historial de viento fluctuante obtenido en unidades de metros sobre segundos (m/s) en función del tiempo (segundos), se procedió a determinar las cargas en toneladas (Ton) en función del tiempo (segundos). Estas cargas en función del tiempo permitieron realizar el análisis

dinámico tiempo-historia para obtener los desplazamientos del poste tanto con la norma CFE y ASCE 74. Estos resultados fueron comparados con los desplazamientos del análisis estático obtenidos anteriormente.

Tabla 37.

Desplazamientos con carga de máxima sin hielo CFE, tomando en cuenta la velocidad fluctuante del viento

Punto (Texto)	Caso de salida (Texto)	Tipo de caso (Texto)	U1 (m)	U2 (m)	U3 (m)
1	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.000001954	0.0	-0.000096
~2	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.00000528	0.0	-0.00016
~3	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.000008518	0.0	-0.000209
~4	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.000012	0.0	-0.000257
2	1.0(PC+PF+PA+PE+VTC+VTF+VTE)	Combination	0.000016	4.166E-20	-0.000301

Nota: Elaboración propia.

Tabla 38.

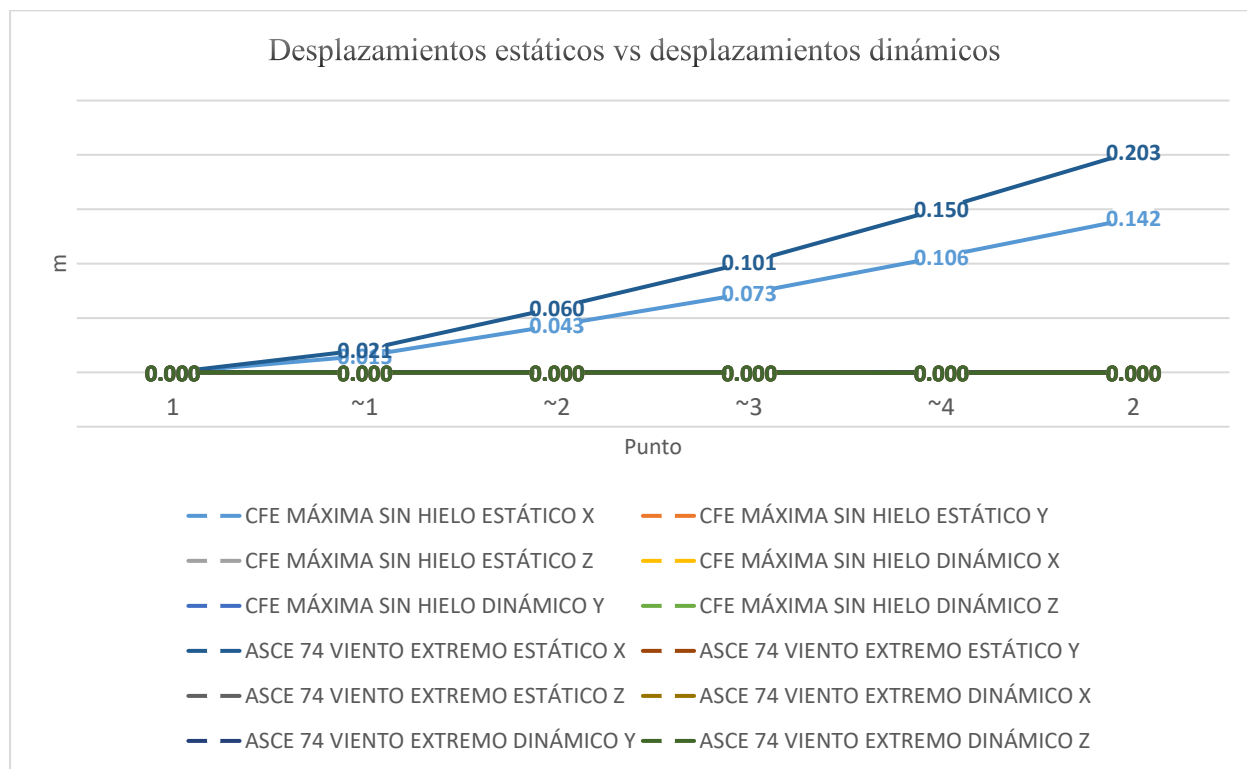
Desplazamientos con carga de viento extremo ASCE 74, tomando en cuenta la velocidad fluctuante del viento

Punto (Texto)	Caso de salida (Texto)	Tipo de caso (Texto)	U1 (m)	U2 (m)	U3 (m)
1	1.2D+1W	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	1.2D+1W	Combination	0.000002443	0.0	-0.000115
~2	1.2D+1W	Combination	0.000006689	0.0	-0.000192
~3	1.2D+1W	Combination	0.000011	0.0	-0.00025
~4	1.2D+1W	Combination	0.000016	0.0	-0.000309
2	1.2D+1W	Combination	0.000021	3.956E-20	-0.000361

Nota: Elaboración propia.

Figura 28.

Comparación de resultados de desplazamientos del análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento



Nota: Elaboración propia.

En la figura 28 se aprecia que los desplazamientos que se producen en el poste de C.A.C. con las normas de la CFE y ASCE 74 son los más altos al aplicar la velocidad estática del viento, sin embargo, los desplazamientos que se producen al aplicar la velocidad fluctuante del viento son los más bajos.

4.6.6. Análisis sísmico

Para el análisis sísmico del poste de C.A.C. de alta tensión, se utilizó el análisis estático equivalente indicado en la norma E.030 del reglamento nacional de edificaciones.

Los parámetros están detallados en el anexo.

Tabla 39.

Esfuerzos con cargas sísmicas

Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	S11
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf/m2)
0.0	COMB1	Combination	Max	-65.48
5.9	COMB1	Combination	Max	-63.36
5.9	COMB1	Combination	Max	-63.36
9.45	COMB1	Combination	Max	-63.71
9.9	COMB1	Combination	Max	-63.95
9.9	COMB1	Combination	Max	-63.95
12.6	COMB1	Combination	Max	-65.8
12.6	COMB1	Combination	Max	-65.8
12.9	COMB1	Combination	Max	-66.16
12.9	COMB1	Combination	Max	-66.16
15.9	COMB1	Combination	Max	-71.35
15.9	COMB1	Combination	Max	-71.35
18.9	COMB1	Combination	Max	-81.72

Nota: Elaboración propia.

Tabla 40.

Momentos con cargas sísmicas

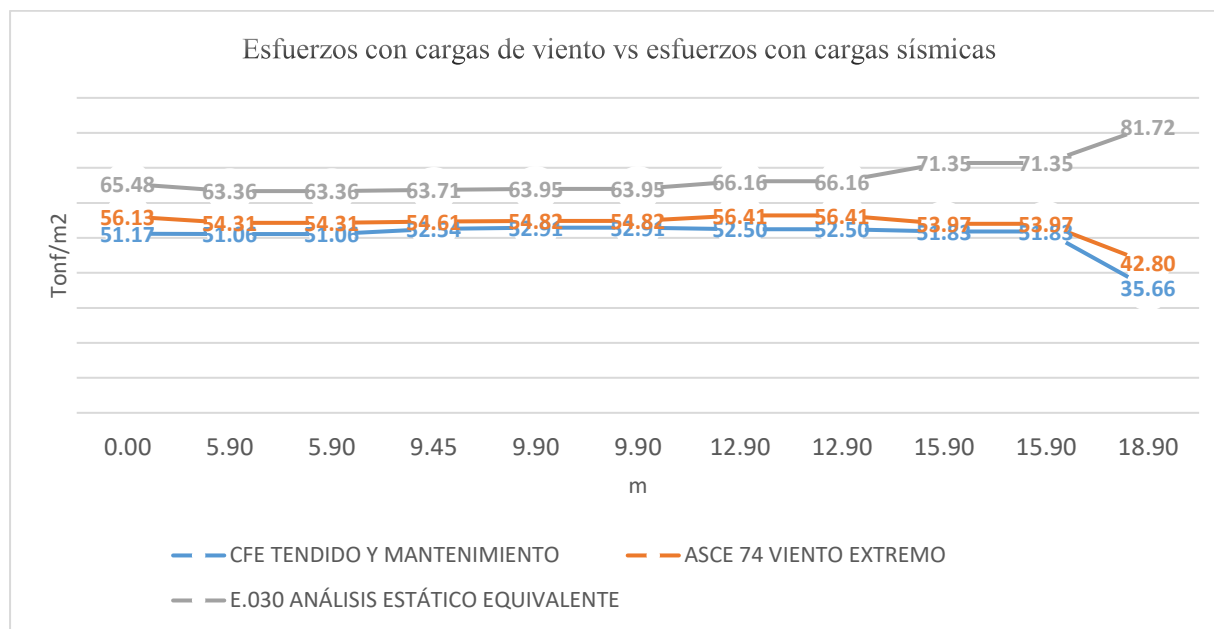
Z	Caso de salida	Tipo de caso	Valor	M3
(m)	(Texto)	(Texto)	(Texto)	(Tonf-m)
0.0	COMB2	Combination	Max	67.62046
5.9	COMB2	Combination	Max	37.88571
5.9	COMB2	Combination	Max	37.88571
9.45	COMB2	Combination	Max	20.66705
9.9	COMB2	Combination	Max	18.48441
9.9	COMB2	Combination	Max	18.48441
12.6	COMB2	Combination	Max	5.87667
12.6	COMB2	Combination	Max	5.87667
12.9	COMB2	Combination	Max	5.52581
12.9	COMB2	Combination	Max	5.52581
15.9	COMB2	Combination	Max	2.51588
15.9	COMB2	Combination	Max	2.51588
18.9	COMB2	Combination	Max	1.705E-13

Nota: Elaboración propia.

Tabla 41.*Desplazamientos con cargas sísmicas*

Punto (Texto)	Caso de salida (Texto)	Tipo de caso (Texto)	U1 (m)	U2 (m)	U3 (m)
1	COMB2	Combination	0.0	0.0	0.0
~1	COMB2	Combination	0.101271	0.0	-0.000115
~2	COMB2	Combination	0.288337	0.0	-0.000192
~3	COMB2	Combination	0.481891	0.0	-0.000251
~4	COMB2	Combination	0.700813	0.0	-0.000313
2	COMB2	Combination	0.93585	0.0	-0.000382

Nota: Elaboración propia.

Figura 29.*Comparación de resultados de esfuerzos con cargas de viento y cargas sísmicas*

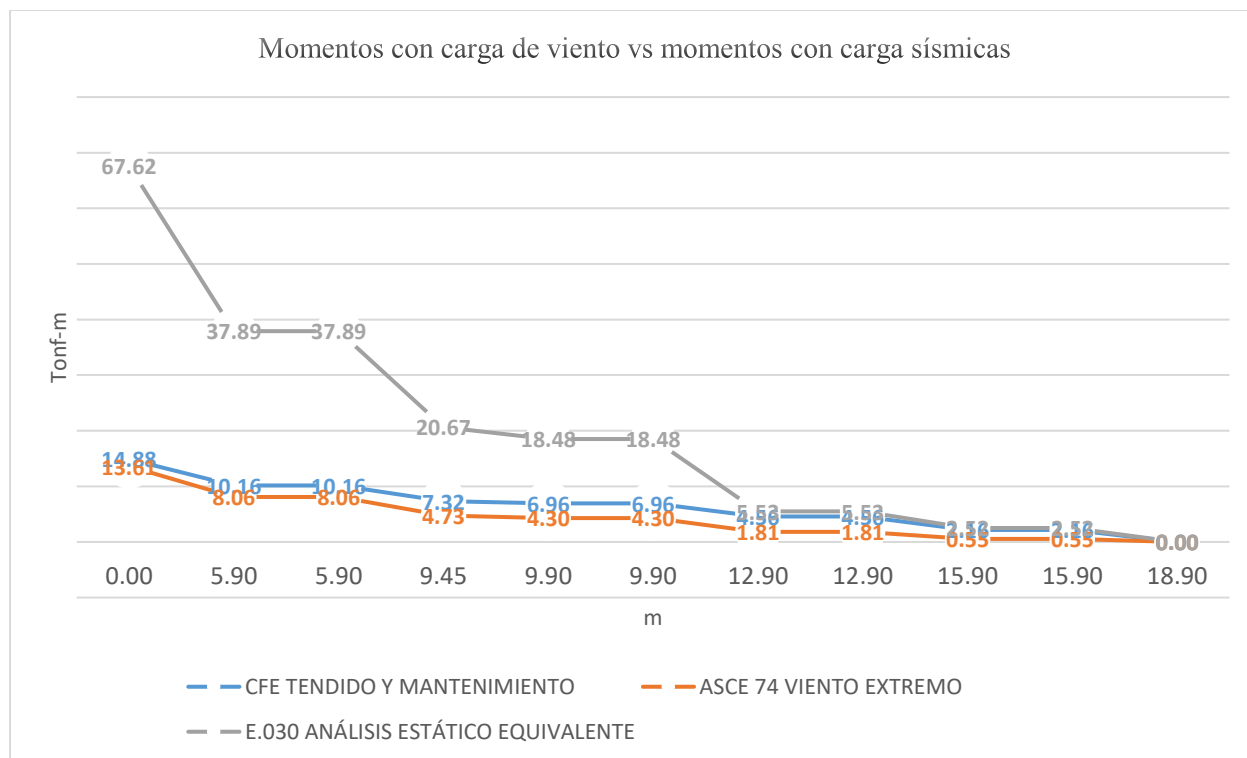
Nota: Elaboración propia.

En la figura 29 se aprecia que los esfuerzos máximos que se producen en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar las cargas sísmicas (análisis estático equivalente) de la norma E.030, sin

embargo, los esfuerzos mínimos se presentan al aplicar las cargas de viento (tendido y mantenimiento) de la norma CFE.

Figura 30.

Comparación de resultados de momentos con cargas de viento y cargas sísmicas

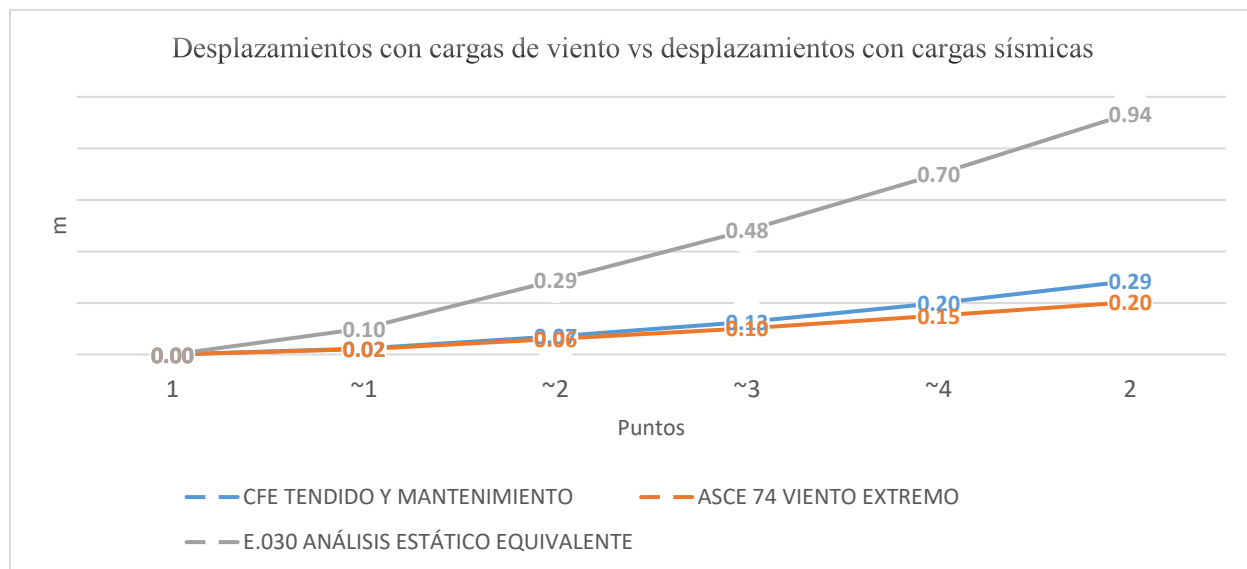


Nota: Elaboración propia.

En la figura 30 se aprecia que los momentos máximos que se producen en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar las cargas sísmicas (análisis estático equivalente) de la norma E.030, sin embargo, los esfuerzos mínimos se presentan al aplicar las cargas de viento (viento extremo) de la norma ASCE 74.

Figura 31.

Comparación de resultados de desplazamientos con cargas de viento y cargas sísmicas



Nota: Elaboración propia.

En la figura 31 se aprecia que los desplazamientos máximos que se producen en el poste de C.A.C. se presentan al aplicar las cargas sísmicas (análisis estático equivalente) de la norma E.030, sin embargo, los desplazamientos mínimos se presentan al aplicar las cargas de viento (viento extremo) de la norma ASCE 74.

4.7. Verificación de la hipótesis de investigación

Para el tratamiento estadístico inferencial, primero se hará la contrastación de las hipótesis específicas para luego llegar a la contrastación de la hipótesis general.

4.7.1. Hipótesis específica 1

- Existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.1.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 42.

Normalidad, esfuerzos con la norma CFE y ASCE 74.

Pruebas de normalidad							
RESPUESTA. ESTRUCTURAL. ESFUERZOS	RESPUESTA. ESTRUCTURAL. ESFUERZOS	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.1	ESFUERZO NORMA CFE	,321	19	,000	,762	19	,000
	ESFUERZO NORMA ASCE 74	,322	19	,000	,762	19	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 42, se aprecia que los niveles de significancia son 0.000 y 0.000. Ambos valores menores al valor de $P = 0.05$; por lo tanto, se acepta la H1; es decir los datos no siguen una distribución normal.

Finalmente se procede a establecer si existe diferencia de medias a través de una prueba no paramétrica con dos muestras independientes, para ello se realizará la prueba de U de Mann Whitney.

4.7.1.2. Prueba estadística: U de Mann Whitney

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , Ho: No existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 43.

Tabla 43.

Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (Esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74), rangos.

Rangos				
	RESPUESTA ESTRUCTURAL ESFUERZOS	N	Rango promedio	Suma de rangos
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.1	ESFUERZO NORMA CFE	19	11,68	222,00
	ESFUERZO NORMA ASCE 74	19	27,32	519,00
	Total	38		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 43, se aprecia que el rango promedio de esfuerzos con la norma CFE es 11.68 y el rango promedio de esfuerzos con la norma ASCE 74 es 27.32.

Tabla 44.

Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (Esfuerzos con la norma CFE y esfuerzos con la norma ASCE 74), significancia.

Estadísticos de prueba^a	
	CARGAS. VIENTO. OBJETIVO.1
U de Mann-Whitney	32,000
W de Wilcoxon	222,000
Z	-4,339
Sig. asintótica (bilateral)	,000
Significación exacta [2* (sig. unilateral)]	,000 ^b

a. Variable de agrupación:
RESPUESTA.ESTRUCTURAL.
ESFUERZOS

b. No corregido para empates.

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 44, se aprecia que el nivel de significancia es 0.000 menor al valor de $P = 0.05$; se acepta la H1 y se concluye estadísticamente que, si existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.2. Hipótesis específica 2

- Existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.2.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 45.

Normalidad, momentos con la norma CFE y ASCE 74.

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
RESPUESTA. ESTRUCTURAL. MOMENTOS		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.2	MOMENTO NORMA CFE	,249	19	,003	,772	19	,000
	MOMENTO NORMA ASCE 74	,219	19	,017	,806	19	,001

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 45, se aprecia que los niveles de significancia son 0.000 y 0.001. Ambos valores son menores al valor de $P = 0.05$; por lo tanto, se acepta la H1; es decir los datos no siguen una distribución normal.

Finalmente se procede a establecer si existe diferencia de medias a través de una prueba no paramétrica con dos muestras independientes, para ello se realizará la prueba de U de Mann Whitney.

4.7.2.2. Prueba estadística: U de Mann Whitney

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , Ho: No existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 46.

Tabla 46.

Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (Momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74), rangos.

Rangos				
	RESPUESTA. ESTRUCTURAL. MOMENTOS	N	Rango promedio	Suma de rangos
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.2	MOMENTO NORMA CFE	19	17,87	339,50
	MOMENTO NORMA ASCE 74	19	21,13	401,50
	Total	38		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 46, se aprecia que el rango promedio de momentos con la norma CFE es 17.87 y el rango promedio de momentos con la norma ASCE 74 es 21.13.

Tabla 47.

Prueba U de Mann Whitney, comparación de medias (Momentos con la norma CFE y momentos con la norma ASCE 74), significancia.

Estadísticos de prueba^a	
	CARGAS. VIENTO. OBJETIVO.2
U de Mann-Whitney	149,500
W de Wilcoxon	339,500
Z	-,907
Sig. asintótica (bilateral)	,364
Significación exacta [2* (sig. unilateral)]	,370 ^b

a. Variable de agrupación:
RESPUESTA. ESTRUCTURAL.
MOMENTOS

b. No corregido para empates.

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 47, se aprecia que el nivel de significancia es 0.364 mayor al valor de $P = 0.05$; se acepta la H_0 y se concluye estadísticamente que, no existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.3. Hipótesis específica 3

- Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.3.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 48.

Normalidad, desplazamientos con la norma CFE y ASCE 74.

		Pruebas de normalidad					
RESPUESTA. ESTRUCTURAL. DESPLAZAMIENTOS		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.3	DESPLAZAMIENTO NORMA CFE	,145	6	,200*	,961	6	,825
	DESPLAZAMIENTO NORMA ASCE 74	,146	6	,200*	,959	6	,815

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 48, se aprecia que los niveles de significancia son 0.825 y 0.815. Siendo 0.825 mayor al valor de P = 0.05 y 0.815 mayor al valor de P = 0.05; por lo tanto, se acepta la Ho; es decir los datos siguen una distribución normal.

4.7.3.2. Igualdad de varianza

Prueba de Levene

- Si el valor de P es $>$ Alfa (0.05) se acepta H_0 : Las varianzas son iguales
- Si el valor de P es \leq Alfa (0.05) se acepta H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas

Tabla 49.

Igualdad de varianza, desplazamientos con la norma CFE y desplazamientos con la norma ASCE

74.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.3	Se asumen varianzas iguales	,970	,348
	No se asumen varianzas iguales		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 49, se aprecia que el nivel de significancia es 0.348 mayor al valor de $P = 0.05$ por lo tanto, se acepta H_0 ; es decir las varianzas son iguales.

4.7.3.3 Prueba estadística: T Student

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Si el valor de P es < 0.05 , H_1 : Si existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 50.

Tabla 50.

Prueba T Student, comparación de medias (desplazamientos con la norma ASCE 74 y desplazamientos con la norma CFE).

prueba t para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
-.671	10	,518	-.0260000	.0387770	-.1124005	.0604005
-.671	8,958	,519	-.0260000	.0387770	-.1137822	.0617822

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 50, se tiene un valor de $P = 0.518$ mayor que 0.05 ; se acepta la H_0 y se concluye estadísticamente que, no existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.4. Hipótesis específica 4

- Existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.4.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 51.

Normalidad, factor de respuesta dinámica con la norma CFE y ASCE 74.

Pruebas de normalidad							
	RESPUESTA. ESTRUCTURAL. FACTOR.RESPUESTA. DINAMICA.RAFAGA	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.4	FACTOR DE RESPUESTA DINAMICA NORMA CFE	,189	6	,200*	,976	6	,928
	FACTOR DE RESPUESTA DE RAFAGA ASCE 74	,141	6	,200*	,961	6	,824

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 51, se aprecia que los niveles de significancia son 0.928 y 0.824. Siendo 0.928 mayor al valor de P = 0.05 y 0.824 mayor al valor de P = 0.05; por lo tanto, se acepta la Ho; es decir los datos siguen una distribución normal.

4.7.4.2. Igualdad de varianza

Prueba de Levene

- Si el valor de P es $>$ Alfa (0.05) se acepta H_0 : Las varianzas son iguales.
- Si el valor de P es \leq Alfa (0.05) se acepta H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 52.

Igualdad de varianza, factor de respuesta dinámica con la norma CFE y factor de respuesta dinámica con la norma ASCE 74.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.4	Se asumen varianzas iguales	1,679	,224
	No se asumen varianzas iguales		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 52, se aprecia que el nivel de significancia es 0.224 mayor al valor de $P = 0.05$ por lo tanto, se acepta H_0 ; es decir las varianzas son iguales.

4.7.4.3 Prueba estadística: T Student

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 53.

Tabla 53.

Prueba T Student, comparación de medias (factor de respuesta de ráfaga con la norma ASCE 74 y factor de respuesta dinámica con la norma CFE).

prueba t para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
1,461	10	,175	.1000000	.0684511	-.0525186	.2525186
1,461	7,609	,184	.1000000	.0684511	-.0592722	.2592722

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 53, se tiene un valor de $P = 0.175$ mayor que 0.05 ; se acepta la H_0 y se concluye estadísticamente que, no existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.5. Hipótesis específica 5

- Existe diferencia significativa en la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.5.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 54.

Normalidad, presión del viento con la norma CFE y ASCE 74.

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
RESPUESTA ESTRUCTURAL PRESIÓN.VIENTO		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.5	PRESION DE VIENTO CFE	,266	6	,200*	,831	6	,111
	PRESIÓN DE VIENTO ASCE 74	,216	6	,200*	,940	6	,663

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 54, se aprecia que los niveles de significancia son 0.111 y 0.663. Ambos valores son mayores al valor de $P = 0.05$; por lo tanto, se acepta la Ho; es decir los datos siguen una distribución normal.

4.7.5.2. Igualdad de varianza

Prueba de Levene

- Si el valor de P es $>$ Alfa (0.05) se acepta H_0 : Las varianzas son iguales.
- Si el valor de P es \leq Alfa (0.05) se acepta H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 55.

Igualdad de varianza, presión del viento con la norma CFE y presión del viento con la norma ASCE 74.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.5	Se asumen varianzas iguales	73,384	,000
	No se asumen varianzas iguales		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 55, se aprecia que el nivel de significancia es 0.000 menor al valor de $P = 0.05$ por lo tanto, se acepta H_1 ; es decir existe diferencia significativa entre las varianzas.

4.7.5.3 Prueba estadística: T Student

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe relación significativa entre los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión y las cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 56.

Tabla 56.

Prueba T Student, comparación de medias (presión del viento con la norma ASCE 74 y presión del viento con la norma CFE).

prueba t para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
-.665	10	,521	-4.9116667	7.3818878	-21.3595376	11.5362043
-.665	5,395	,533	-4.9116667	7.3818878	-23.4767779	13.6534445

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 56, se tiene un valor de $P = 0.533$ mayor que 0.05 ; se acepta la H_0 y se concluye estadísticamente que, no existe diferencia significativa en la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.6. Hipótesis específica 6

- Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.6.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 57.

Normalidad, desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74.

		Pruebas de normalidad					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
RESPUESTA. ESTRUCTURAL. ESTÁTICO.DINÁMICO		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.MIENTO. OBJETIVO.6	DESPLAZAMIENTO ESTÁTICO	,146	6	,200 [*]	,959	6	,815
	DESPLAZAMIENTO DINÁMICO	,143	6	,200 [*]	,964	6	,847

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 57, se aprecia que los niveles de significancia son 0.815 y 0.847. Ambos valores son mayores al valor de P = 0.05; por lo tanto, se acepta la Ho; es decir los datos siguen una distribución normal.

4.7.6.2. Igualdad de varianza

Prueba de Levene

- Si el valor de P es $>$ Alfa (0.05) se acepta H_0 : Las varianzas son iguales.
- Si el valor de P es \leq Alfa (0.05) se acepta H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 58.

Igualdad de varianza, desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.6	Se asumen varianzas iguales	16,422	,002
	No se asumen varianzas iguales		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 58, se aprecia que el nivel de significancia es 0.002 menor al valor de $P = 0.05$ por lo tanto, se acepta H_1 ; es decir existe diferencia significativa entre las varianzas.

4.7.6.3 Prueba estadística: T Student

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 59.

Tabla 59.

Prueba T Student, comparación de medias (desplazamientos estáticos y dinámicos con las normas CFE y ASCE 74).

prueba t para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
2,808	10	,019	.0891571	.0317526	.0184079	.1599064
2,808	5,000	,038	.0891571	.0317526	.0075345	.1707798

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 59, se tiene un valor de $P = 0.038$ menor que 0.05 ; se acepta la H1 y se concluye estadísticamente que, si existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.7. Hipótesis específica 7

- Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.7.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es menor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Shapiro-Wilk con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 60.

Normalidad, respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas.

Pruebas de normalidad							
	RESPUESTA. ESTRUCTURAL.VIENTO. SISMO	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.7	DESPLAZAMIENTO POR VIENTO	,164	6	,200*	,945	6	,703
	DESPLAZAMIENTO POR SISMO	,145	6	,200*	,962	6	,833

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 60, se aprecia que los niveles de significancia son 0.703 y 0.833. Ambos valores son mayores al valor de $P = 0.05$; por lo tanto, se acepta la Ho; es decir los datos siguen una distribución normal.

4.7.7.2. Igualdad de varianza

Prueba de Levene

- Si el valor de P es $>$ Alfa (0.05) se acepta H_0 : Las varianzas son iguales.
- Si el valor de P es \leq Alfa (0.05) se acepta H_1 : Existe diferencia significativa entre las varianzas.

Tabla 61.

Igualdad de varianza, respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas.

		Prueba de Levene de igualdad de varianzas	
		F	Sig.
CARGAS.VIENTO. OBJETIVO.7	Se asumen varianzas iguales	7,624	,020
	No se asumen varianzas iguales		

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 61, se aprecia que el nivel de significancia es 0.020 menor al valor de $P = 0.05$ por lo tanto, se acepta H_1 ; es decir existe diferencia significativa entre las varianzas.

4.7.7.3 Prueba estadística: T Student

Prueba de hipótesis:

Para alfa = 0.05, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

- Si el valor de P es < 0.05 , H1: Si existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

El resultado del software SPSS se observa en la tabla 62.

Tabla 62.

Prueba T Student, comparación de medias (respuesta estructural con cargas de viento y cargas sísmicas).

prueba t para la igualdad de medias						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Diferencia de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
-1,962	10	,078	-.3006667	.1532200	-.6420622	.0407288
-1,962	5,918	,098	-.3006667	.1532200	-.6768488	.0755155

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 62, se tiene un valor de $P = 0.098$ mayor que 0.05 ; se acepta la H_0 y se concluye estadísticamente que, no existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.8. Hipótesis general

- Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

4.7.8.1. Normalidad de los datos

Planteamiento de hipótesis

- Ho: Los datos siguen una distribución normal.
- H1: Los datos no siguen una distribución normal.

Para un alfa = 0.05, es decir con 95% de confianza.

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , se acepta Ho.
- Si el valor de P es < 0.05 , se acepta la H1.

El número de los datos es mayor a 25; por lo tanto, se aplica la prueba de Kolmogorov-Smirnov con el software SPSS.

Después de aplicar el SPSS se obtiene:

Tabla 63.

Normalidad, respuesta estructural del poste con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74.

		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
RESPUESTA. ESTRUCTURAL		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
CARGAS.VIENTO	ESFUERZO NORMA CFE	,321	19	,000	,762	19	,000
	ESFUERZO NORMA ASCE 74	,322	19	,000	,762	19	,000
	MOMENTO NORMA CFE	,249	19	,003	,772	19	,000
	MOMENTO NORMA ASCE 74	,219	19	,017	,806	19	,001
	DESPLAZAMIENTO NORMA CFE	,167	6	,200*	,957	6	,796
	DESPLAZAMIENTO NORMA ASCE 74	,146	6	,200*	,958	6	,803
	FACTOR RESPUESTA DINAMICA NORMA CFE	,189	6	,200*	,976	6	,928
	FACTOR RESPUESTA RAFAGA NORMA ASCE 74	,141	6	,200*	,961	6	,824
	PRESION VIENTO NORMA CFE	,266	6	,200*	,831	6	,111
	PRESION VIENTO NORMA ASCE 74	,216	6	,200*	,940	6	,663
	DESPLAZAMIENTO ESTATICO	,146	6	,200*	,959	6	,815
	DESPLAZAMIENTO DINAMICO	,143	6	,200*	,964	6	,847
	DESPLAZAMIENTO POR VIENTO	,164	6	,200*	,945	6	,703
	DESPLAZAMIENTO POR SISMO	,145	6	,200*	,962	6	,833

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 52, se aprecia que los niveles de significancia son 0.000, 0.000, 0.003, 0.017, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200, 0.200 y 0.200. Como existe valores de niveles de significancia mayores y menores al valor de $P = 0.05$, se acepta la H_1 ; es decir los datos no siguen una distribución normal.

Finalmente se procede a establecer si existe diferencia de medias a través de una prueba no paramétrica con varias muestras independientes, para ello se realizará la prueba de Kruskal-Wallis.

4.7.6.2. Prueba estadística: Kruskal-Wallis

Prueba de hipótesis:

Para $\alpha = 0.05$, se plantea que si:

- Si el valor de P es ≥ 0.05 , H_0 : No existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- Si el valor de P es < 0.05 , H_1 : Si existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

Tabla 64.

Prueba Kruskal-Wallis, comparación de medias (respuesta estructural con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74), rangos.

Rangos				
	RESPUESTA ESTRUCTURAL	N	Rango promedio	
CARGAS.VIENTO	ESFUERZO NORMA CFE	19	105,68	
	ESFUERZO NORMA ASCE 74	19	123,84	
	MOMENTO NORMA CFE	19	53,39	
	MOMENTO NORMA ASCE 74	19	58,97	
	DESPLAZAMIENTO NORMA CFE	6	22,33	
	DESPLAZAMIENTO NORMA ASCE 74	6	24,50	
	FACTOR RESPUESTA DINAMICA NORMA CFE	6	59,83	
	FACTOR RESPUESTA RAFAGA NORMA ASCE 74	6	55,83	
	PRESION VIENTO NORMA CFE	6	105,83	
	PRESION VIENTO NORMA ASCE 74	6	96,50	
	DESPLAZAMIENTO ESTATICO	6	25,17	
	DESPLAZAMIENTO DINAMICO	6	13,58	
	DESPLAZAMIENTO POR VIENTO	6	26,92	
	DESPLAZAMIENTO POR SISMO	6	39,50	
	Total		136	

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 64, se aprecia que el rango promedio mayor es del esfuerzo con la norma CFE con un valor de 123.84 y el rango promedio menor es del desplazamiento dinámico con un valor de 13.58.

Tabla 65.

Prueba de Kruskal-Wallis, comparación de medias (respuesta estructural con la norma CFE y respuesta estructural con la norma ASCE 74).

Estadísticos de prueba^{a,b}

	CARGAS. VIENTO
H de Kruskal-Wallis	112,273
gl	13
Sig. asintótica	,000

a. Prueba de Kruskal Wallis

b. Variable de agrupación:
RESPUESTA.
ESTRUCTURAL

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 65, se aprecia que el nivel de significancia es 0.000 menor al valor de $P = 0.05$; se acepta la H_1 y se concluye estadísticamente que, si existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se tratan los resultados de la respuesta estructural del poste de alta tensión sometido a cargas de viento. Los resultados, que se contrastan con investigaciones anteriores y se examinan a continuación, han identificado una serie de factores que afectan la respuesta estructural del poste. A partir de los resultados obtenidos, se acepta la hipótesis general que establece que, si existe relación significativa entre la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión y las cargas de viento mediante los métodos de la norma ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.

En el artículo científico de García et al., (2018). “Análisis estructural de postes para soporte de líneas de transmisión de energía eléctrica”. El autor refiere que, los desplazamientos para el caso de empotramiento perfecto del poste en el suelo tuvieron los siguientes resultados: a una velocidad de 5 m/s el desplazamiento es 0.2 m, a una velocidad de 10 m/s el desplazamiento es 0.25 m, a una velocidad de 15 m/s el desplazamiento es 0.31 m y a una velocidad de 20 m/s el desplazamiento es 0.41. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación, dado que a una velocidad de 27.78 m/s el desplazamiento obtenido con la norma CFE fue de 0.28 m y el desplazamiento obtenido con la norma ASCE 74 fue de 0.20 m. Tomando en cuenta el desplazamiento máximo que debe tener un poste (6 % de la longitud útil según norma NTP 339.027), el poste de madera de 11.60 m de longitud útil, tiene un desplazamiento de 0.41 m (desplazamiento máximo permisible 0.69 m) y el poste de alta tensión de 18.90 m de longitud útil, tiene desplazamientos de 0.28 m con la norma CFE y 0.20 m con la norma ASCE 74 (desplazamiento máximo permisible 1.13 m). Todos los desplazamientos están dentro del rango permisible según lo indicado en la norma NTP 339.027.

En el artículo científico de Fu et al. (2020). “Gust Response Factor of a Transmission Tower Under Typhoon”. Los autores refieren que, los factores de respuesta de ráfagas bajo el viento sinóptico están en el rango de 1.29 – 1.50 según el estándar chino. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación, debido a que el viento analizado en esta investigación es de 27.78 m/s, menor a la velocidad de viento de diseño de postes para no agrietarse (mayor a 40 m/s, viento sinóptico) según ASCE 123 y ASCE 74 (2020)). El valor del factor de respuesta de ráfaga de la estructura a una velocidad de 27.78 m/s fue de 0.85, el cual está debajo de los valores del estándar chino bajo el viento sinóptico.

En el artículo científico de Azzi et al. (2021). “Aeroelastic modeling to study the wind-induced response of a self-supported lattice tower”. Los autores refieren que, el momento máximo en la base de la torre de transmisión fue de 350 KN.m aproximadamente a una velocidad del viento de 92 m/s; además el valor del factor de respuesta de ráfagas de la torre de transmisión dio como resultado 0.88. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación, debido a que el momento máximo obtenido en la base con la norma CFE fue de 145.92 KN.m y el momento máximo obtenido en la base con la norma ASCE 74 fue de 133.47 KN.m a una velocidad del viento de 27.78 m/s. Los valores obtenidos son menores debido a la velocidad del viento, siendo directamente proporcional (a mayor velocidad del viento, mayor es el momento en la base). Además, el valor del factor de respuesta de ráfaga de la estructura obtenido en la presente investigación fue 0.85, cercano al valor del factor de respuesta de ráfaga del artículo científico que fue 0.88.

En el artículo científico de Fu et al. (2021). “On-Site measured gust response factors of transmission towers based on SHM system”. Los autores refieren que, los resultados de las mediciones muestran que, a mayor intensidad de turbulencia, mayor factor de respuestas de ráfagas

(GRF). A velocidades de viento bajas, cuanto mayor es la velocidad del viento, menor es la GRF; a la inversa, a velocidades de viento altas, una mayor velocidad del viento conduce a una mayor GRF con una velocidad crítica del viento de aproximadamente 9 m/s. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación, debido a que, al aumentar la escala de turbulencia, aumenta el factor de respuesta de ráfaga esto es demostrado a través de la siguiente tabla:

Tabla 66.

Relación entre longitud integral de escala de turbulencia y factor de respuesta de ráfagas.

Estructura	Norma	Categoría de exposición	Longitud integral de escala de turbulencia (L_s)	Constante de intensidad de turbulencia (C_{exp})	Factor de respuesta de ráfaga (Adimensional)
Poste	ASCE 74	B	170	0.300	0.810
Poste	ASCE 74	C	220	0.200	0.850
Poste	ASCE 74	D	250	0.150	0.870

Nota: Elaboración propia.

Además, de la concordancia de la presente investigación con el artículo de Fu et al. (2021), se determinó que el factor de respuesta dinámica del poste, guarda relación con el aumento de la presión del viento tal como se parecía en las siguientes tablas:

Tabla 67.

Factor de respuesta dinámica sobre el poste y cables.

Estructura	Norma	Terreno tipo	Escala de turbulencia del viento L_s	Factor de respuesta dinámica (Adimensional)	Presión del viento (kg/m^2)
Poste	CFE	1	72.10	1.080	56.940
Cable	CFE	1	72.10	0.940	24.880
Poste	CFE	2	63.70	1.070	56.280
Cable	CFE	2	63.70	0.890	23.400
Poste	CFE	3	53.50	0.990	52.200
Cable	CFE	3	53.50	0.770	20.330
Poste	CFE	4	44.50	0.910	48.130
Cable	CFE	4	44.50	0.660	17.350

Nota: Elaboración propia.

Tabla 68.

Factor de respuesta de ráfagas sobre el poste y cables.

Estructura	Norma	Categoría de exposición	Longitud integral de escala de turbulencia L_s	Factor de respuesta de ráfaga (Adimensional)	Presión del viento (kg/m ²)
Poste	ASCE 74	B	170	0.810	42.08
Cable	ASCE 74	B	170	0.660	35.27
Poste	ASCE 74	C	220	0.850	43.89
Cable	ASCE 74	C	220	0.730	39.22
Poste	ASCE 74	D	250	0.870	45.07
Cable	ASCE 74	D	250	0.770	41.63

Nota: Elaboración propia.

De las tablas definimos que, a mayor escala de turbulencia en ambas normas, mayor será el factor de respuesta dinámica de la estructura por lo tanto también será mayor la presión del viento que actúe sobre el poste y los cables.

En el artículo científico de Yao et al. (2022). “Wind tunnel tests of an aeroelastic model of a long-span transmission tower”. Los autores refieren que, el desplazamiento medio (en lo alto de la torre) en la dirección Y e X cuando el ángulo de incidencia del viento es 0° es casi similar en ambas direcciones, además los desplazamientos aumentan con la altura y el aumento de la velocidad, como en el caso de la velocidad de 63.15 m/s a una altura de 220 m el desplazamiento es 0.22 m aproximadamente y a una altura de 359.5 m el desplazamiento es 0.41 m. También mencionan que el factor de respuesta de ráfaga (GRF) de la torre en dirección X es 1.33 y el factor de respuesta a ráfaga en dirección Y es 1.37. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación, debido a que el poste de alta tensión de longitud útil de 18.90 m a una exposición de viento de 27.78 m/s, presenta un desplazamiento de 0.14 m con la norma CFE y un desplazamiento de 0.20 m con la norma ASCE 74, a mayor altura del poste mayor será el desplazamiento. Además; al aumentar la longitud integral de escala de turbulencia, aumenta el

factor de respuesta de ráfaga de la estructura, esto es demostrado a través de la tabla 55 de la presente investigación.

En el artículo científico de Azzi et al. (2022). “Aeroelastic modeling to investigate the wind induced response of a multi span transmission lines system”. Los autores refieren que, los valores del factor de respuesta de ráfagas de las torres del sistema de líneas de transmisión (GRFT) sugeridos por ASCE 74 (2010) dieron como resultado 0.88 y los valores del factor de respuesta de ráfagas en los conductores del sistema de líneas de transmisión (GRFC) dieron como resultado 0.74. Esta afirmación expresa concordancia con la presente investigación debido a que el valor del factor de respuesta de ráfaga en la estructura obtenido en la presente investigación fue 0.85, cercano al valor del factor de respuesta de ráfaga de la estructura en el artículo científico que fue 0.88; y el factor de respuesta de ráfagas de los cables obtenidos en la investigación fue 0.73, cercano al valor de respuesta de ráfaga de los cables en el artículo científico fue de 0.74.

VI. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se estimó la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, donde se determinó que los valores obtenidos con la norma ASCE 74 son menos conservadoras que los valores obtenidos con la norma CFE en lo que respecta a momentos y desplazamientos del poste; además, los resultados de ambas normas están dentro del rango permisible de la norma NTP 339.027. Así mismo, en la contrastación de la hipótesis general, se determinó que sí existe relación significativa entre la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión y las cargas de viento mediante los métodos de la norma ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.
- El esfuerzo máximo obtenido en el poste de C.A.C. de alta tensión fue de 46.77 Tonf/m² con la carga de servicio de la norma CFE, tomando en cuenta las cargas muertas, peso de los accesorios y peso de los cables en el poste (combinación de cargas afectadas por un factor de amplificación de 1); pero el esfuerzo máximo obtenido en el poste de C.A.C. de alta tensión fue de 56.13 Tonf/m² con la carga de viento extremo de la norma ASCE 74, tomando en cuenta las cargas muertas, peso de los accesorios y peso de los cables en el poste (combinación de cargas afectadas por un factor de amplificación de 1.2). Este valor del esfuerzo máximo varió al aplicar combinaciones de cargas, siendo el máximo valor con la norma CFE de 54.43 Tonf/m² con la carga de tendido y mantenimiento; y el máximo valor con la norma ASCE 74 de 73.59 Tonf/m² con la carga de construcción y mantenimiento.
- El momento máximo obtenido en la base del poste de C.A.C. de alta tensión fue 14.88 Tonf-m con la norma CFE aplicando la carga de tendido y mantenimiento; y el momento

máximo de 13.61 Tonf-m con la norma ASCE 74 aplicando la carga de viento extremo. Estos valores están relacionados con la presencia de la presión del viento sobre el poste y cables al aplicar ambas normas; siendo la presión del viento con la norma ASCE 74 de 43.89 kg/m² sobre el poste y de 39.22 kg/m² sobre los cables; y la presión del viento con la norma CFE de 52.20 kg/cm² sobre el poste y de 20.33 kg/m² sobre los cables.

- El desplazamiento máximo obtenido en la cima del poste de C.A.C. de alta tensión fue de 0.28 m con la norma CFE aplicando la carga de tendido y mantenimiento; y de 0.20 m metros con la norma ASCE 74 aplicando la carga de viento extremo. Ambos valores están dentro del rango permisible indicado en la norma NTP 339.027, donde se menciona que el desplazamiento máximo no debe exceder el 6% de la longitud útil del poste.
- El factor de respuesta dinámica obtenido con la norma CFE para el poste fue de 0.99 y para los cables fue de 0.77; y el factor de respuesta de ráfaga obtenido con la norma ASCE 74 para el poste fue de 0.85 y para los cables fue de 0.73. Estos resultados determinan el factor de respuesta dinámica del poste y guardan relación con el aumento de la presión del viento que afecta a la estructura tal como se indicó en las tablas 61 y 62.
- La presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión es menos conservador al utilizar la norma del CNE y es más conservador al utilizar la norma ASCE 74. Las normas internacionales incluyen en sus lineamientos, aspectos relacionados a la turbulencia del viento, componente muy importante que en algunos análisis generan esfuerzos, momentos y desplazamientos por encima del viento estático.
- La velocidad del viento estático gobierna el comportamiento estructural del poste de C.A.C. de alta tensión, debido a que los desplazamientos en la cima del poste tuvieron los siguientes valores, de 0.142 m al aplicar la carga máxima sin hielo de la norma CFE y

0.203 m al aplicar la carga de viento extremo de la norma ASCE 74. Los desplazamientos generados por la velocidad del viento fluctuante no generan un desplazamiento significativo en la cima del poste de C.A.C. Este tipo de soporte (tipo suspensión) de líneas de transmisión tienen alta rigidez estructural lo que hace que a bajas intensidades de cargas dinámicas (velocidad del viento fluctuante transformadas en presiones) generen mínimas vibraciones sobre el poste de C.A.C.

- La respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión es menos conservador al aplicar cargas de viento, debido a que el valor máximo del desplazamiento fue 0.285 m en comparación al aplicar cargas sísmicas que dieron como valor máximo 0.935 m. Es indispensable diseñar los soportes de las líneas de transmisión considerando las cargas sísmicas, debido a que muestra el escenario más conservador. También se concluye que, al aplicar las cargas sísmicas el desplazamiento máximo (0.935 m) no excede el 6% de la longitud útil del poste (1.134 m).

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda ampliar la investigación de la respuesta estructural de soportes de líneas de transmisión eléctrica con otras normas relacionadas al viento, donde se evalué la condición estática y dinámica de la estructura. Además, se recomienda evaluar con las normas CFE y ASCE 74 aquellos soportes tipo anclaje, debido a que estos están con mayor tensión debido al ángulo que forman respecto al eje de la línea aérea.
- Se recomienda determinar con precisión el metrado del peso de los accesorios que van en el poste y el peso de los cables (todas las fases incluyendo la fibra) que ejercen sobre el poste, porque estos valores junto con las combinaciones de cargas según el tipo de análisis, determinan las fuerzas a las que estará sometida la estructura.
- Se recomienda analizar la respuesta estructural del poste en dirección del viento a 0° y 30° ; debido a que darían resultados diferentes en lo que respecta a momentos tomando en cuenta que estarían más alineados a la tensión de los cables (fases) que llegan al poste y a la presión del viento sobre los cables, en comparación con el viento en dirección transversal (90°) que se realizó en esta investigación.
- Se recomienda realizar investigaciones aplicando las normas CFE y ASCE 74 y otras normas relacionadas con el viento, en postes de mayor altura y de secciones diferentes, para estimar el desplazamiento máximo y si estos están dentro del rango permisible de las normas peruanas.
- Se recomienda realizar investigaciones para estimar el factor de respuesta dinámica de los soportes de líneas de transmisión aplicando normas que abarquen la turbulencia del viento. Además; sería de gran aporte comparar el factor de respuesta de ráfaga de los postes de alta

tensión utilizando otras normas internacionales y aplicando el viento sinóptico y túnel de viento.

- Se recomienda implementar en la norma del CNE parámetros del viento en base al tipo de terreno o a la categoría de exposición en la que estará sometido el poste de C.A.C., tomando como referencia normas internacional con terrenos semejantes a nuestro país.
- Se recomienda incluir el análisis del efecto dinámico (análisis tiempo-historia) del viento fluctuante sobre los soportes de líneas de transmisión eléctrica en la norma del CNE.
- Se recomienda estimar la respuesta estructural de los soportes de las líneas de transmisión bajo cargas de sismo cuando se encuentren en zonas altamente sísmicas (zona 2, 3 y 4 en el Perú). Para zonas no tan sísmicas (zona 1), la respuesta estructural debe estimarse bajo cargas de viento.

VIII. REFERENCIAS

- Aboshosha, H., El Damatty, A., & Hamada, A. (2016). Dynamic behaviour of transmission lines structures under synoptic wind loads. *Conference: CIGRE-IEC Colloquium*.
https://www.researchgate.net/publication/303819358_Dynamic_Behaviour_of_Transmission_Lines_Structures_under_Synoptic_Wind_Loads
- Arroyo Contreras, M. (2015). *Efectos de vientos en estructuras*. ResearchGate.
https://www.researchgate.net/publication/282649701_EFECTO_DE_VIENTO_EN_ESTRUCTURAS
- American Society of Civil Engineers. (2020). *Guidelines for electrical transmission line structural loading*, (4th ed.) ASCE manuals and reports on engineering practice.
- Azzi, Z., Elawady, A., Irwin, P., Chowdhury, A. G., & Shdid, C. A. (2021). Aeroelastic modeling to study the wind-induced response of a self-supported lattice tower. *Engineering Structures*, 245(0).
https://www.researchgate.net/publication/353547122_Aeroelastic_modeling_to_study_the_wind-induced_response_of_a_self-supported_lattice_tower
- Azzi, Z., Elawady, A., Irwin, P., Chowdhury, A. G., & Shdid, C. A. (2022). Aeroelastic modeling to investigate the wind-induced response of a multi-span transmission lines system. *Engineering Structures*, 34(2), 231–257.
https://www.researchgate.net/publication/358965356_Aeroelastic_modeling_to_investigate_the_wind_induced_response_of_a_multi_span_transmission_lines_system
- Beer J, G. (2013). *Mecánica Vectorial Para Ingenieros*. McGraw-Hill.
- Beltrán Revillard, A. M. (2011). “*Efectos de las cargas de viento sobre las estructuras. Análisis de la norma Nch 432 of 71*” [Tesis de licenciatura, Universidad Austral de Chile].

- <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcib453e/doc/bmfcib453e.pdf>
- Bendezú Romero, L. M. (2021). *Desempeño sísmico y estado de daño en edificios aporticados de concreto armado, mediante curvas de fragilidad en lima 2020* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/4997>
- Benites, E. (2022). *Cavitación hidrodinámica para la reducción de cromo hexavalente en aguas residuales de la industria galvánica, Lima 2020* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6211>
- Cabero, J., & Llorente, M. (2013). La aplicación del juicio de experto como técnica de evaluación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC). *Eduweb*, 7(2), 11–22. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4857163>
- Calderón, I., Tapia, P.M., Velazco C, F., Chacaltana B, C.A., Morales R, Maria del Carmen, Gutiérrez, D. y Sifeddine, A. (2016). Flujo de arena mineral transportada por el viento en el borde costero de la bahía de Paracas durante fines de otoño e invierno del año 2008. INGEMMET. XVIII Congreso peruano de geología. <https://hdl.handle.net/20.500.12544/2803>
- Chay, M. T., Albermani, F. & Wilson, R. (2006). Numerical and analytical simulation of downburst wind loads. *Engineering Structures*, 28(2), 240–254.
- Código nacional de electricidad. (2011). *Suministro 2011*. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898589/C%C3%B3digo_Nacional_de_Electricidad_Suministro_2011_.pdf?v=1593533921
- Comisión federal de electricidad. (2012). *Manual para diseño electromecánico de líneas de transmisión aéreas*.
- Comisión Federal de Electricidad - CFE. (2019). *Especificación CFE J6100-54. Postes metálicos*

para líneas de transmisión y subtransmisión de 69 kv y mayores.

<https://lapem.cfe.gob.mx/normas/pdfs/f/J6100-54.pdf>

Comisión Federal de Electricidad - CFE. (2020). *Manual de diseño de obras civiles. Diseño por viento. Capítulo C.1.4.* <https://es.scribd.com/document/511751047/Manual-de-Diseno-de-Obras-Civiles-Por-Viento-2020>

Escarsa. (2020). *Postes de concreto armado centrifugado.* <https://www.escarsa.com/wp-content/uploads/2020/07/TDT-POSTES-DE-CONCRETO-ARMADO-CENTRIFUGADO-DE-12M-A-18M.pdf>

Fang, S., Wabg, Z., Zhu, R., & Huang, H. (2022). Study on Wind-Induced Response of Transmission Tower-Line System under Downburst Wind. *Buildings*, 12(7), 891. <https://doi.org/10.3390/buildings12070891>

Fu, X., Du, W.-L., Li, H.-N., Xie, W.-P., Xioa, K., & Lei, X. (2020). Gust response factor of a transmission tower under typhoon. *International journal of structural stability and dynamics*, 21(1), 2150001.

Fu, X., Wenlong, D., Li, H., & Ren, L. (2021). On-Site Measured Gust Response Factors of Transmission Towers Based on SHM System. *Journal of Aerospace Engineering*, 34, 04020104. https://www.researchgate.net/publication/348123151_On-Site_Measured_Gust_Response_Factors_of_Transmission_Towers_Based_on_SHM_System

García D., Detke F., Metrailler M., Miranda R., Mercanti J., y Moller O. (2018). Análisis estructural de postes para soporte de líneas de transmisión de energía eléctrica. Asociación Argentina de mecánica computacional. *Mecánica Computacional*, XXXVI, 901-910. <https://cimec.org.ar/~mstorti/MECOM2018/paper-5864.pdf>

- García de Yebenés, J., Rodríguez, F., & Carmona, L. (2009). Validación de cuestionarios. *Reumatología Clínica*, 5(4), 171–177. <https://www.reumatologiaclinica.org/es-validacion-cuestionarios-articulo-S1699258X09000497>
- Guo, J., Xiao, C., & Li, J. (2021). Wind tunnel tests and dynamic analysis of wind-induced response of a transmission tower on a hill. *Advances in Structural Engineering*, 24(15), 1–13. <https://doi.org/10.1177/136943322111033>
- Hawes, H., & Dempsey, D. (1993). Review of recent Australian transmission line failures due to high intensity winds. *Proceedings of the Task Force of High Intensity Winds on Transmission Lines*.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill
- Holmes, J. D., Hangan, H. M., Schroeder, J. L., Letchford, C. W., & Orwig, K. (2008). A forensic study of the lubbock-Reese downdraft of 2002. *Wind Struct*, 11(2), 137–152. <https://doi.org/https://doi.org/10.12989/was.2008.11.2.137>
- Holmes, J. D., & Oliver, S. (2000). An empirical model of a downburst. *Engineering Structures*, 22(9), 1167–1172. https://www.researchgate.net/publication/222082435_An_empirical_model_of_a_downburst
- Ibrahim, A. M. (2017). Behaviour of Pre-stressed Concrete Transmission Poles under oles under High Intensity Wind. *Electronic Thesis and Dissertation Repository*. 5029. <https://ir.lib.uwo.ca/etd/5029>
- Ibrahim, I., El Damatty, A., & Elawady, A. (2019). The dynamic effect of downburst winds on the

- longitudinal forces applied to transmission towers. *Frontiers in Built Environment*, 5 (*Ingeniería y ciencia eólica*), 1–14. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00059>
- Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual - INDECOPI. (2008). *NTP 339.027 Hormigón (Concreto). Postes de hormigón (concreto) armado para líneas aéreas*.
- Itusaca Maldonado, Dianet R., Choquehuanca Yapura, Eli R., Montesinos Tamara, Rody S., & Pari Cusi, Herson Duberly. (2023). Evaluación de la presión del viento en edificios de poca altura con coberturas metálicas a escala real en la ciudad de Juliaca. *Revista ingeniería de construcción*, 38(3), 397-418. <https://dx.doi.org/10.7764/ric.00077.2>
- Letchford, C., Mans, C., & Chay, M. (2002). Thunderstorms—their importance in wind engineering (a case for the next generation wind tunnel). *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 90(12–15), 1415–1433. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(02\)00262-3](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(02)00262-3)
- Li, C. Q. (2000). A stochastic model of severe thunderstorms for transmission line design. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 15(4), 359-364. [https://doi.org/10.1016/S0266-8920\(99\)00037-5](https://doi.org/10.1016/S0266-8920(99)00037-5)
- Li, H., & Bai, H. (2006). High-voltage transmission tower-line system subjected to disaster loads. *Progress in Natural Science*, 16(9), 889–911. <https://www.nsf.gov.cn/csc/20345/24371/pdf/2006/High-voltage%20transmission%20tower-line%20system%20subjected%20to%20disaster%20loads.pdf>
- Malhotra, N. (2008). *Investigación de mercados* Perason Editorial.
- Nasimba et al., (2020). *Introducción a las líneas de transmisión*, Editorial Grupo Compás,

Guayaquil Ecuador, 124 pág.

NatHaz On-line Wind Simulator. http://windsim.ce.nd.edu/int_winsim.html

Pelaez, N. (2022). *Influencia del diseño multidisciplinario y la ejecución de una obra sostenible en la fase de funcionamiento del sistema de inversión pública* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. <https://hdl.handle.net/20.500.13084/6391>

Ramírez, A., Ampa, I., & Ramírez, K. (2007). *Tecnología de la investigación* (M. SRL (ed.); 1°).

Reyes-Ramírez, Anabel, Estrada-Cingualbres, Roberto Andrés, Rosa-Melián, Julio Ernesto de la, & Pérez-Rodríguez, Roberto. (2022). Procedimiento para la simulación de las cargas de viento extremo en las cubiertas ligeras metálicas. *Ingeniería Mecánica*, 25(2), 9-16. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442022000200009&lng=es&tlng=es.

Reglamento nacional de edificaciones. (2019). *III.2. Estructuras. Norma E.030. Diseño sismorresistente*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366641/51%20E.030%20DISE%C3%91O%20SISMORRESISTENTE%20RM-043-2019-VIVIENDA.pdf>

Reglamento Nacional de Edificación. (2021). *III.2. Estructuras. Norma E.020. Cargas*.

<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50%20E.020%20CARGAS.pdf>

Ricalde Estrada, G. Y. (2019). *Análisis Dinámico comparativo Modal espectral Vs Tiempo historia de una estructura con muros de ductilidad limitada, Villa el Salvador-2019*. Lima [Tesis de maestría, Universidad Privada de Tacna].

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49656/Ricalde EGY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49656/Ricalde_EGY-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rojas Molinares, L. F. (2017). *Comportamiento del sistema de transmisión eléctrica de líneas*

- aéreas de alta tensión conformado por torres metálicas en celosía ante solicitaciones sísmicas y de viento* [Tesis de maestría, Universidad de los Andes].
<http://hdl.handle.net/1992/34080>
- Rosado Cisneros, J. E. (2016). *Análisis comparativo del impacto de presiones dinámicas de viento sobre una torre de transmisión mediante el uso de dinámica de fluidos computacional* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Autónoma de México].
<http://132.248.52.100:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/11206>
- Ruiz de Abarca, M. S. (2018). *Soluciones para el diseño y construcción de cimentaciones de torres de transmisión eléctrica de alta tensión* [Tesis de licenciatura, Universidad de el Salvador].
<https://hdl.handle.net/20.500.14492/16417>
- Savory, E., Parke, G., Zeinoddini, M., Toy, N., & Disney, P. (2001). Modeling of tornado and microburst induced wind loading and failure of a lattice transmission tower. *Eng. Struct.*, 23, (365–375). <https://www.eng.uwo.ca/people/esavory/engstruct.pdf>
- Shu, Z. R., Chan, P. W., Li, Q. S., & He, Y. C. (2021). Dynamic Characterization of Wind Speed under Extreme Conditions by Recurrence-Based Techniques: Comparative Study. *ASCE*, 34(2), 1–8.
- Solari, G. (2014). Emerging issues and new frameworks for wind loading on structures in mixed climates. *Wind and Structures*, 19(3), 295–320.
<https://doi.org/10.12989/was.2014.19.3.295>
- Solís, F.M. (2016). *Evaluación de los desplazamientos laterales ante eventos sísmicos en las edificaciones de la ciudad de Juliaca* [Tesis de licenciatura, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/731>
- Sun, Q., Wu, J., Wang, D., Xiang, Y., Liu, H., & Sun, X. (2020). Analysis of the quasi-static

- buffeting responses of transmission lines to moving downburst. *Buildings*, 124(1), 287–302. <https://doi.org/10.32604/cmes.2020.09118>
- Tarazona Silva, E. U. (2018). *La cultura financiera y su influencia en el nivel de endeudamiento de los trabajadores de RR.HH. de la Sunat, Lima, 2018* [Tesis de licenciatura, Universidad Inca Garcilazo de la Vega]. <https://hdl.handle.net/20.500.11818/3746>
- Tian, L., Zhang, X., & Fu, X. (2020). Fragility analysis of a long-span transmission tower–line system under wind loads. *Avances En Ingeniería Estructural*, 23(10), 210–2120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1177/1369433220903983>
- Vivanco Vallejos, R. A. (2018). *Comportamiento estático y dinámico de estructuras en líneas de transmisión de energía eléctrica debido a la acción del viento* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://hdl.handle.net/20.500.14076/14723>
- Wyss, G. O., De Bortoli, M. E., & Castro, H. G. (2022). Análisis del comportamiento estático y dinámico en Líneas de Transmisión. *AJEA (Actas De Jornadas Y Eventos Académicos De UTN)*, (15). <https://doi.org/10.33414/ajea.1121.2022>
- Yang, T., Cechet, R. P., & Nadimpalli, K. (2014). Local Wind Assessment in Australia: Computation Methodology for Wind Multipliers. *Geoscience Australia*. <https://exposed.net.au/rec2014033.pdf>
- Yao, J., Shen, G., Tu, Z., Chen, Y., & Lou, W. (2022). Wind Tunnel Tests of an Aeroelastic Model of a Long-Span Transmission Tower. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811613>
- Zhang, Y. (2006). Status quo of wind hazard prevention for transmission lines and countermeasures. *East China Electric Power*, 34(3), 28–31.
- Zhu B., Su Z., Hunag G., & Liao H. (2021). Research on the material properties of corroded angle

steel members of the in-service transmission tower. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 825.

Zúñiga Cuevas, O., & Terán Gilmore, A. (2012). Control de aceleraciones de entrepiso para sistemas estructurales con aislamiento sísmico de base. *Revista Ingeniería Sísmica*, (87), 25–45. <https://doi.org/10.18867/ris.87.155>

IX. ANEXO

6.1. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

RESPUESTA ESTRUCTURAL DEL POSTE DE ALTA TENSIÓN SOMETIDO A CARGAS DE VIENTO, SAN MARTIN DE PORRES 2023

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA / NIVELES DE MEDICIÓN	INSTRUMENTOS	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN METO
Problema General: ¿En qué medida varía la respuesta estructural del poste de concreto armado centrifugado de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de American Society of Civil Engineers 74 y la Comisión Federal de Electricidad, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	Objetivo General: Evaluar la variación de la respuesta estructural del poste de C.A.C de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	Hipótesis: Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	Independiente					Tipo: Aplicada
				ASCE 74	- Velocidad de viento máximo (V50m) - Factor de respuesta de ráfagas (Gw) - Fuerza de viento máximo (F50m)	Razón	- Ficha técnica - Smath Studio	Nivel: Explicativo Diseño: Cuasi-experimental Enfoque: Cuantitativo Población: Los postes número 3, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 de C.A.C de alta tensión de la L622 / L6756, en el distrito de San Martín de Porres 2023
			Cargas de viento	CFE	- Velocidad básica de diseño (VD) - Presión dinámica de base (qz) - Factor de respuesta dinámica de la estructura (Fge) - Presión dinámica de la estructura (Pze) - Factor de respuesta dinámica de los cables (Fgc) - Presión dinámica de los cables (Pzc) - Factor de respuesta de ráfagas (FRR)	Razón	- Ficha técnica - Smath Studio	Muestra: El poste 3 de C.A.C de alta tensión de la L622 / L6756, en el distrito de San Martín de Porres 2023 Muestreo: No probabilístico por conveniencia

Problemas específicos:	Objetivos específicos:	Hipotesis específicas	Dependiente					Técnica: Observación y análisis de contenido cuantitativo
PE1: ¿En qué medida varían los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE1: Evaluar la variación de los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE1: Existe diferencia significativa en los esfuerzos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	Respuesta estructural de postes de alta tensión	Comportamiento estructural	- Esfuerzos	Razón	- Ficha técnica - SAP 2000	Instrumentos: - Guía de observación -ficha técnica - Revisión de documentos - Smath Studio - Sap2000
PE2: ¿En qué medida varían los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE2: Evaluar la variación de los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE2: Existe diferencia significativa en los momentos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			- Momentos	Razón	- Ficha técnica - SAP 2000	
PE3: ¿En qué medida varían los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE3: Evaluar la variación de los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE3: Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			- Desplazamientos	Razón	- Ficha técnica - SAP 2000	
PE4: ¿En qué medida varía el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE4: Evaluar la variación del factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento mediante los métodos de la ASCE 74 y la CFE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE4: Existe diferencia significativa en el factor de respuesta dinámica del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74 y la CFE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			- Factor de respuesta dinámica	Razón	- Ficha técnica - Smath studio	
PE5: ¿En qué medida varía la presión de viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OES: Evaluar la variación de la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión mediante los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE5: Existe diferencia significativa en la presión del viento sobre el poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utilizan los métodos de la ASCE 74, la CFE y el CNE bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			- Presión del viento	Razón	- Revisión de documentos	
PE6: ¿En qué medida varían los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE6: Evaluar la variación de los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión mediante el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE6: Existe diferencia significativa en los desplazamientos del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se utiliza el análisis estático y análisis dinámico bajo las mismas condiciones de viento, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			- Velocidad fluctuante del viento	Razón	- Ficha técnica - Sap2000	
PE7: ¿En qué medida varía la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023?	OE7: Evaluar la variación de la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión sometido a cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.	HE7: Existe diferencia significativa en la respuesta estructural del poste de C.A.C. de alta tensión cuando se aplican cargas de viento y cargas sísmicas, en el distrito de San Martín de Porres 2023.			Parámetros de demanda sísmica	Razón	- Ficha técnica - Sap2000	

6.2. Cálculo de las cargas del viento según la CFE

Factor de respuesta dinámica de la estructura

$$F_{ge} = \frac{1}{g_z^2} \left[1 + 12.86\sqrt{K} \left(\frac{10}{h_o} \right)^{\alpha'} \left(\frac{1}{1 + 0.563 \frac{h_o}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

Donde:

- ' g_z = Factor de ráfaga, variable según la altura z y se calcula de acuerdo al inciso A4.3 de esta especificación.
- α' = Factor de variación de potencia, es adimensional y se toma en función de la categoría del terreno de la tabla A5.
- L_s = Escala de turbulencia del viento, en metros y se toma en función de la categoría del terreno de la tabla A5.
- K = Factor de rugosidad del terreno, es adimensional y se toma en función de la categoría del terreno de la tabla A5.
- ' h = Altura total de la estructura sobre el nivel del terreno, en metros.
- ' h_o = Altura de referencia de la estructura en metros, debe tomarse como $2/3 h$.

TABLA A5 - Factor de variación de potencia, de turbulencia del viento y rugosidad del terreno

Terreno tipo	K	Ls	α'
1	0.0030	72.10	0.121
2	0.0065	63.70	0.164
3	0.0142	53.50	0.216
4	0.0318	44.50	0.262

$$k_1 := 0.0142$$

$$L_s := 53.50$$

$$\alpha' := 0.216$$

$$'h := 19 \text{ m}$$

$$'h_o := \frac{2}{3} 'h = 12.67 \text{ m}$$

$$z_e := 'h \cdot \frac{2}{3} = 12.67 \text{ m}$$

A.4.3 Cálculo del Factor de Ráfaga, para Convertir Velocidades de un Tiempo de Promediación de 3 s a un Tiempo de 10 min

$$g_z = \left(\frac{1 - \left\{ 0.6226 \left[k \left(\frac{z}{\delta} \right)^\eta - \xi \right]^{1.2716} * \ln \left(\frac{3}{3600} \right) \right\}}{1 - \left\{ 0.6226 \left[k \left(\frac{z}{\delta} \right)^\eta - \xi \right]^{1.2716} * \ln \left(\frac{600}{3600} \right) \right\}} \right)$$

TABLA A7 - Valores de κ , η , ξ y δ

	CATEGORÍA DEL TERRENO			
	1	2	3	4
κ	0.391	0.382	0.369	0.363
η	-0.032	-0.054	-0.096	-0.151
ξ	0.295	0.265	0.227	0.195
δ	245	315	390	455

$$\kappa_2 := 0.369 \quad \eta := -0.096 \quad \xi := 0.227 \quad \delta := 390$$

$$g_z := \frac{1 - \left(0.6226 \cdot \left(\kappa_2 \cdot \left(\frac{z_e}{\delta} \right)^\eta - \xi \right)^{1.2716} \cdot \ln \left(\frac{3}{3600} \right) \right)}{1 - \left(0.6226 \cdot \left(\kappa_2 \cdot \left(\frac{z_e}{\delta} \right)^\eta - \xi \right)^{1.2716} \cdot \ln \left(\frac{600}{3600} \right) \right)} = 1.55$$

$$F_{ge} := \frac{1}{g_z} \cdot \left(1 + 12.86 \cdot \sqrt{k_I} \cdot \left(\frac{10}{h_o} \right)^{\alpha'} \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.563 \cdot \frac{h_o}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 0.99$$

Coefficiente de arrastre de la estructura

$$b_p := 0.30 \text{ m} \quad (\text{diametro del poste a la altura de } \frac{2}{3})$$

$$H := z_e = 12.67 \text{ m}$$

$$\frac{H}{b_p} = 42.22$$

$$C_{ae} := 1.2$$

$$q_z := 354.925700790998 \text{ Pa}$$

Presión dinámica equivalente en la estructura

$$P_{ze} = F_{ge} C_{ae} q_z$$

$$P_{ze} := F_{ge} \cdot C_{ae} \cdot q_z = 421.52 \text{ Pa}$$

Factor de respuesta dinámica de los cables

$$L := 110 \text{ m}$$

$$F_{gc} = \frac{1}{g_z} \left[1 + 12.86 \sqrt{k_I} \left(\frac{10}{z} \right)^{\alpha'} \left(\frac{1}{1 + 0.8 \frac{L}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$$

$$z_c := \frac{2 \cdot 14.44 + 2 \cdot 16.57 + 2 \cdot 18.79}{6} = 16.6 \text{ m}$$

$$F_{gc} := \frac{1}{g_z} \cdot \left(1 + 12.86 \cdot \sqrt{k_I} \cdot \left(\frac{10}{z_c} \right)^{\alpha'} \cdot \left(\frac{1}{1 + 0.8 \cdot \frac{L}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right) = 0.77$$

$$C_{ac} := 1$$

Presión dinámica equivalente en los cables

$$P_{zc} = 0.6 F_{gc} C_{ac} q_z$$

$$P_{zc} := 0.6 \cdot F_{gc} \cdot C_{ac} \cdot q_z = 164.19 \text{ Pa}$$

6.3. Cálculo de las cargas del viento según la ASCE 74

CÁLCULO DE LAS CARGAS DE VIENTO CON LA NORMA ASCE 74 CUARTA EDICIÓN

DATOS PARA LOS CÁLCULOS

Ubicación: San Martín de Porres - Lima, Perú

MRI = 100 años

100 kmp = 62.1371 mph

Ruling span = 360.892 ft = 110 m

Wind span (distancia céntrica de vano a vano) = 393.701 ft = 120 m

Weight span (distancia más baja de vano a vano) = 393.701 ft = 120 m

Line angle = 1.5°

Length of insulator assembly (longitud del aislador) = 3.32021 ft = 1.012 m

Hardware weight = Weight of insulator assembly (peso del aislador) = 176.37 lb = 80 kg

No topographic effects, $K_{zt} = 1.0$

Wind pressures on wires for the two loading cases Wind and Wind at 30° Yaw Angle are calculated based on the wind span. For calculations of sags and tensions, the use of the ruling span is appropriate.

1. VIENTO TRANSVERSAL

1.1. Viento en los cables

Altura promedio del cable (Z_h)

$$Z_{hc} := \frac{2 \cdot (47.375328) + 2 \cdot (54.363517) + 2 \cdot (61.35171)}{6} = 54.36$$

$$K_z = 2.01 \left(\frac{z_h}{z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}}$$

$$K_z := 2.01 \cdot \left(\frac{Z_{hc}}{Z_g} \right)^{\frac{2}{9.5}} = 1.11$$

$$I_z = c_{exp} \left(\frac{33}{z_h} \right)^{\frac{1}{6}}$$

$$I_{zc} := c_{exp} \cdot \left(\frac{33}{Z_{hc}} \right)^{\frac{1}{6}} = 0.18$$

$$B_w = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0.8S}{L_s}}}$$

Datos:

$$Z_g := 900 \text{ ft}$$

$$\alpha := 9.5$$

$$C_{exp} := 0.2$$

$$s := 377.297 \text{ ft}$$

$$L_s := 220 \text{ ft}$$

$$Q := 0.00256 \text{ mph en psf}$$

$$K_{zt} := 1$$

$$V_{50} := 62.1371 \text{ mph}$$

$$C_{fW} := 1$$

$$B_w := \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{0.8 \cdot S}{L_s}}} = 0.65$$

$$G_w = \left(\frac{1 + 4.6 I_z B_w}{1 + 6.1 I_z} \right)$$

$$G_w := \left(\frac{1 + 4.6 \cdot I_{zc} \cdot B_w}{1 + 6.1 \cdot I_{zc}} \right) = 0.73$$

Presión del viento

$$\frac{F}{A} = Q K_z K_{zt} (V_{100})^2 G C_f$$

$$P_c := Q \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot (V_{50})^2 \cdot G_w \cdot C_{fW} = 8.03 \quad \text{psf} \quad \circ \quad P_c \cdot 4.882428 = 39.22 \quad \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

1.1.1. Cargas en el conductor

Carga vertical

$$V = W_c \cdot \text{weightspan} + \text{hardware weighth}$$

Datos:

$$W_c := 1.075 \quad \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$$

$$\text{weightspan} := 393.701 \quad \text{ft}$$

$$\text{hardwareweighth} := 176.37 \quad \text{lb}$$

$$V := W_c \cdot \text{weightspan} + \text{hardwareweighth} = 599.6 \quad \text{lb} \quad \circ \quad V \cdot 0.453592 = 271.97 \quad \text{kg}$$

Carga transversal

$$T = \text{wind pressure} \cdot A + 2 \cdot \text{wire tensión} \cdot \sin \Delta / 2$$

Datos:

$$\text{windpressure} := P_c \cdot \left(\frac{1.165}{12} \right) = 0.78$$

$$A := \text{weightspan} = 393.701 \quad \text{ft}$$

$$\text{wiretensión} := 8530 \quad \text{lb}$$

$$\Delta := 1.5 \quad ^\circ$$

$$T := \text{windpressure} \cdot A + 2 \cdot \text{wiretensión} \cdot \sin \left(\frac{\Delta}{2} \right) = 530.35 \quad \text{lb}$$

o

$$T \cdot 0.453592 = 240.56 \quad \text{kg}$$

1.2. Vientos en la estructura

$$Z_{hp} := \frac{2}{3} \cdot 68.8976 = 45.93 \text{ ft}$$

$$K_{zp} := 2.01 \cdot \left(\frac{Z_{hp}}{Z_g} \right)^{\frac{2}{\alpha}} = 1.07$$

$$I_{zp} := C_{exp} \cdot \left(\frac{33}{Z_{hp}} \right)^{\frac{1}{6}} = 0.19$$

$$B_t := \sqrt{\frac{1}{0.56 \cdot Z_{hp} \left(1 + \frac{L_s}{L_s} \right)}} = 0.95$$

$$G_t := \left(\frac{1 + 4.6 \cdot I_{zp} \cdot B_t}{1 + 6.1 \cdot I_{zp}} \right) = 0.85$$

Presión del viento

Datos:

$$C_{fp} := 0.90$$

$$A_p := 1.410761 \cdot 62.336 = 87.94 \text{ ft}^2$$

$$\frac{F}{A} = QK_z K_{zt} (V_{100})^2 GC_f$$

$$P_e := Q \cdot K_{zp} \cdot K_{zt} \cdot (V_{50})^2 \cdot G_t \cdot C_{fW} = 8.99 \text{ psf} \quad \circ \quad P_e \cdot 4.882428 = 43.89 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

$$F_{T.est} := P_e \cdot A_p = 790.54 \text{ lb} \quad \circ \quad F_{T.est} \cdot 0.453592 = 358.58 \text{ kg}$$

2. VIENTO DE GUIÑADA (30°)

2.1. Viento en los cables

$$\text{Presión de viento} \quad F_{con.30} := P_c \cdot \cos(30^\circ)^2 = 6.02 \text{ psf}$$

2.1.1. Cargas en el conductor

Carga vertical

$$V_{30} = W_c \cdot \text{weightspan} + \text{hardware weight}$$

Datos:

$$W_c := 1.075 \frac{\text{lb}}{\text{ft}}$$

$$\text{weightspan} := 393.701 \text{ ft}$$

$$\text{hardwareweight} := 176.37 \text{ lb}$$

$$V_{30} := W_c \cdot \text{weightspan} + \text{hardwareweight} = 599.6 \text{ lb}$$

$$\circ \quad V \cdot 0.453592 = 271.97 \text{ kg}$$

Carga transversal

$$T_{30} = \text{wind pressure} \cdot A + 2 \cdot \text{wire tensión} \cdot \sin \Delta/2$$

Datos:

$$\text{windpressure}_{30} := F_{\text{con. } 30} \cdot \left(\frac{1.165}{12} \right) = 0.58$$

$$A := \text{weightspan} = 393.701 \text{ ft}$$

$$\text{wiretensión} := 8530 \text{ lb}$$

$$T_{30} := \text{windpressure}_{30} \cdot A + 2 \cdot \text{wiretensión} \cdot \sin(0.75^\circ) = 453.59$$

o

$$T_{30} \cdot 0.453592 = 205.75 \text{ kg}$$

2.2. Viento en la estructura

$$F_{T.est} := P_e \cdot A_p = 790.54 \text{ lb}$$

o

$$F_{T.est} \cdot 0.453592 = 358.58 \text{ kg}$$

3. VIENTO DE CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO

Presión del viento $F_{CyM} := 3 \text{ psf}$

3.1. Viento en los cables

La pendiente de tracción es de 3 horizontales a 1 vertical.

$$V_{CyM.1} := 1.5 \cdot 5971 \cdot \frac{1}{3} + 1.5 \cdot 1.075 \cdot \frac{\text{weightspan}}{2} + 1.5 \cdot \text{hardwareweight} = 3567.48 \text{ lb}$$

o

$$V_{CyM.1} \cdot 0.453592 = 1618.18 \text{ kg}$$

$$V_{CyM.2} := 2 \cdot 1.075 \cdot \text{weightspan} + 2 \cdot \text{hardwareweight} = 1199.2 \text{ lb} \quad \circ \quad V_{CyM.2} \cdot 0.453592 = 543.95 \text{ kg}$$

$$T_{CyM} := 1.5 \cdot 3 \cdot \frac{1 \cdot 165}{12} \cdot \text{weightspan} + 1.5 \cdot 2 \cdot 5971 \cdot \sin(0.75^\circ) = 406.47 \text{ lb} \quad \circ \quad T_{CyM} \cdot 0.453592 = 184.37 \text{ kg}$$

3.2. Viento en la estructura

Presión del viento = $1.5 \cdot 3 = 4.5 \text{ psf}$

$$F_{CyM} := 4.5 \text{ psf}$$

$$F_{T.CyM} := F_{CyM} \cdot A_p = 395.74 \text{ lb} \quad \circ \quad F_{T.CyM} \cdot 0.453592 = 179.5 \text{ kg}$$

4. CONTENCIÓN DE FALLAS

Este caso de carga se basa en la carga estática residual de un conductor roto o alambre blindado (0 psf de viento y 0 pulgadas de hielo radial a 30 °F).

4.1. Cargas en los conductores

Relación entre la longitud del vano y la longitud del aislador

$$R_1 := \frac{\text{rulingspan}}{\text{lengofinsulatorassembly}} = 108.7$$

Relación entre la longitud del vano y la flecha

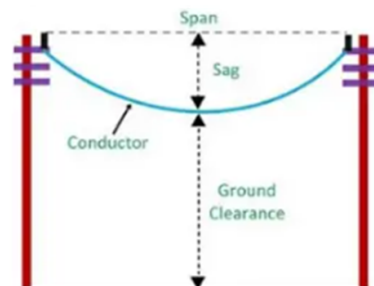
$$R_2 := \frac{\text{rulingspan}}{\text{sag}} = 27.5$$

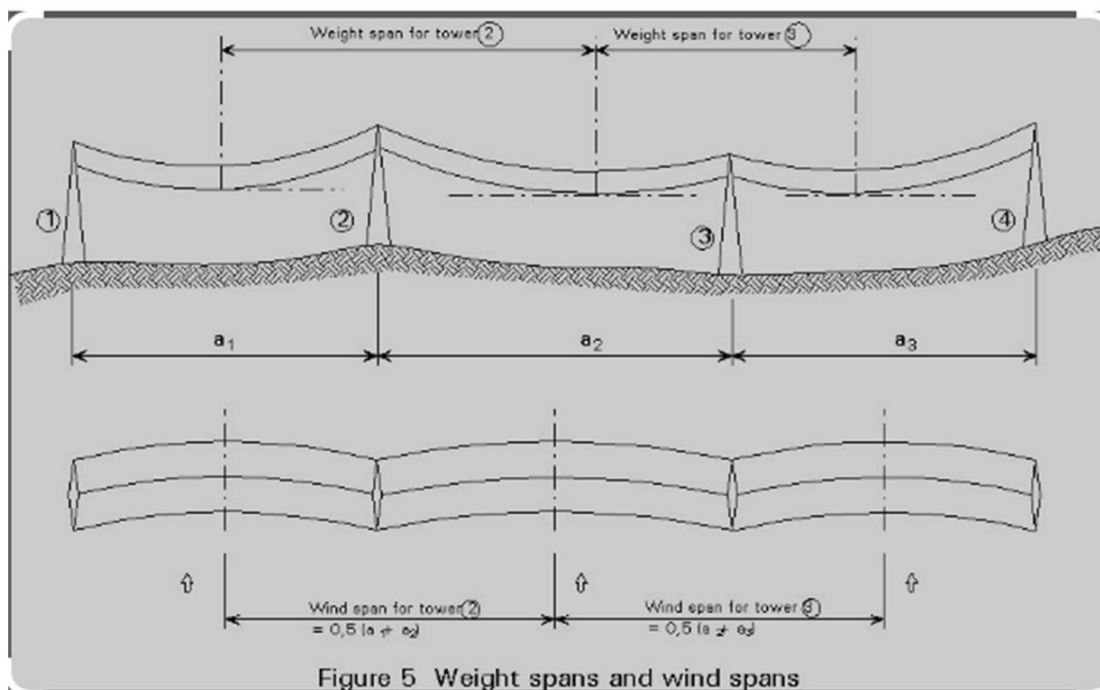
Datos:

$$\text{lengofinsulatorassembly} := 3.32021 \text{ ft}$$

$$\text{rulingspan} := 360.892 \text{ ft}$$

$$\text{sag} := 13.1234 \text{ ft}$$





De la Figura 3I-1, el factor de carga RSL es 0.65.

4.1.1. Cable roto

$$V_{cr} := 1.075 \cdot \frac{\text{weightspan}}{2} + \text{hardwareweight} = 387.98 \text{ lb} \quad \circ \quad V_{cr} \cdot 0.453592 = 175.99 \text{ kg}$$

$$T_{cr} := 0.65 \cdot 5622 \cdot \sin(0.75^\circ) = 47.83 \text{ lb} \quad \circ \quad T_{cr} \cdot 0.453592 = 21.7 \text{ kg}$$

$$L_{cr} := 0.65 \cdot 5622 \cdot \cos(0.75^\circ) = 3653.99 \text{ lb} \quad \circ \quad L_{cr} \cdot 0.453592 = 1657.42 \text{ kg}$$

4.1.2. Cable intacto

$$V_{ci} := 1.075 \cdot \text{weightspan} + \text{hardwareweight} = 599.6 \text{ lb} \quad \circ \quad V_{ci} \cdot 0.453592 = 271.97 \text{ kg}$$

$$T_{ci} := 2 \cdot 5622 \cdot \sin(0.75^\circ) = 147.18 \text{ lb} \quad \circ \quad T_{ci} \cdot 0.453592 = 66.76 \text{ kg}$$

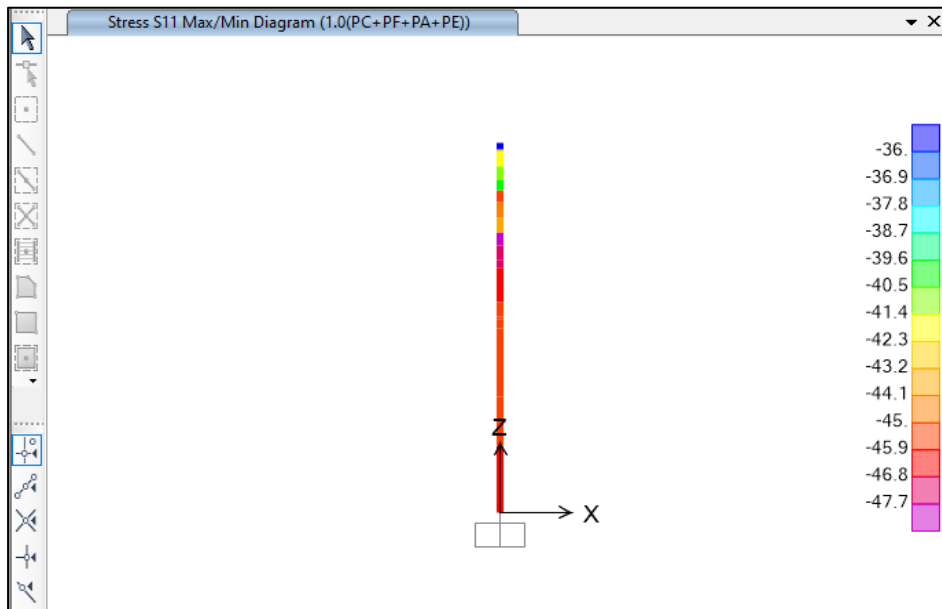
$$L_{ci} := 0 \text{ lb} \quad \circ \quad L_{ci} \cdot 0.453592 = 0 \text{ kg}$$

6.4. Cálculos en SAP2000

ANÁLISIS ESTÁTICO BAJO LAS MISMAS CONDICIONES DE VIENTO

CARGA DE SERVICIO – CFE

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

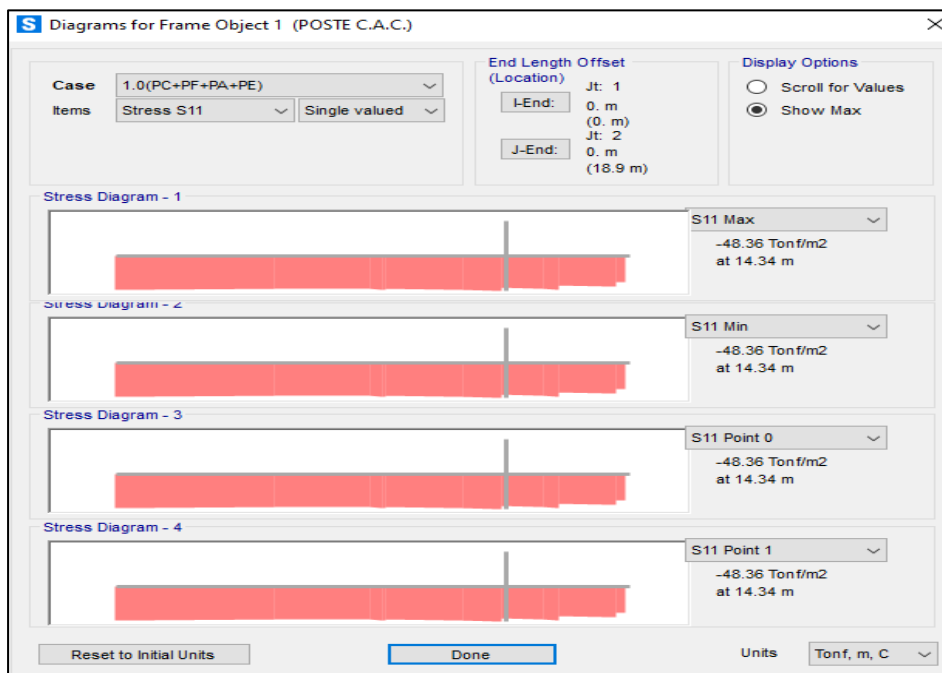
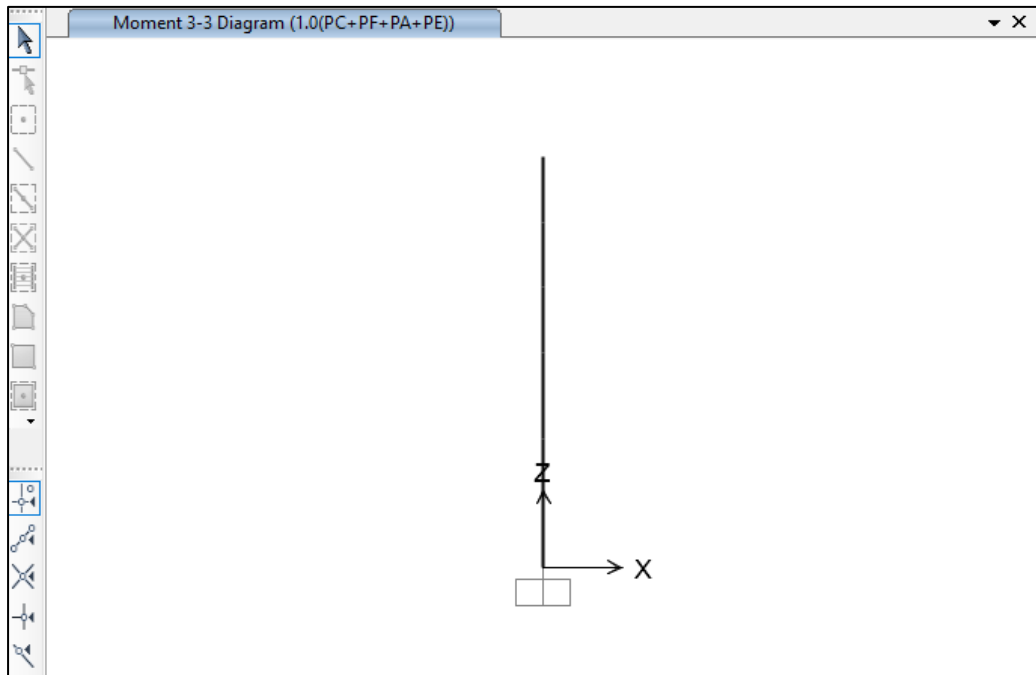


Diagrama de momentos



Momento máximo

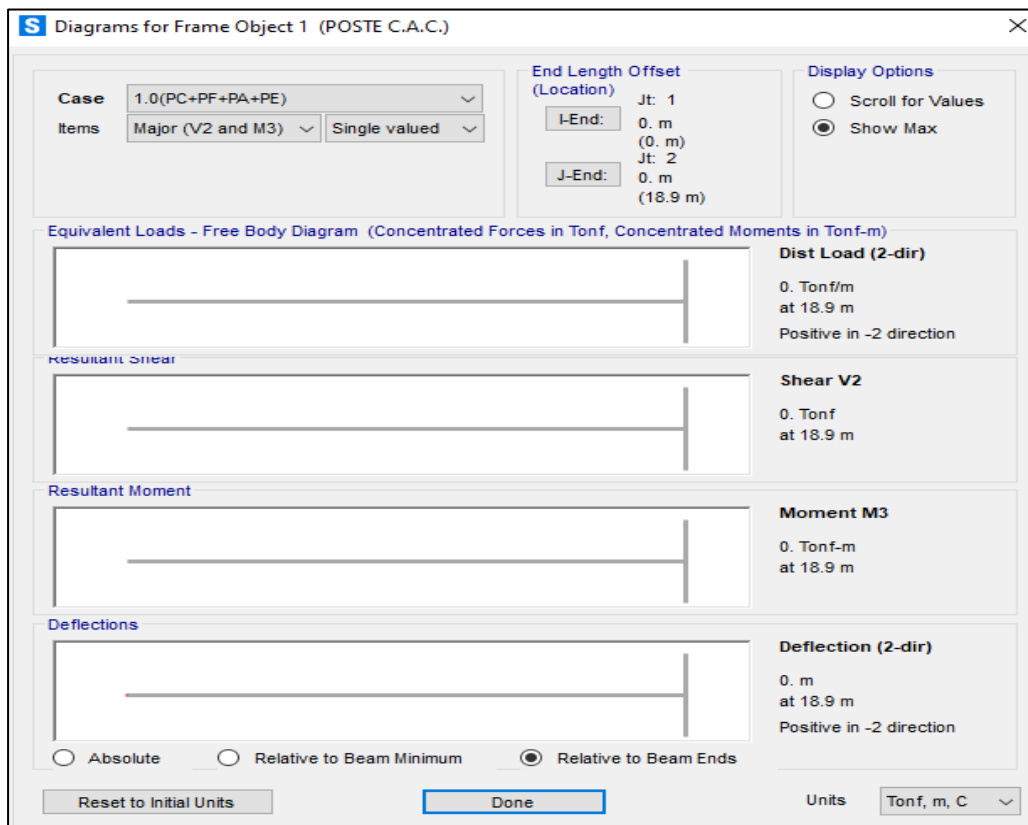
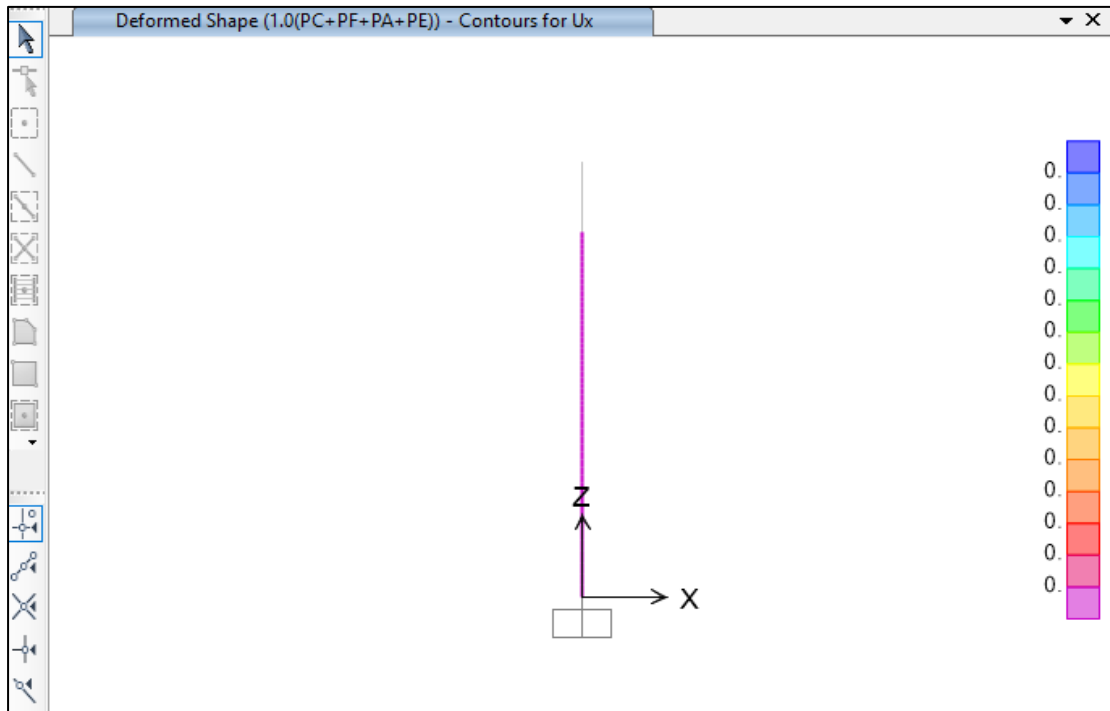
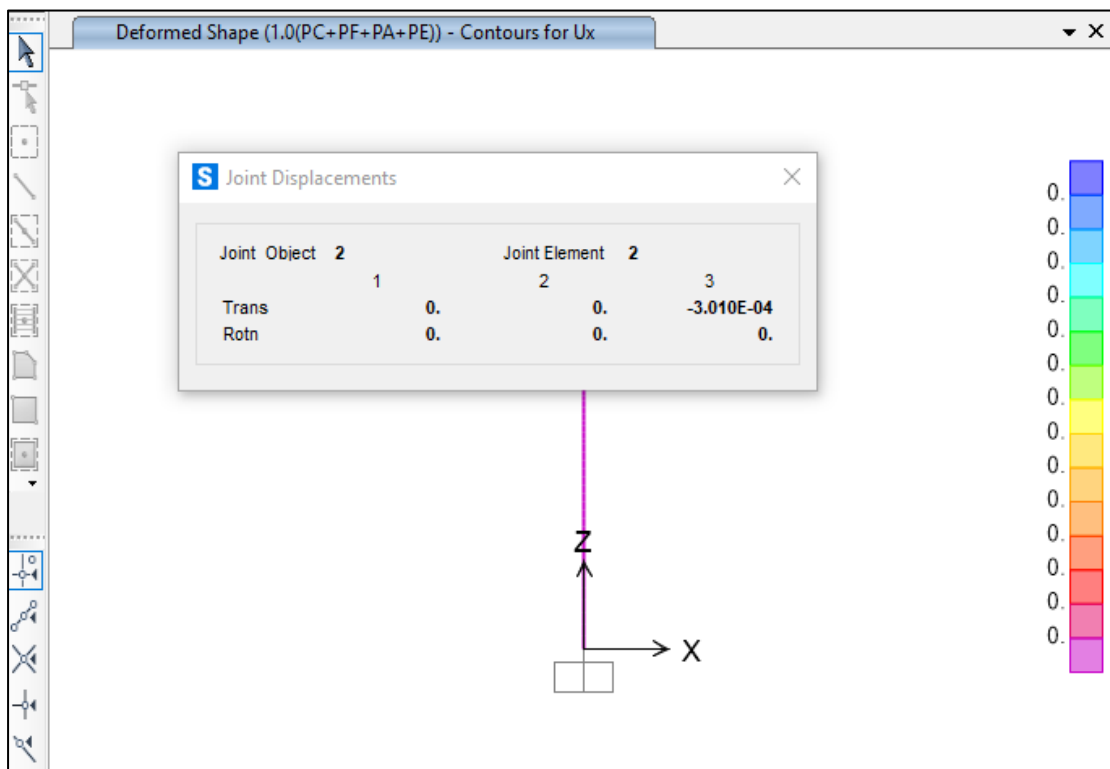


Diagrama de desplazamientos

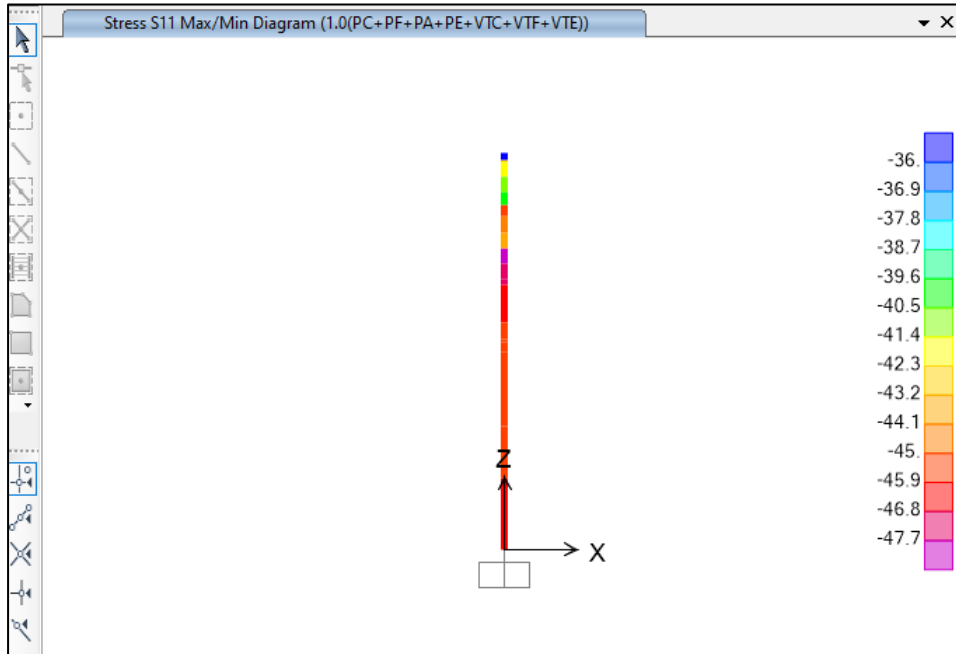


Desplazamiento máximo



CARGA MÁXIMA SIN HIELO – CFE

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

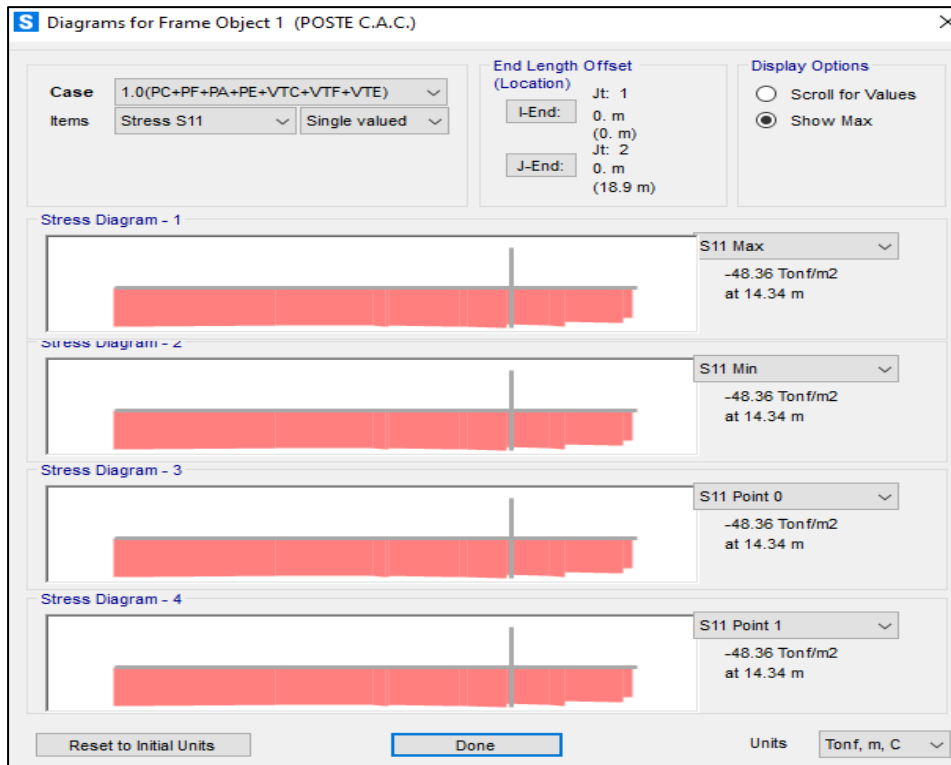
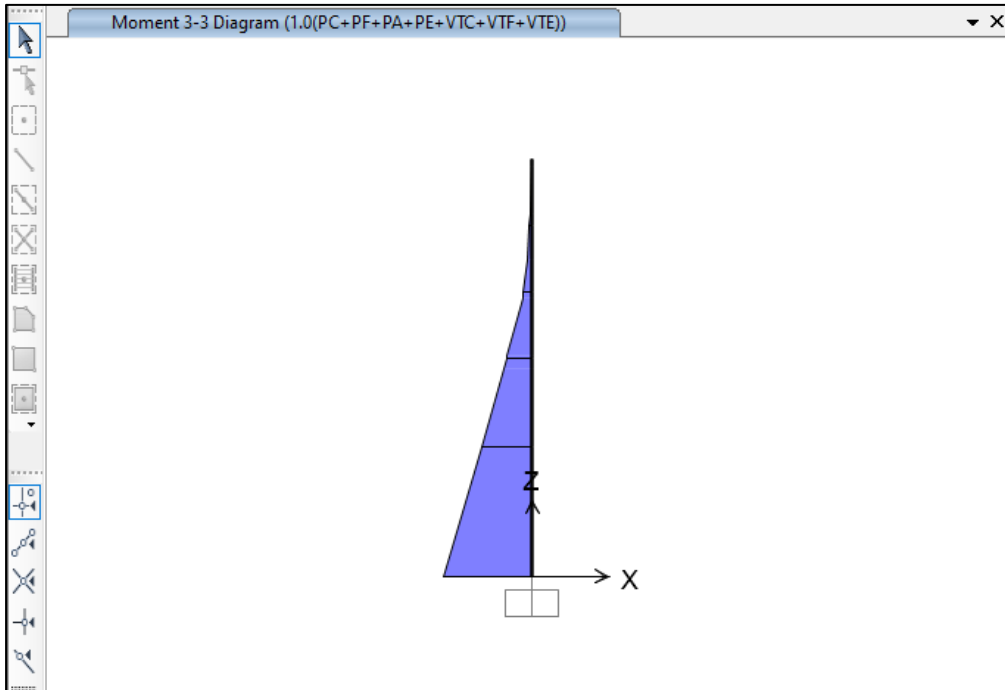


Diagrama de momentos



Momento máximo

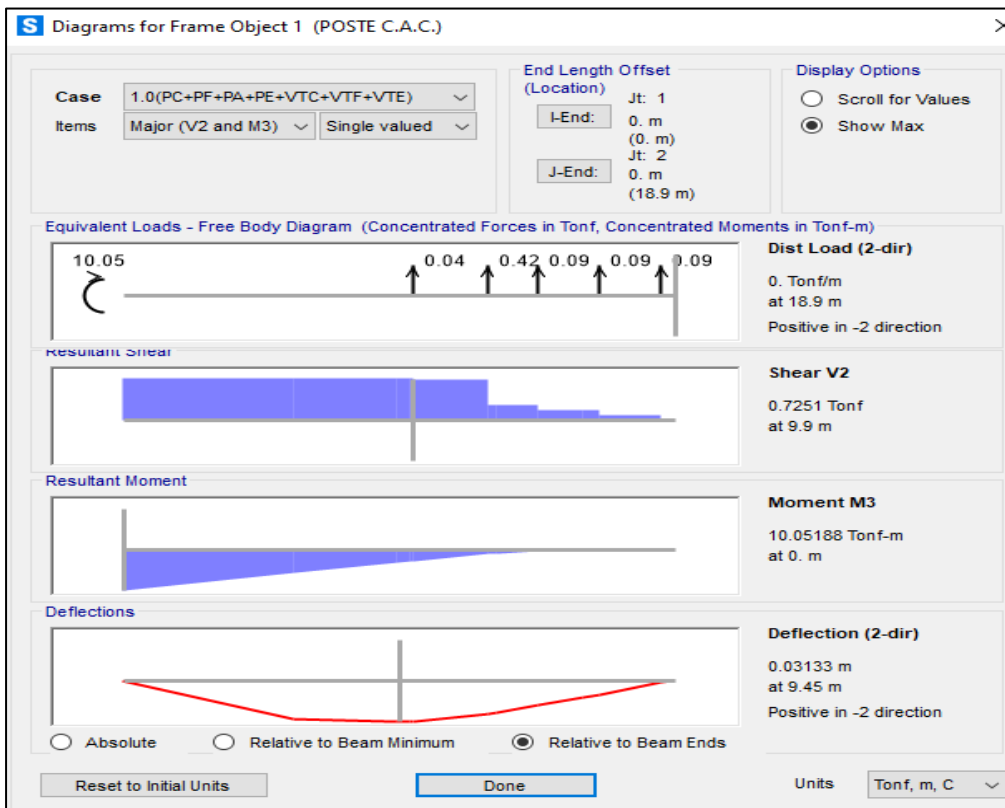
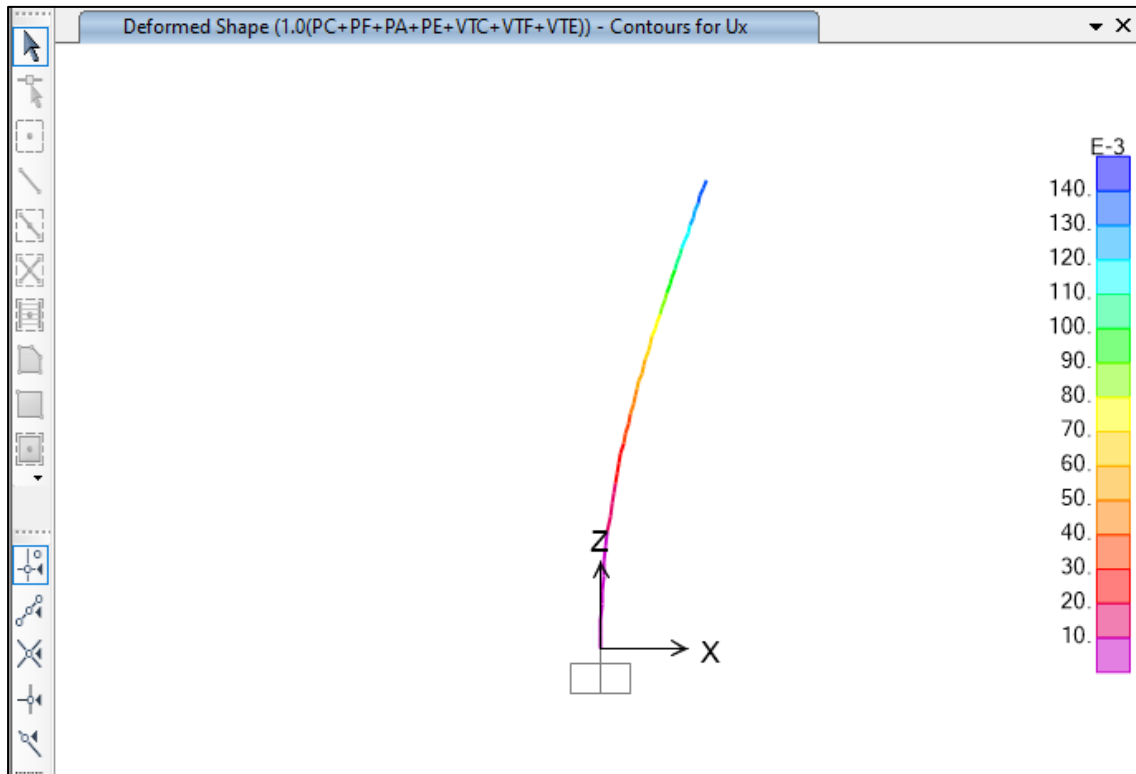
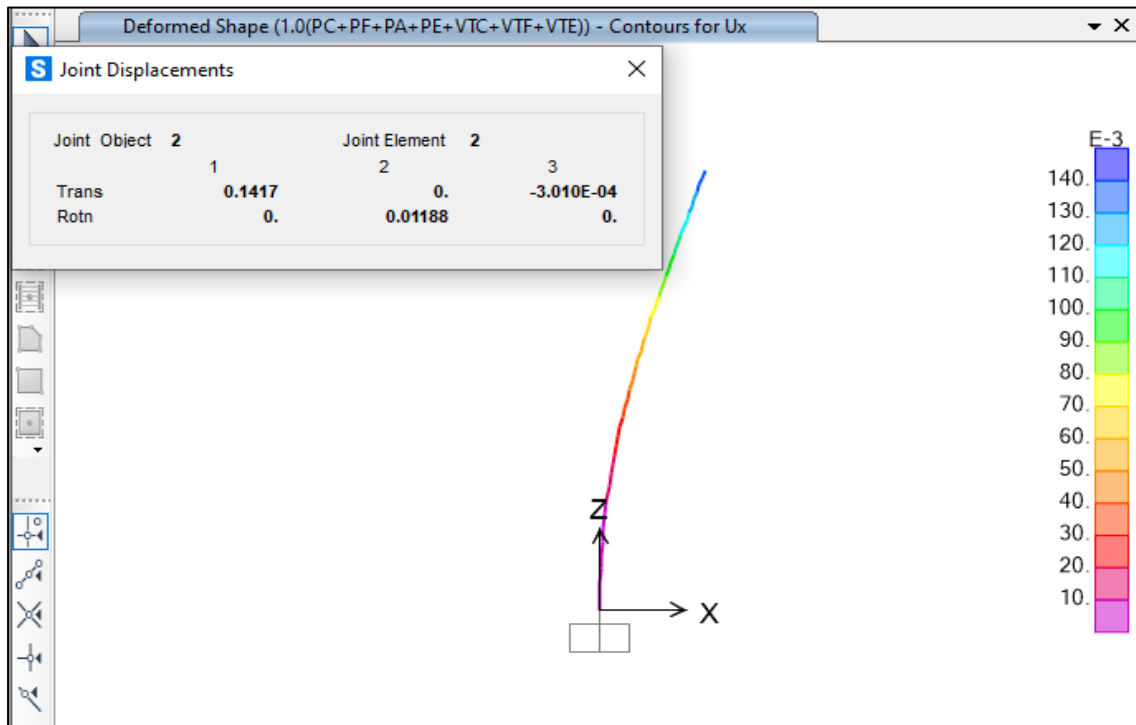


Diagrama de desplazamientos

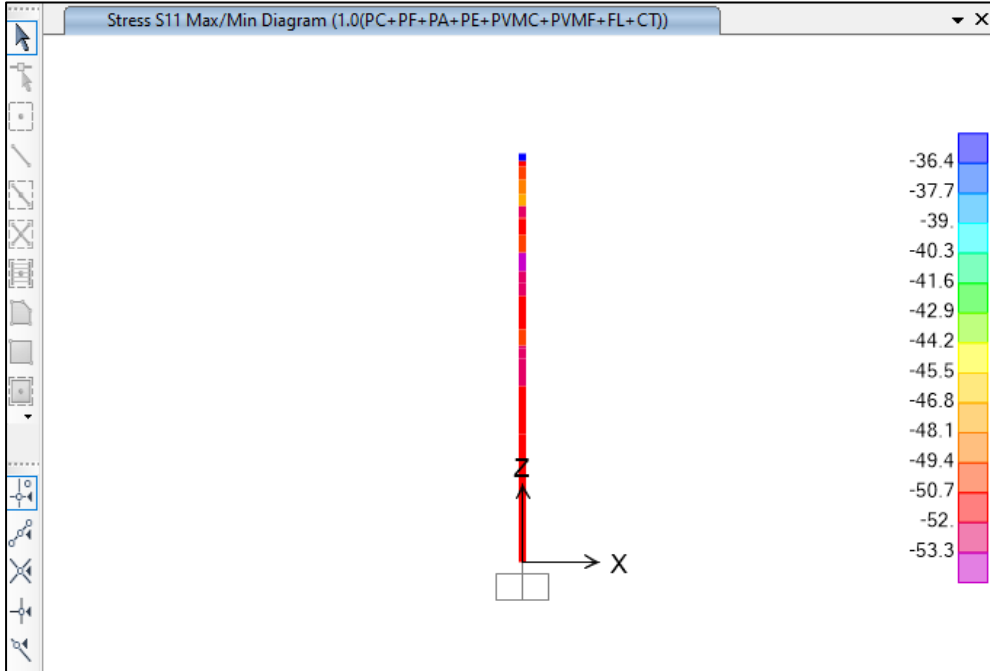


Desplazamiento



CARGA TENDIDO Y MANTENIMIENTO - CFE

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

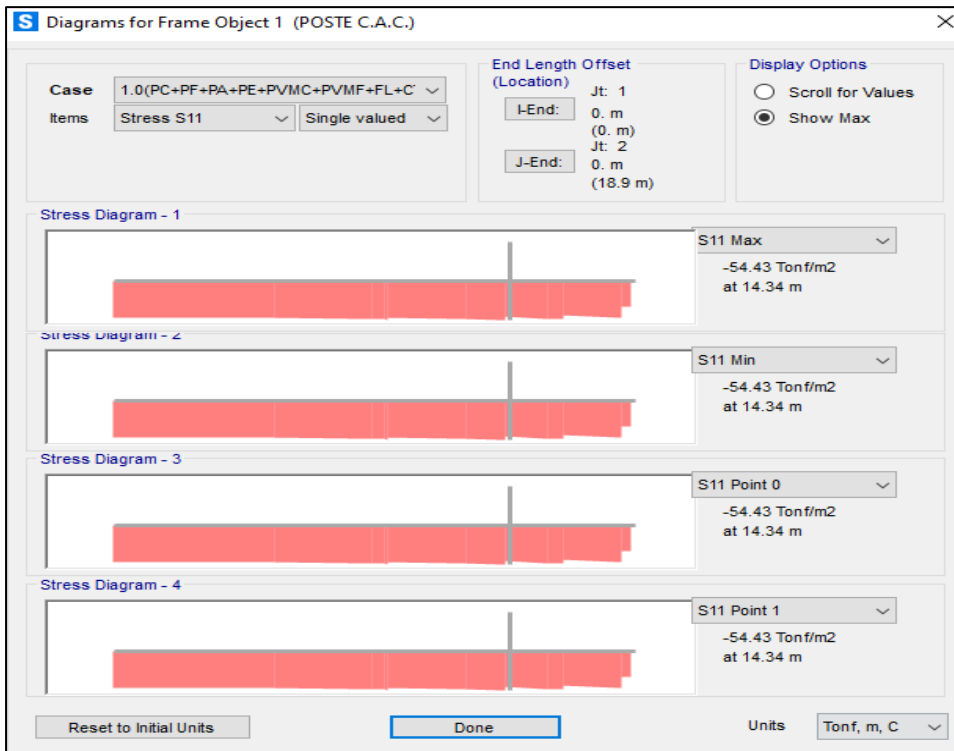
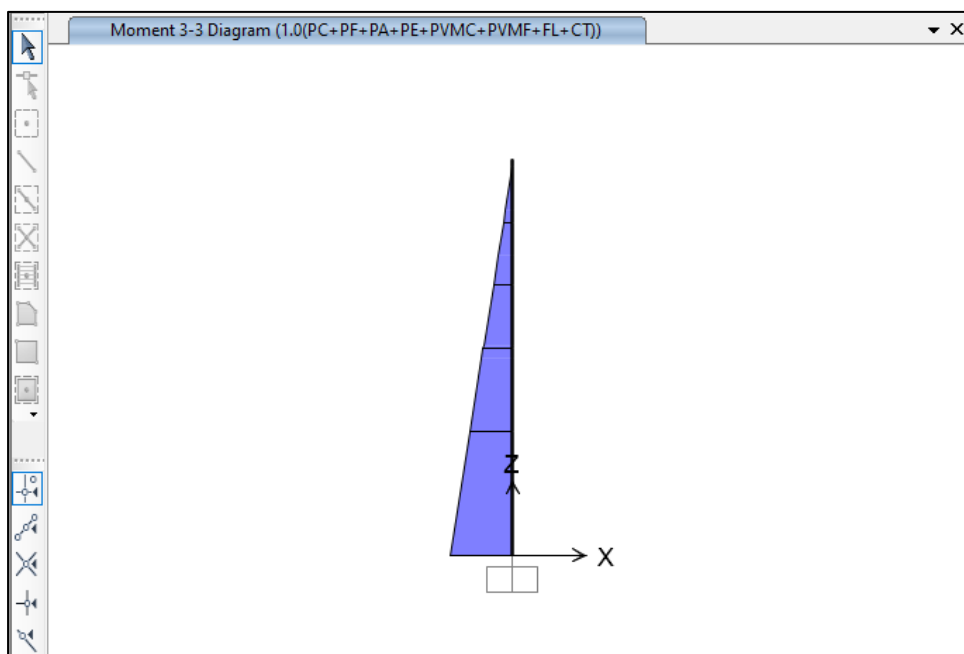


Diagrama de momentos



Momento máximo

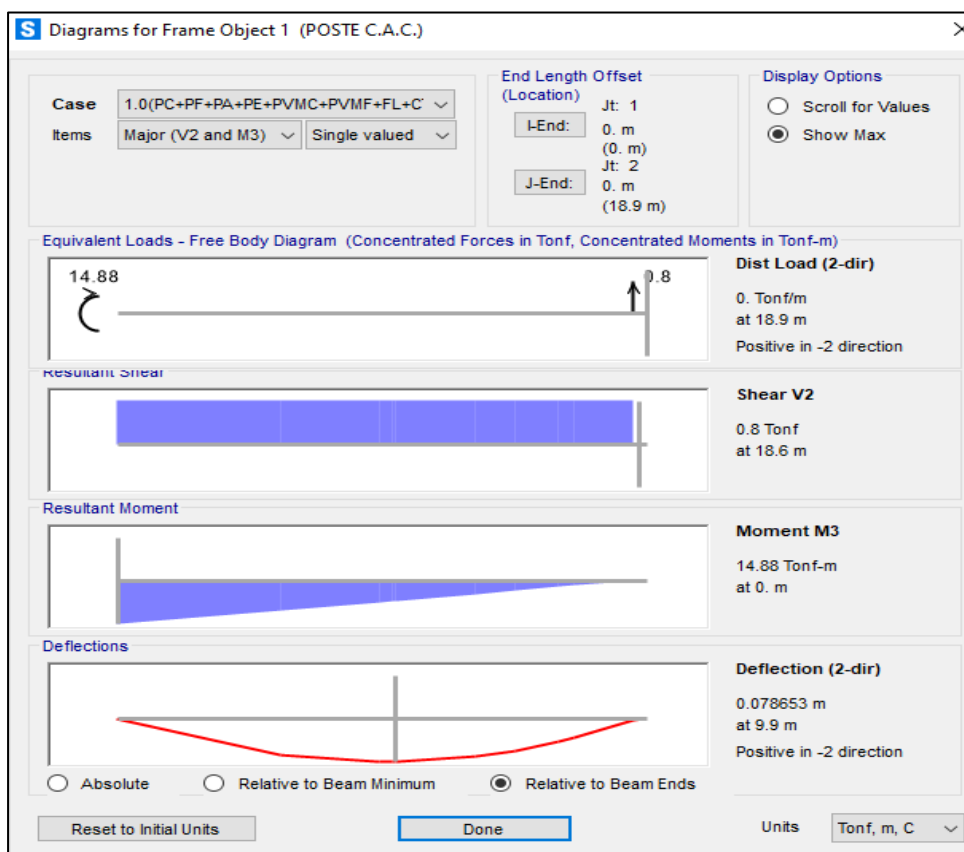
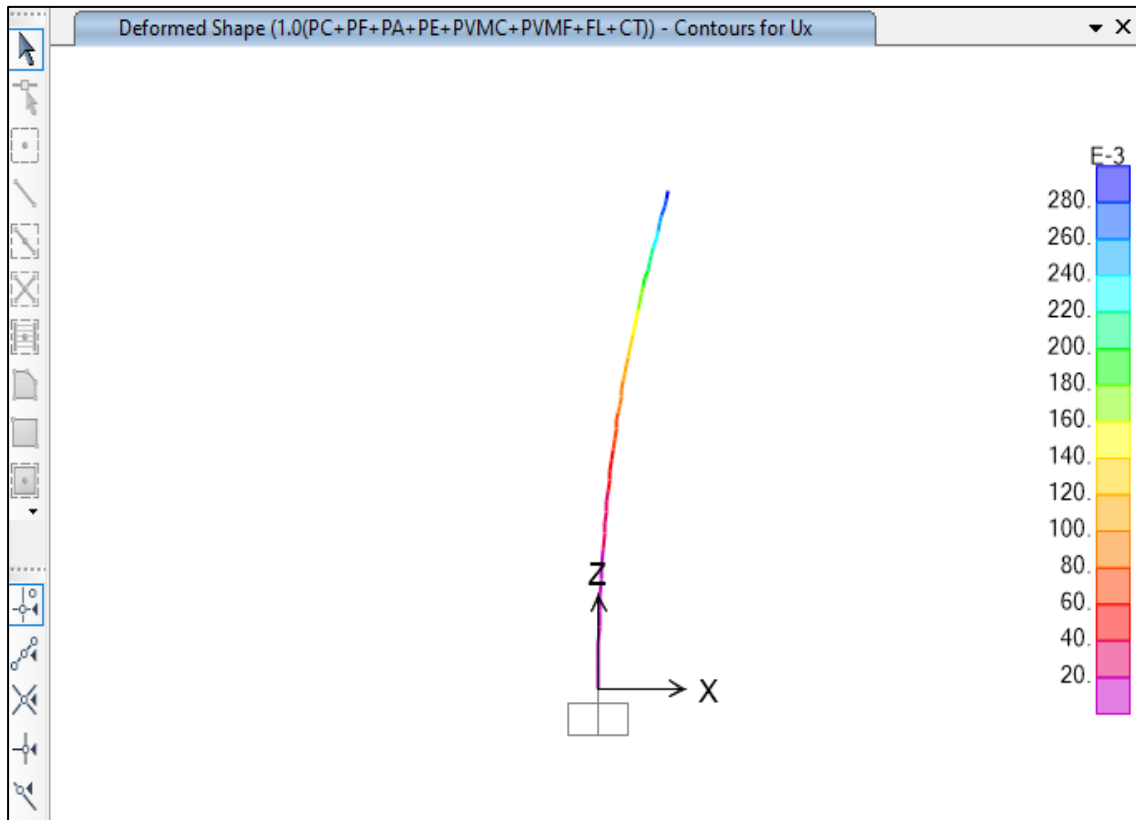
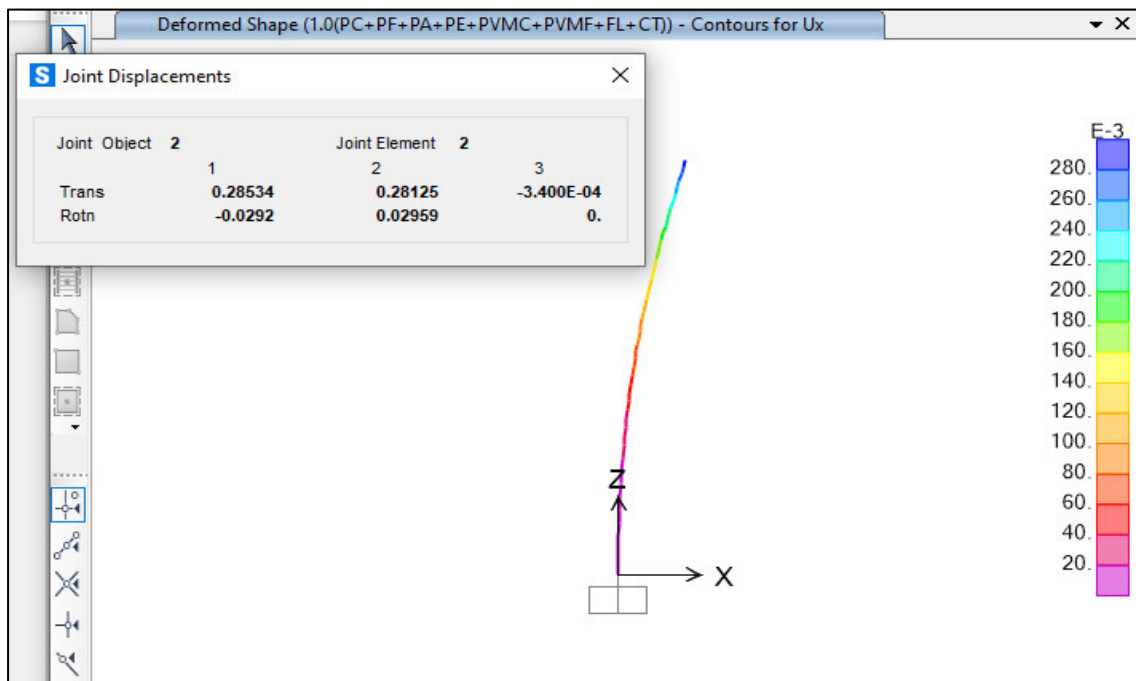


Diagrama de desplazamientos

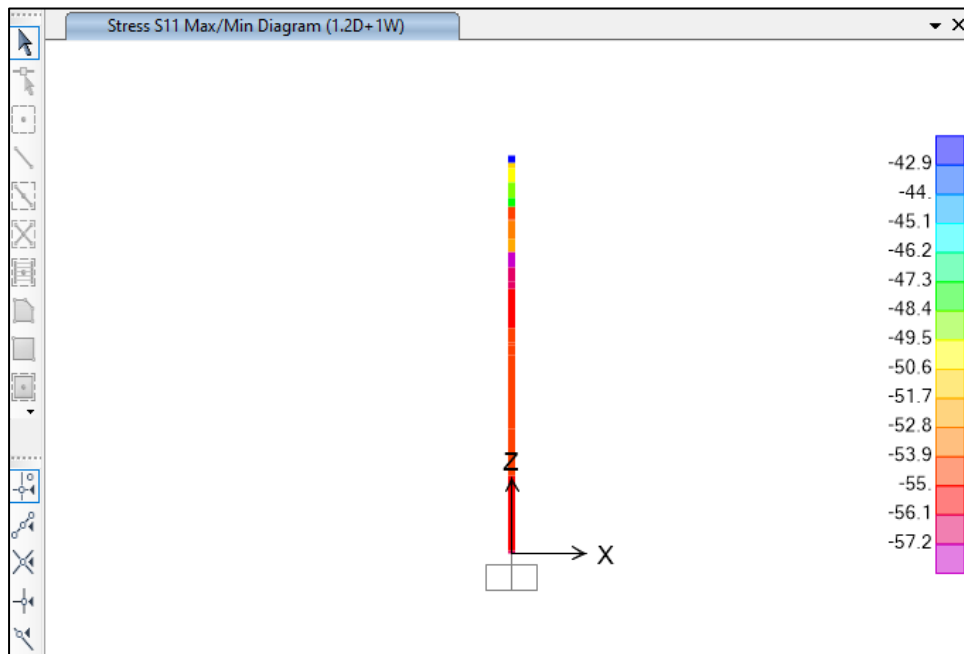


Desplazamiento máximo



CARGA VIENTO EXTREMO – ASCE 74

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

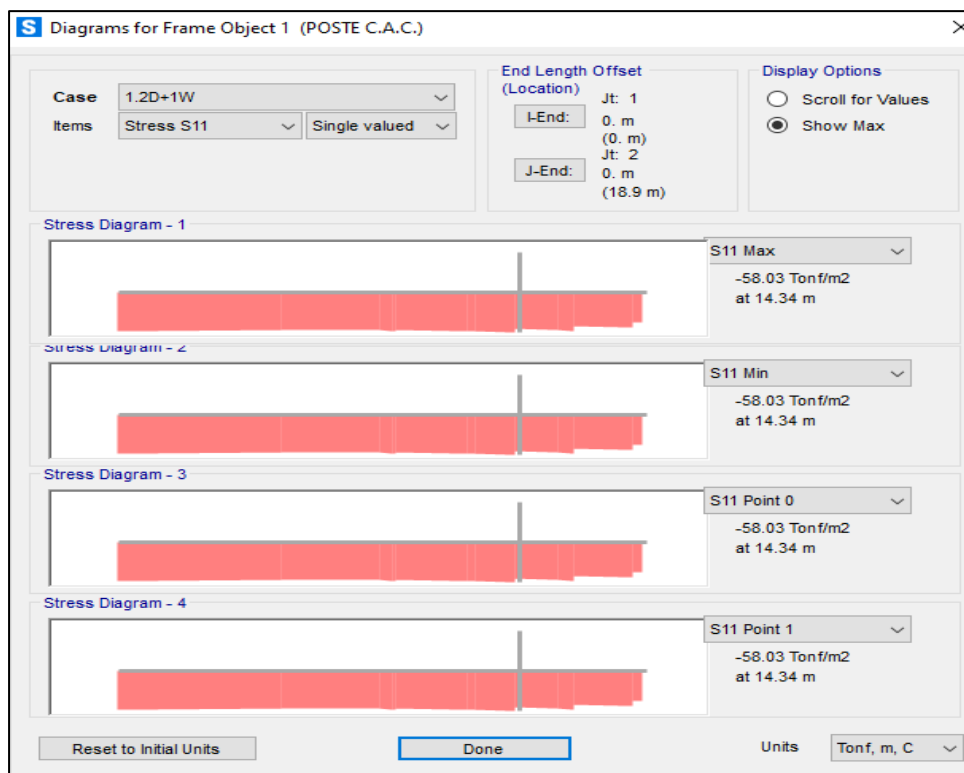
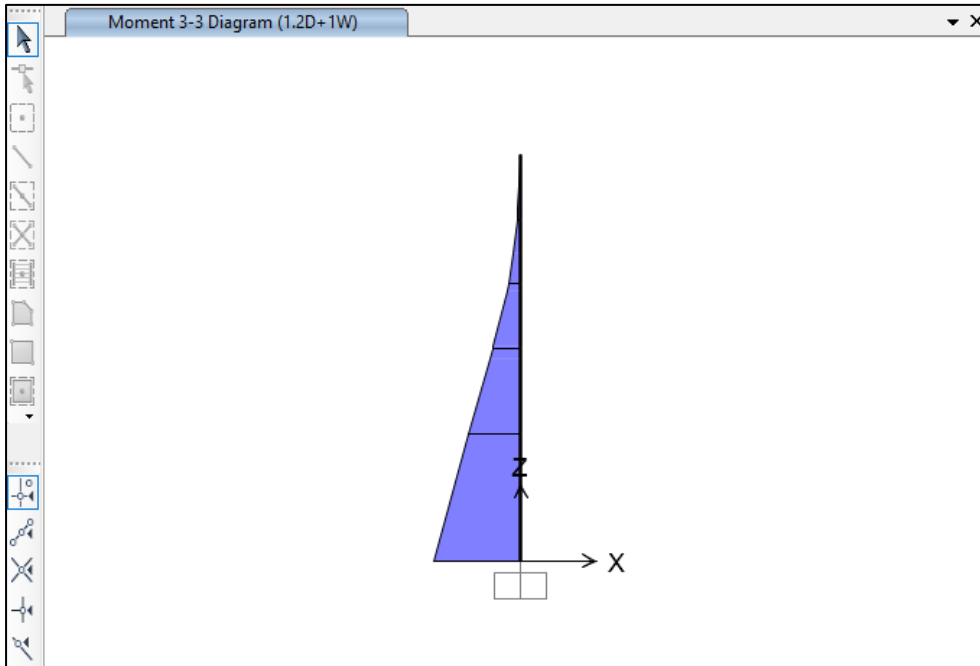


Diagrama de momentos



Momento máximo

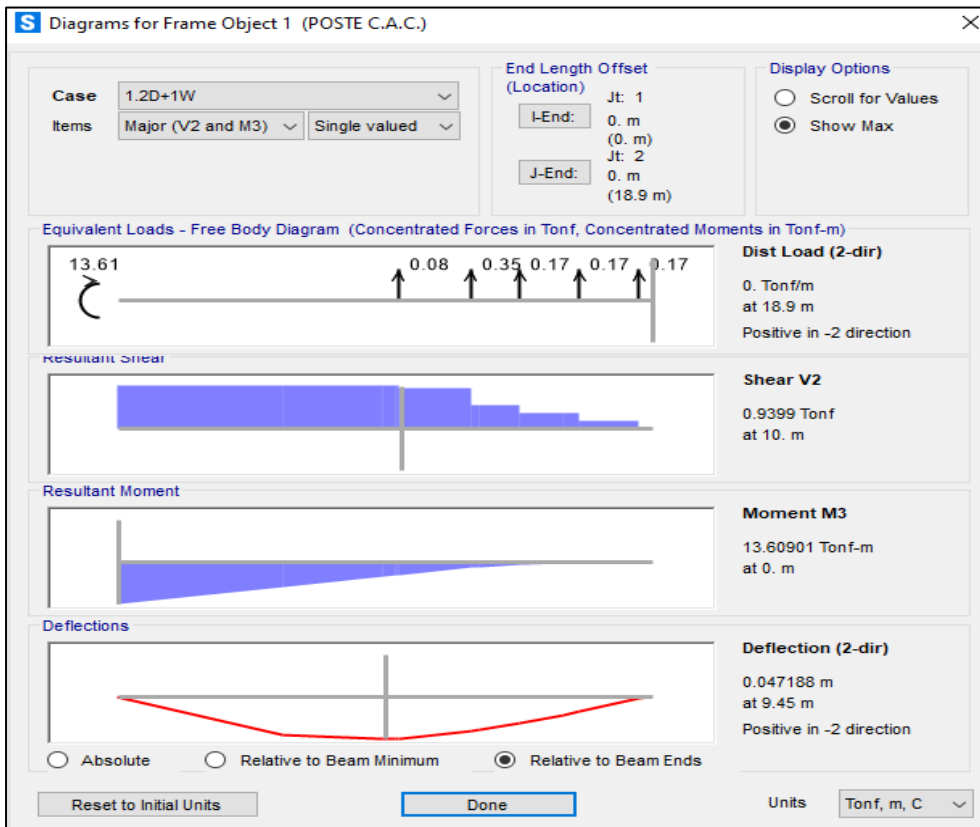
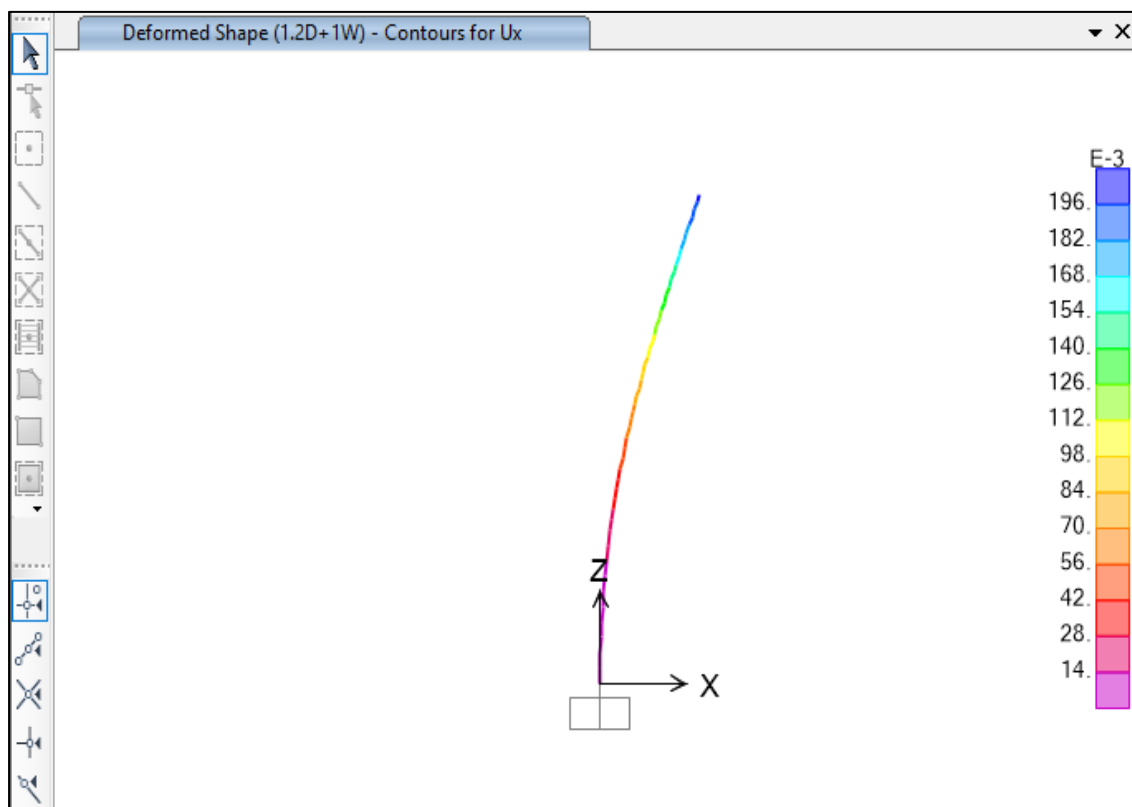
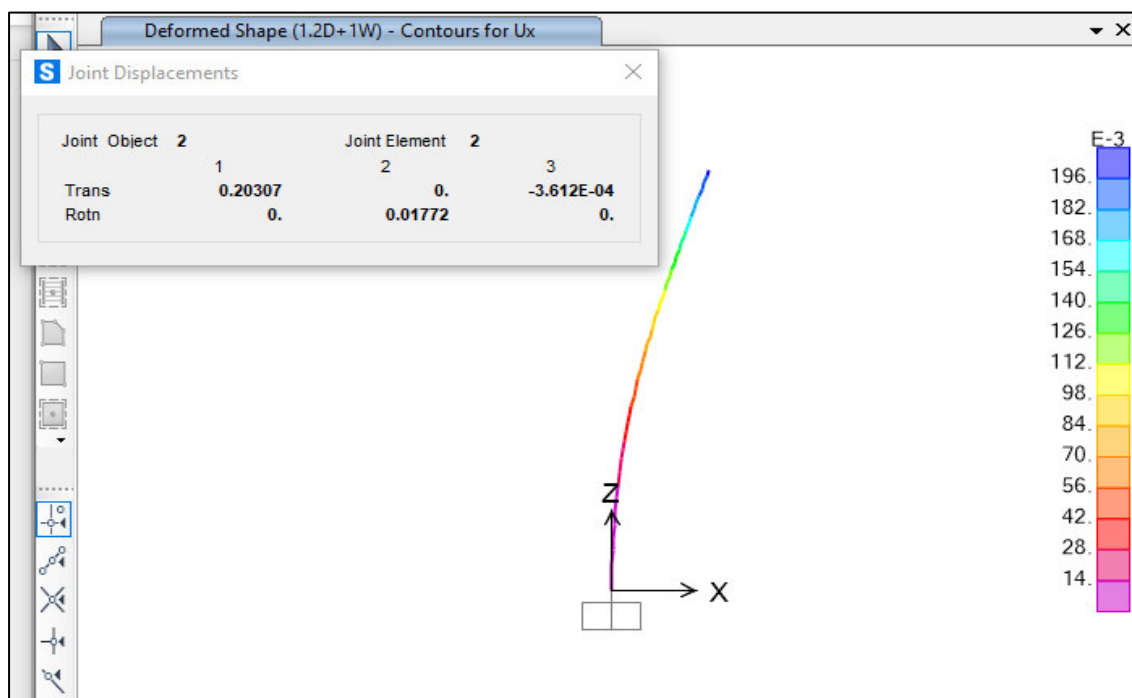


Diagrama de desplazamientos

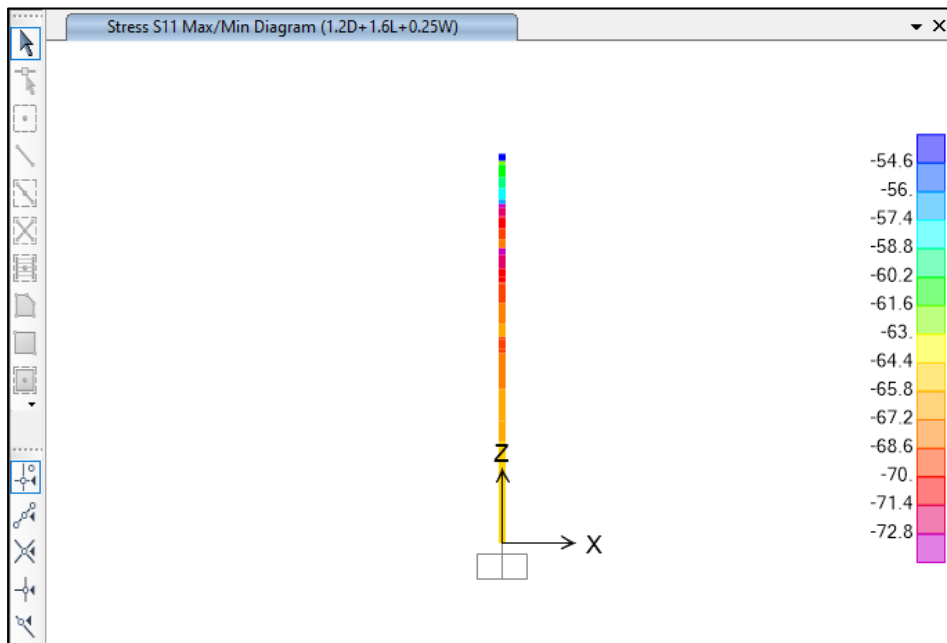


Desplazamiento máximo



CARGA CONSTRUCCIÓN Y MANTENIMIENTO – ASCE 74

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

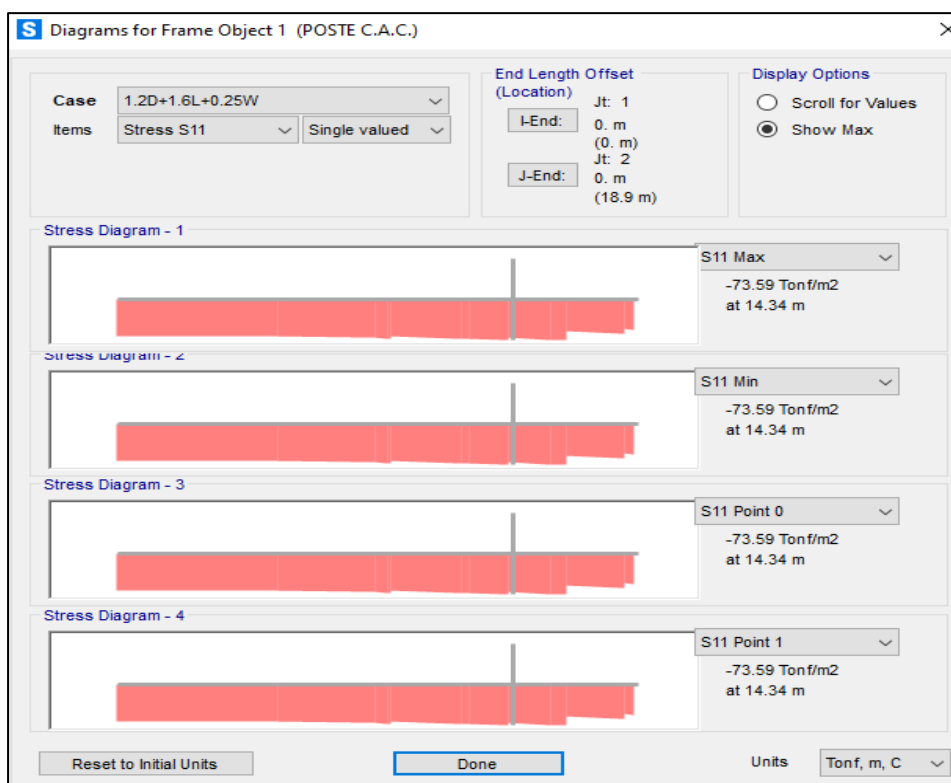
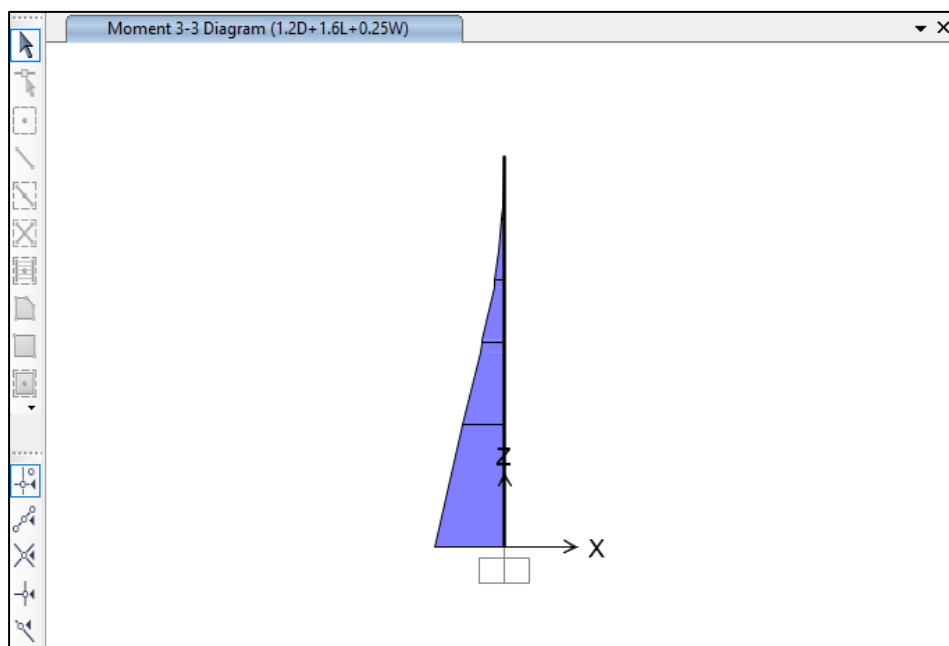


Diagrama de momentos



Momento máximo

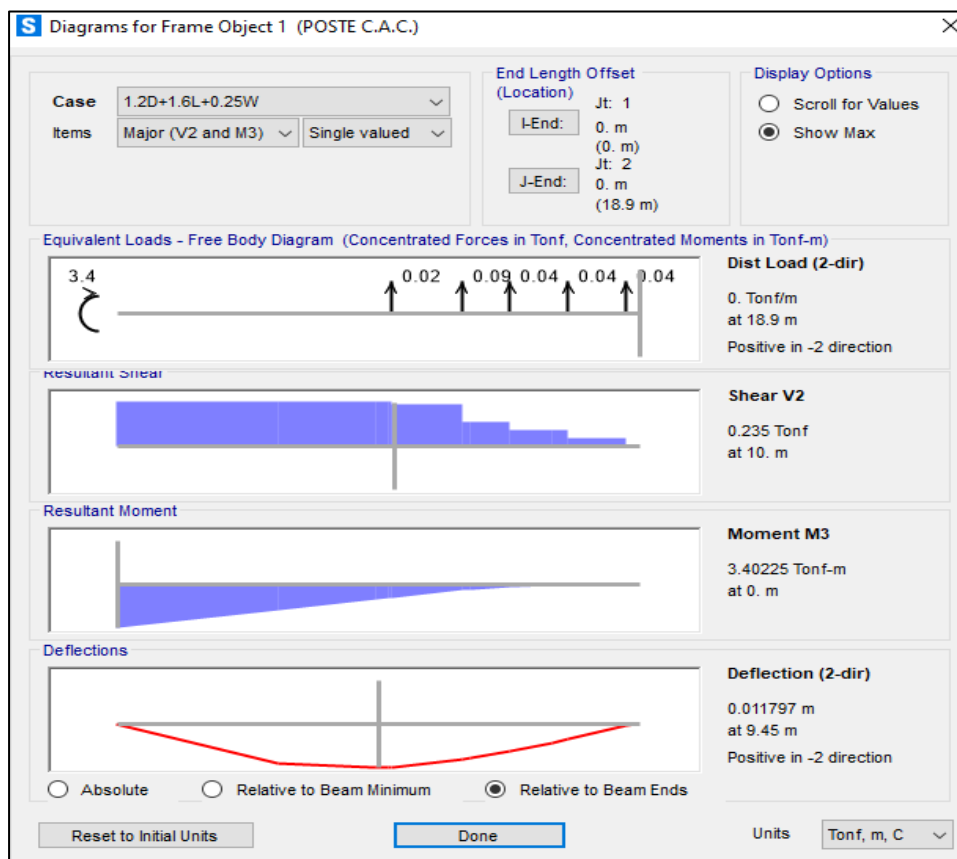
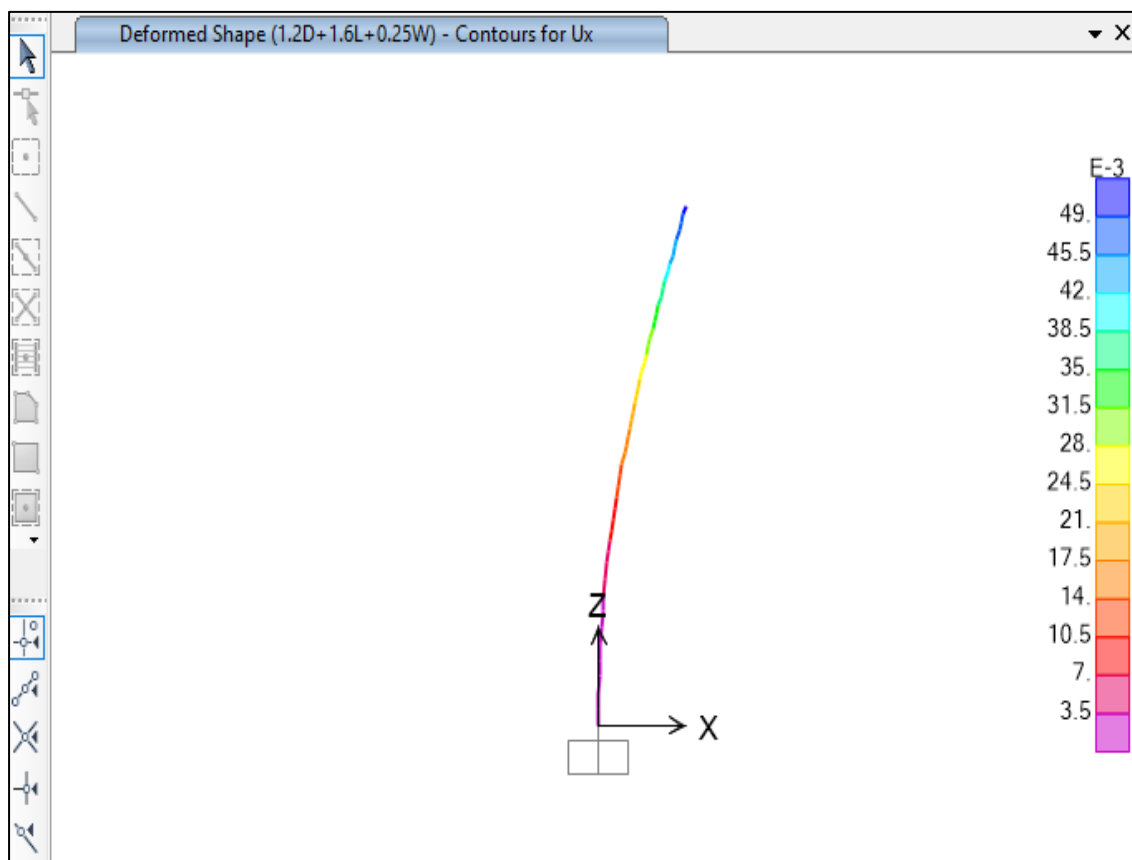
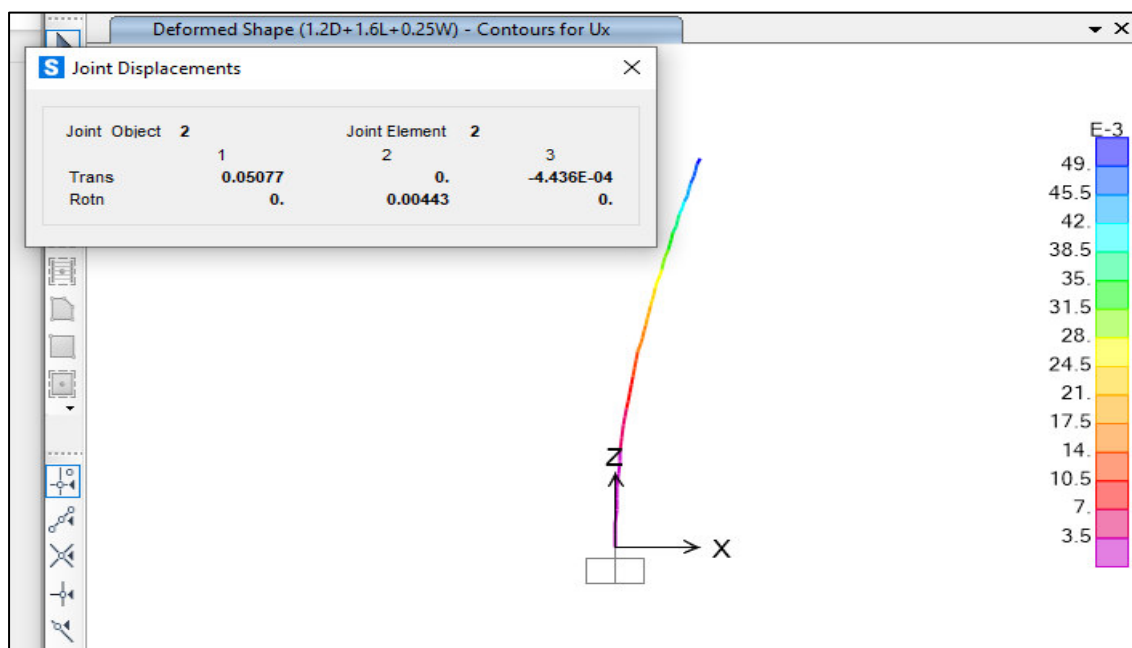


Diagrama de desplazamientos

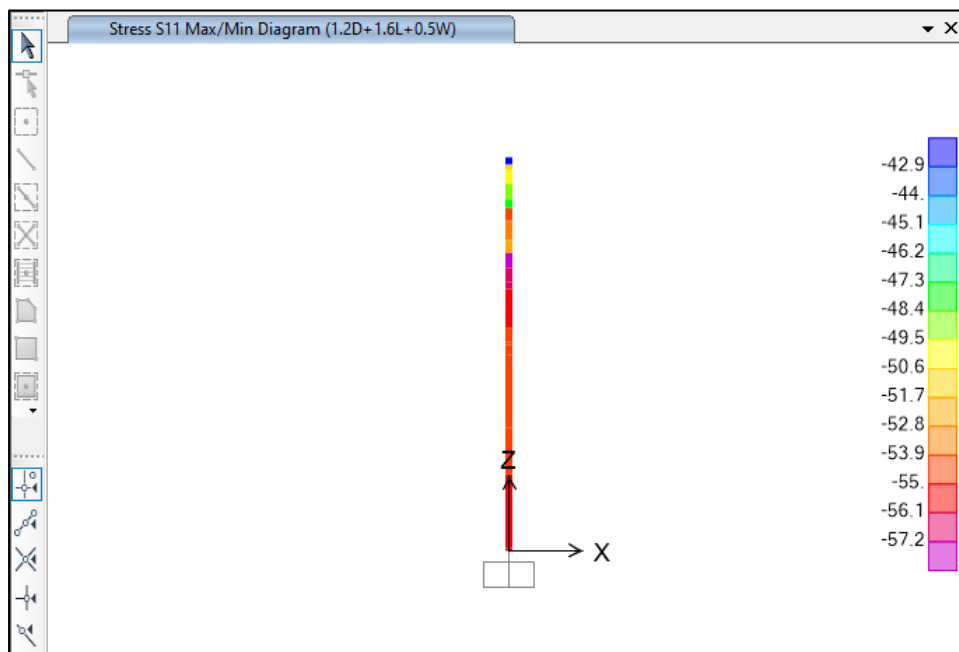


Desplazamiento máximo



CARGA CONTENCIÓN DE FALLAS – ASCE 74

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

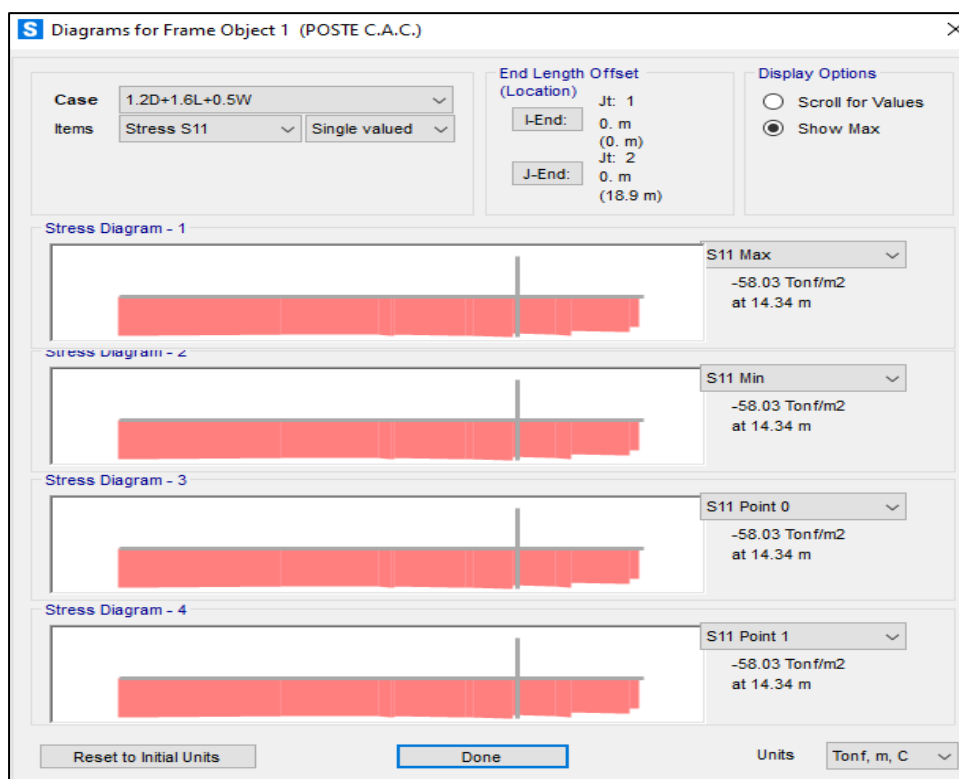
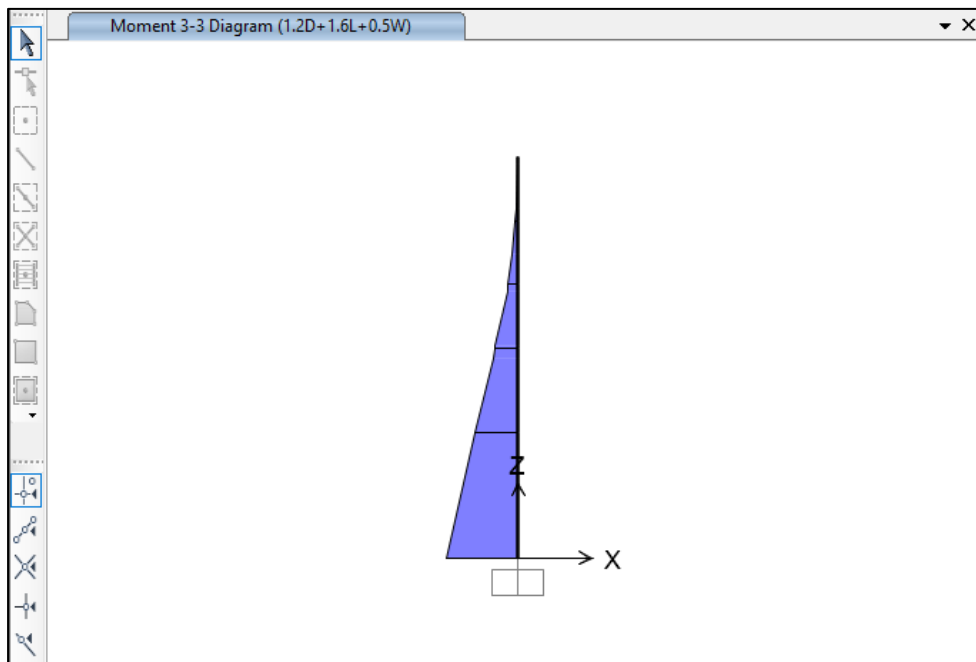


Diagrama de momentos



Momento máximo

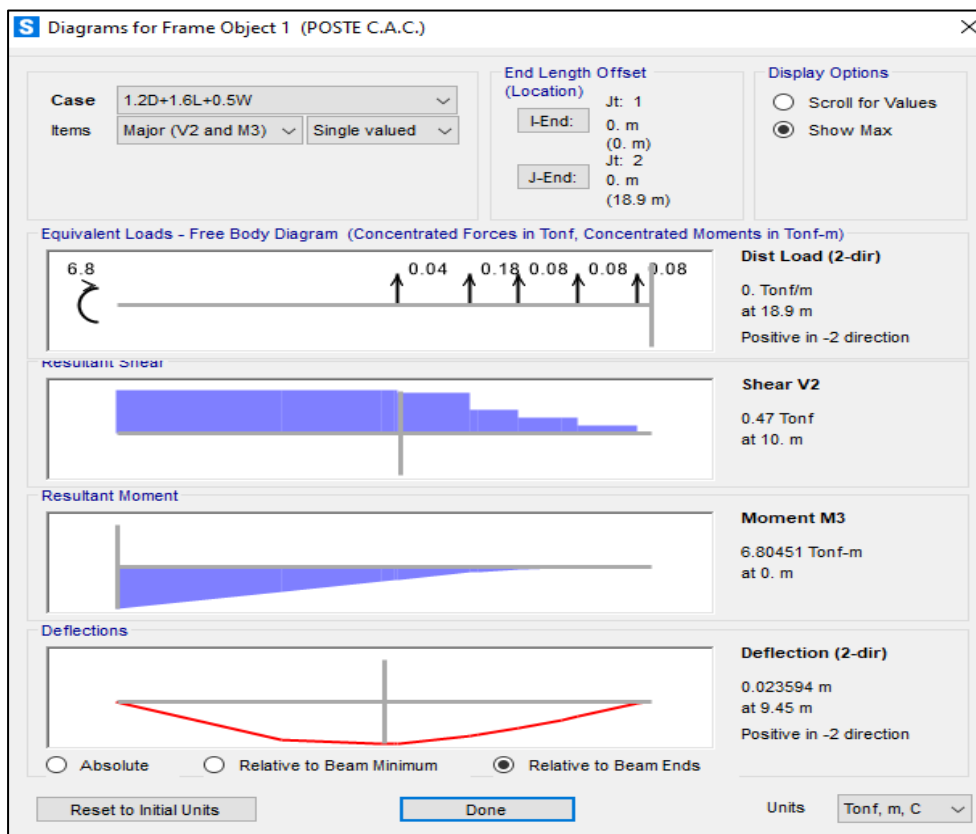
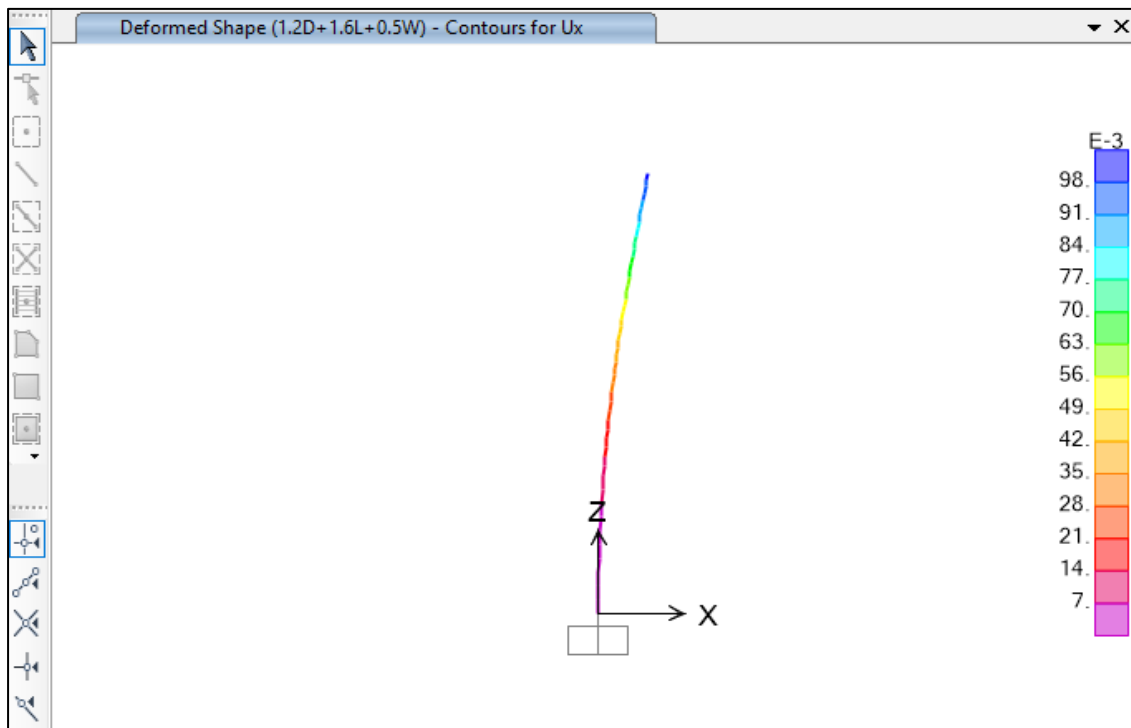
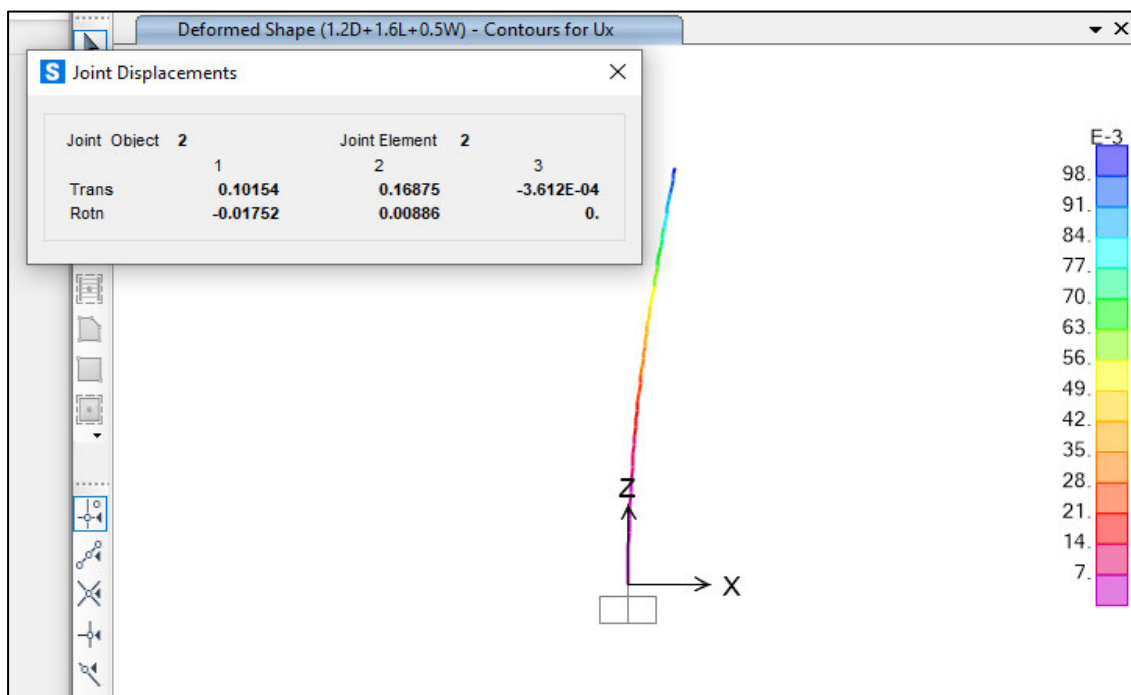


Diagrama de desplazamientos



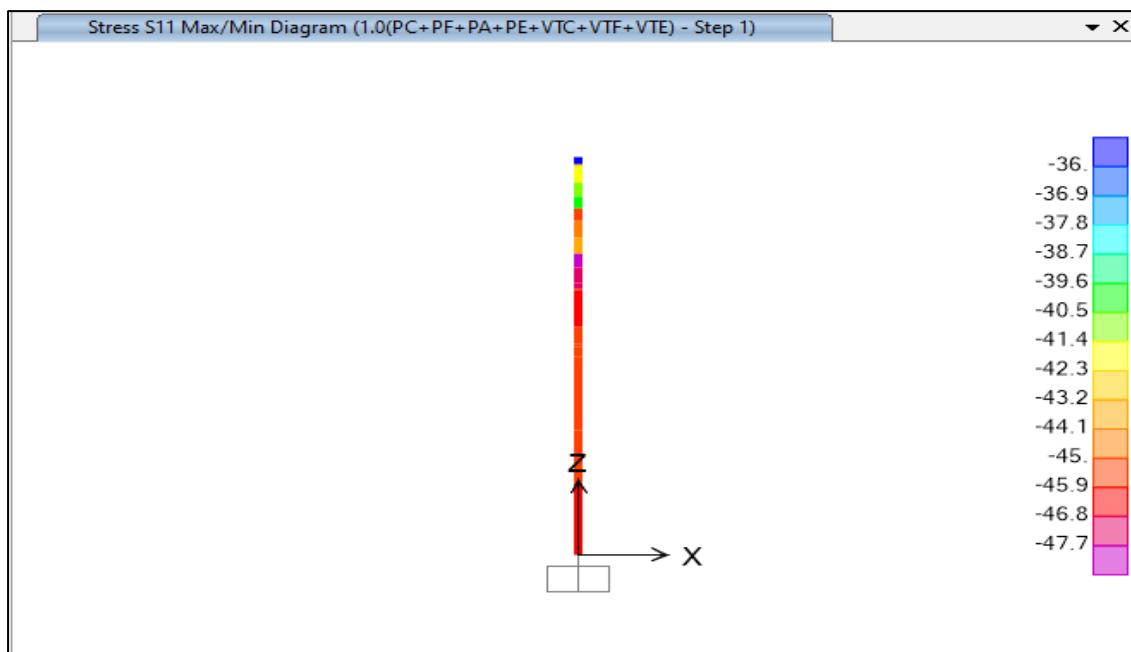
Desplazamiento máximo



ANÁLISIS DINÁMICO BAJO LAS MISMAS CONDICIONES DE VIENTO

CARGA MÁXIMA SIN HIELO – CFE

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

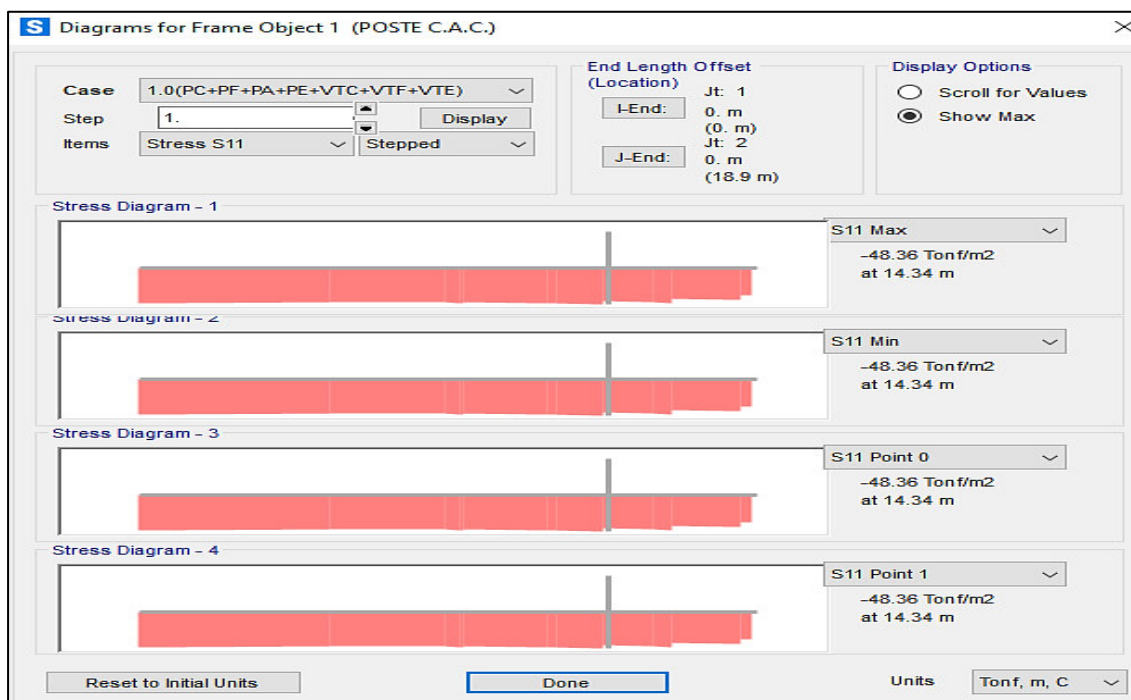
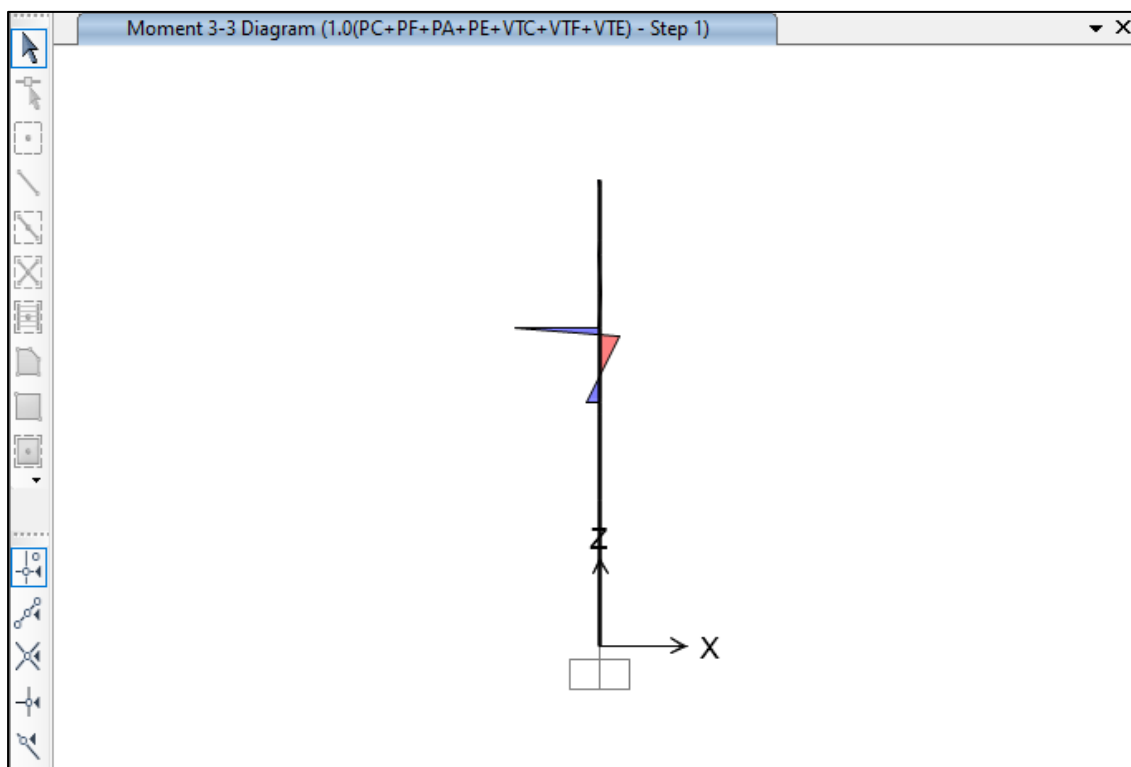


Diagrama de momentos



Momento máximo

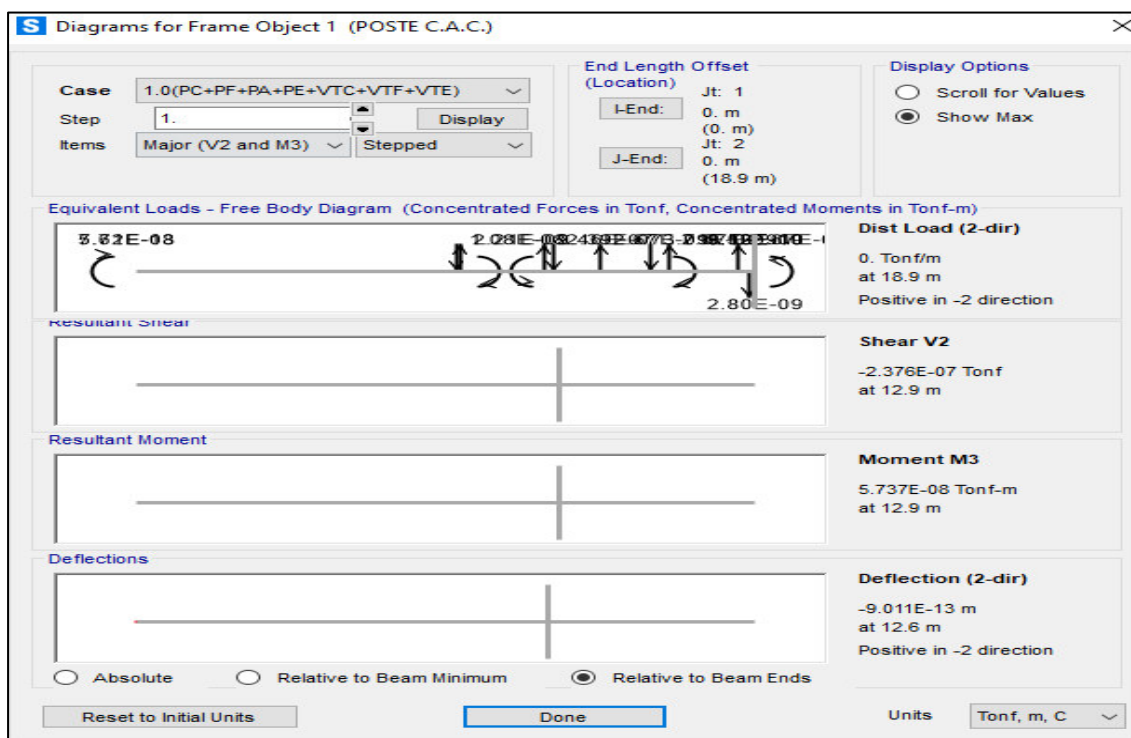
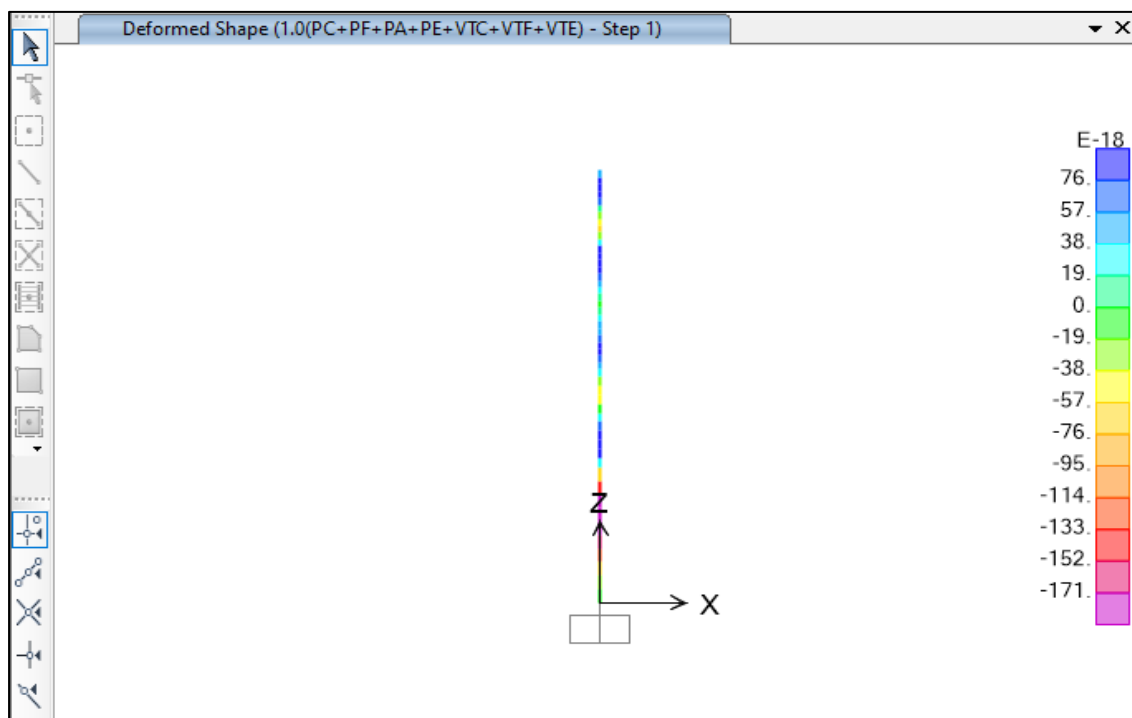
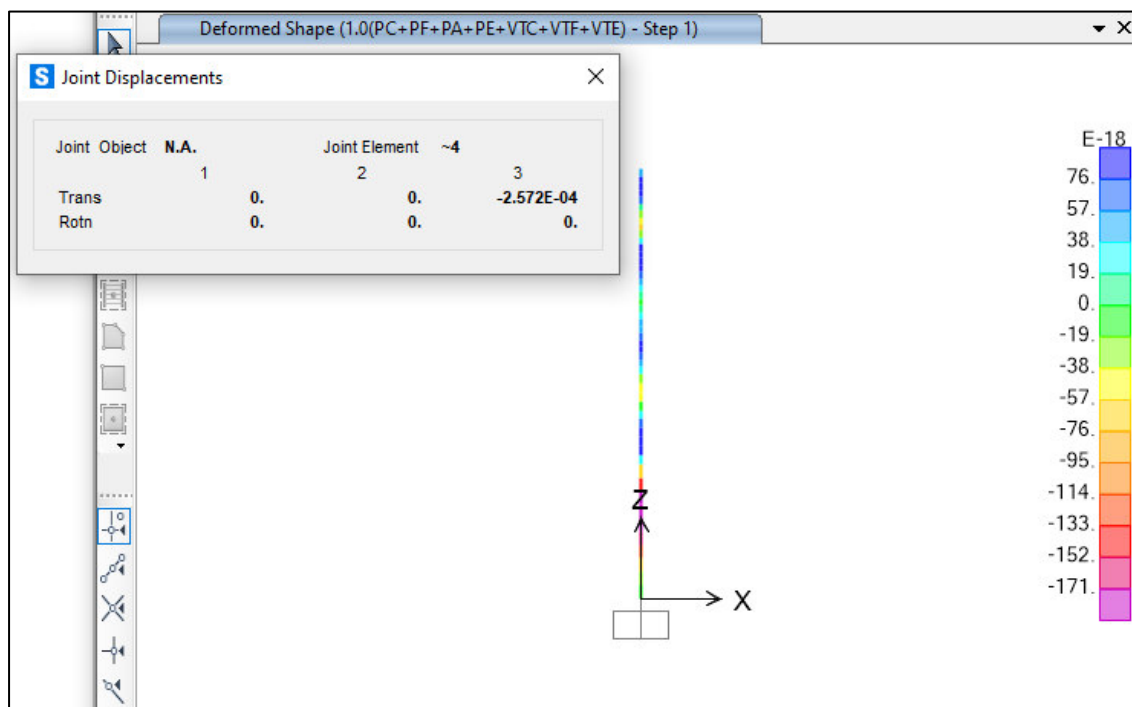


Diagrama de desplazamientos

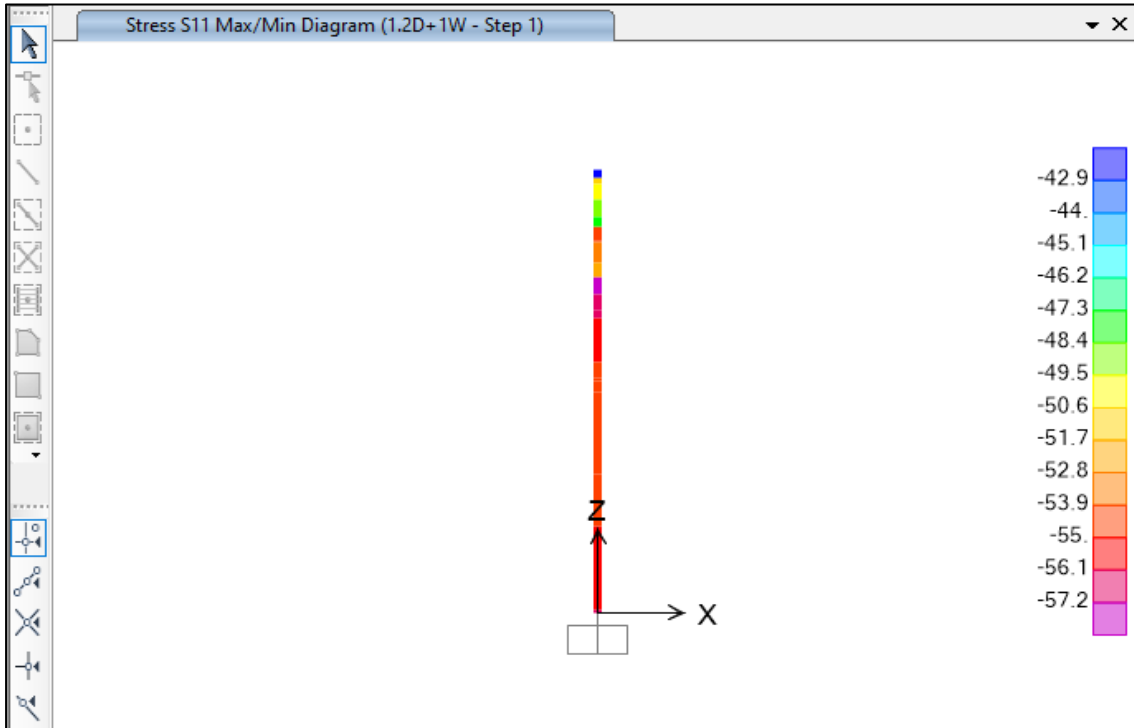


Desplazamiento máximo



CARGA VIENTO EXTREMO – ASCE 74

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

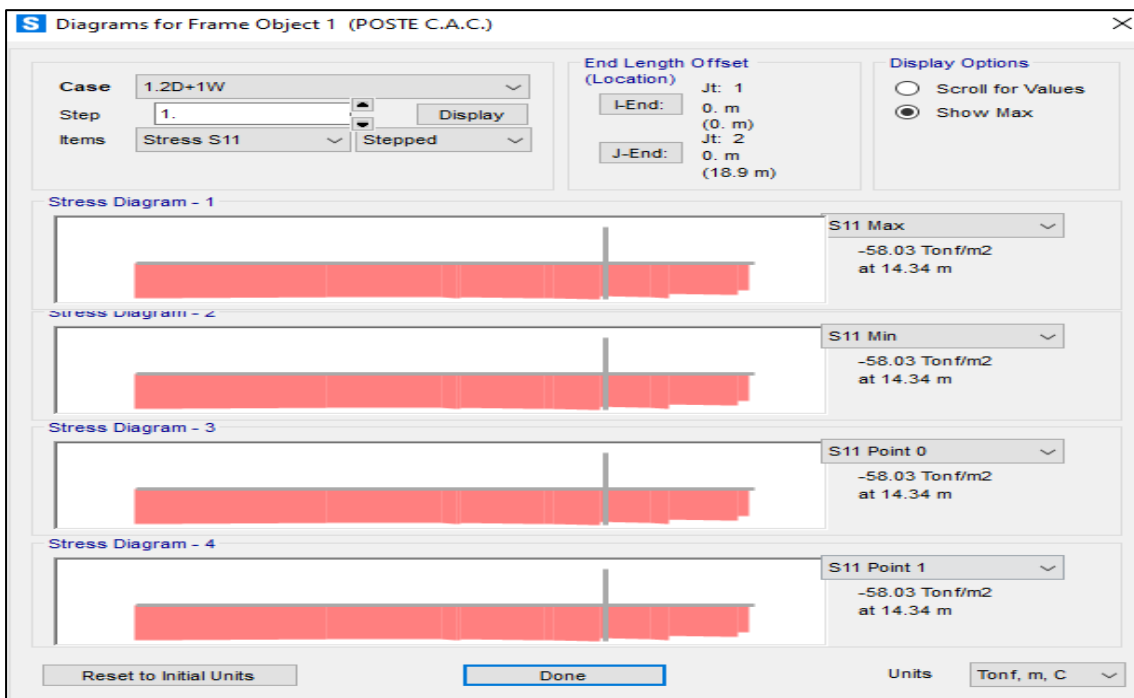
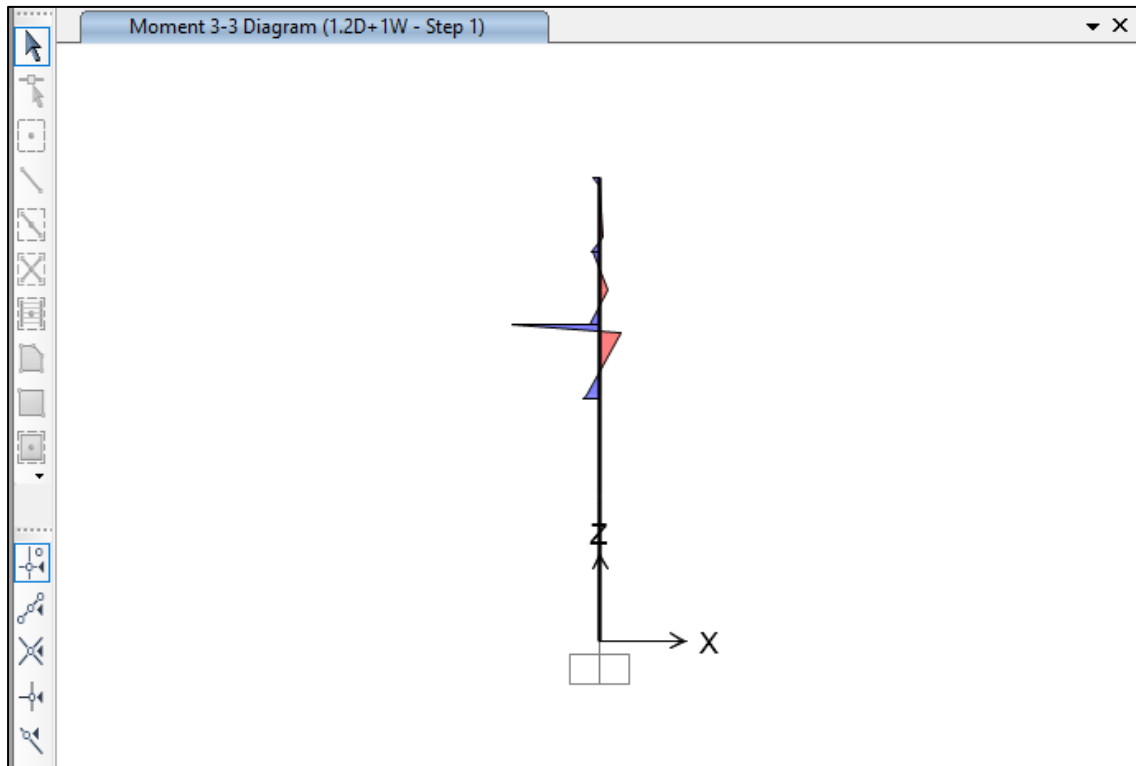


Diagrama de momentos



Momento máximo

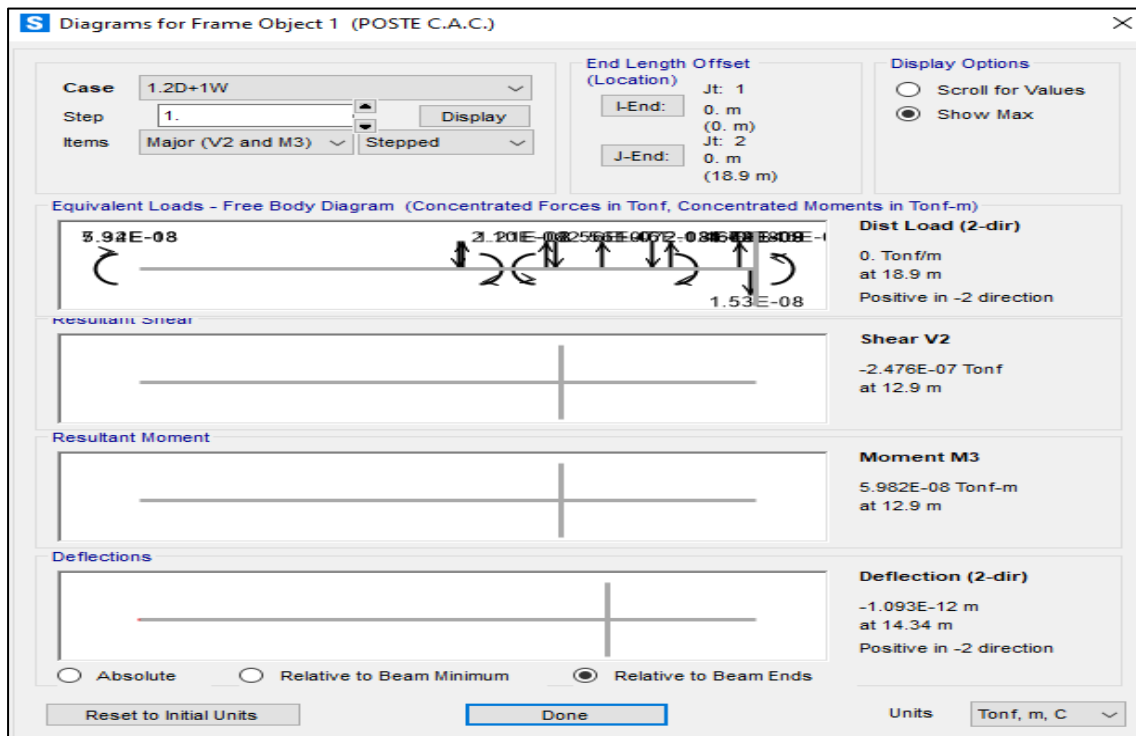
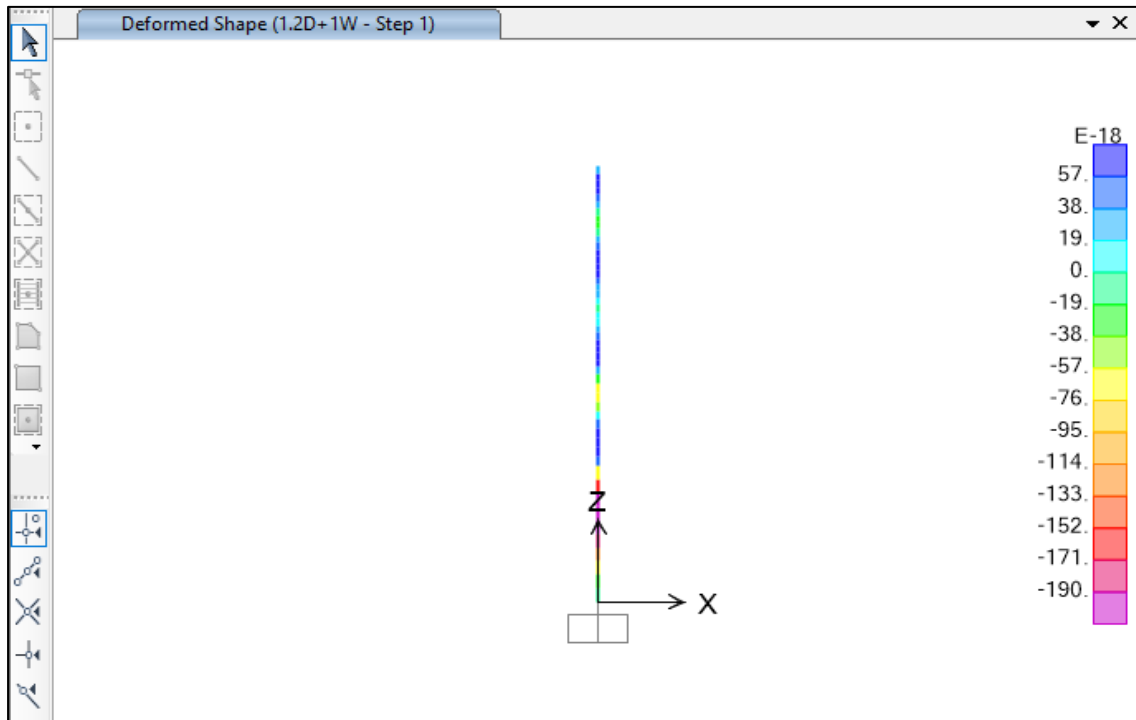
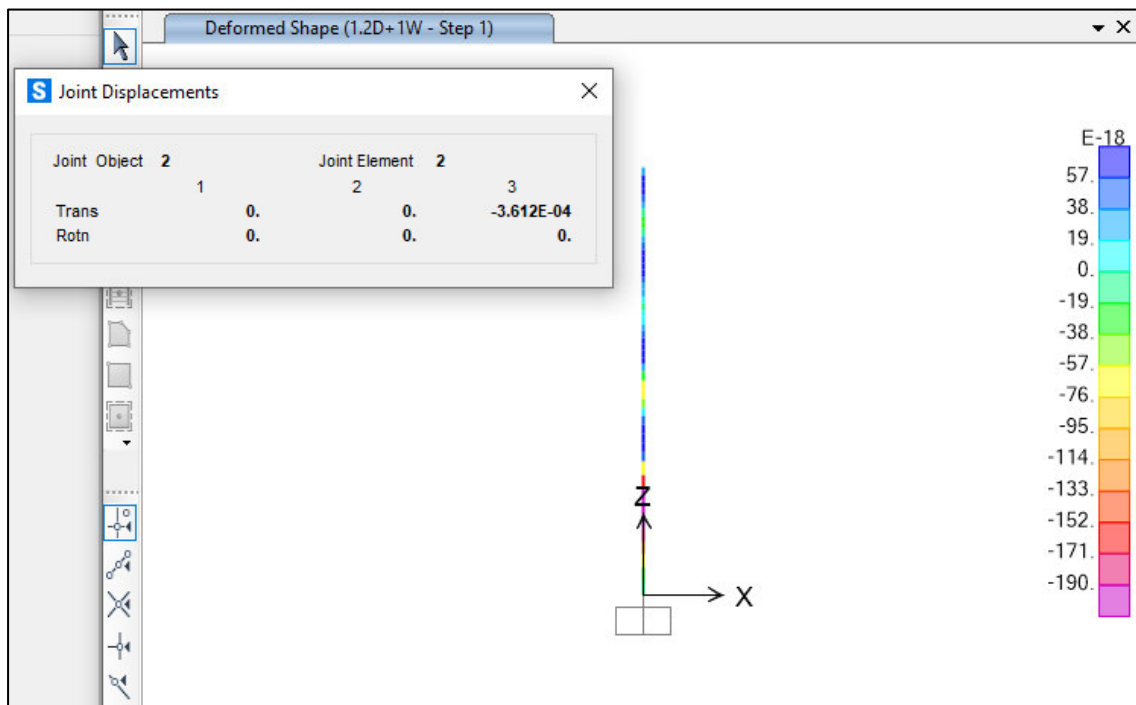


Diagrama de desplazamientos

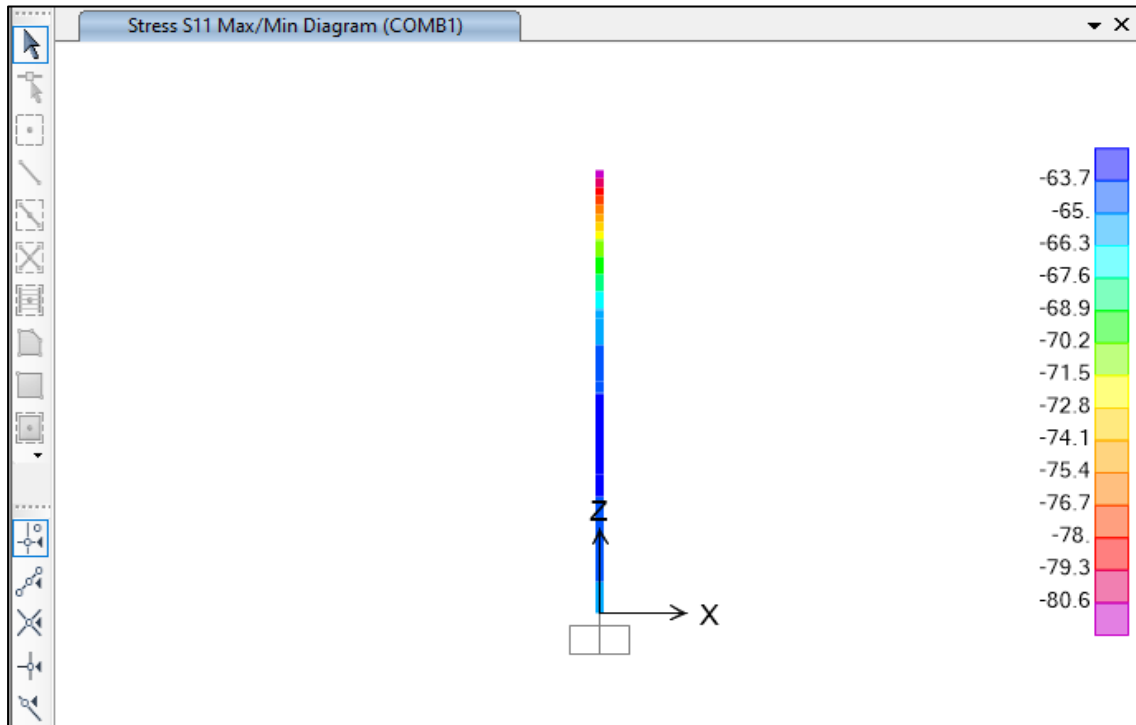


Desplazamiento máximo



ANÁLISIS POR CARGAS SÍSMICAS – ANÁLISIS ESTÁTICO EQUIVALENTE

Diagrama de esfuerzos



Esfuerzo máximo

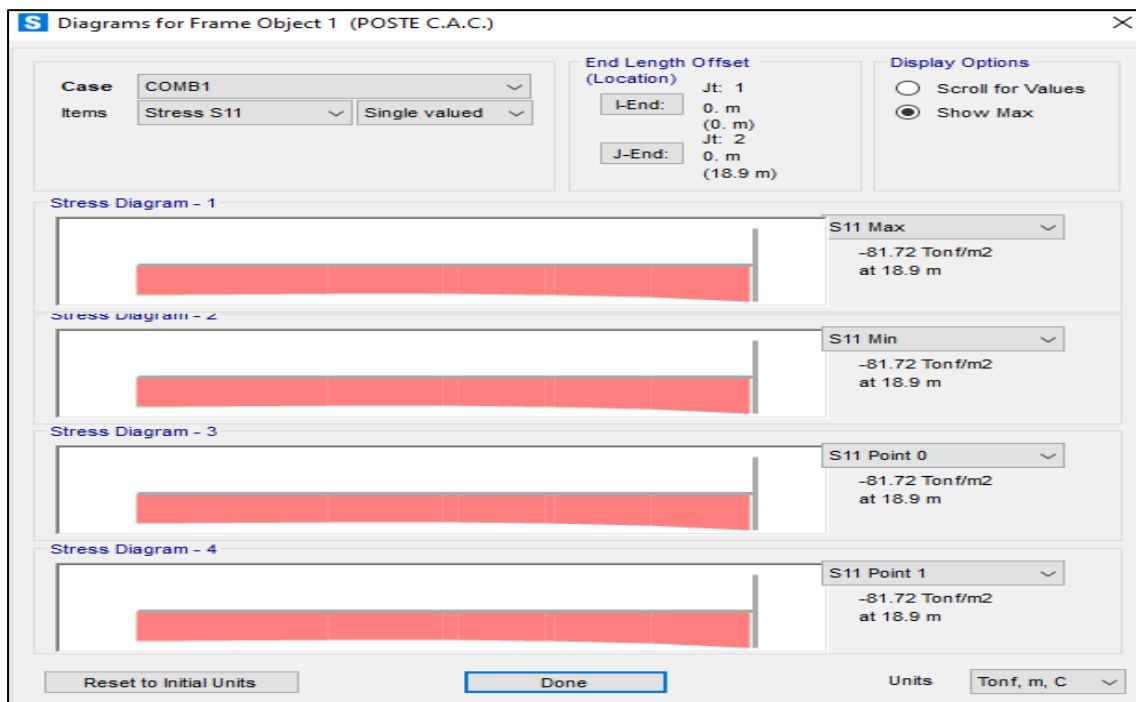
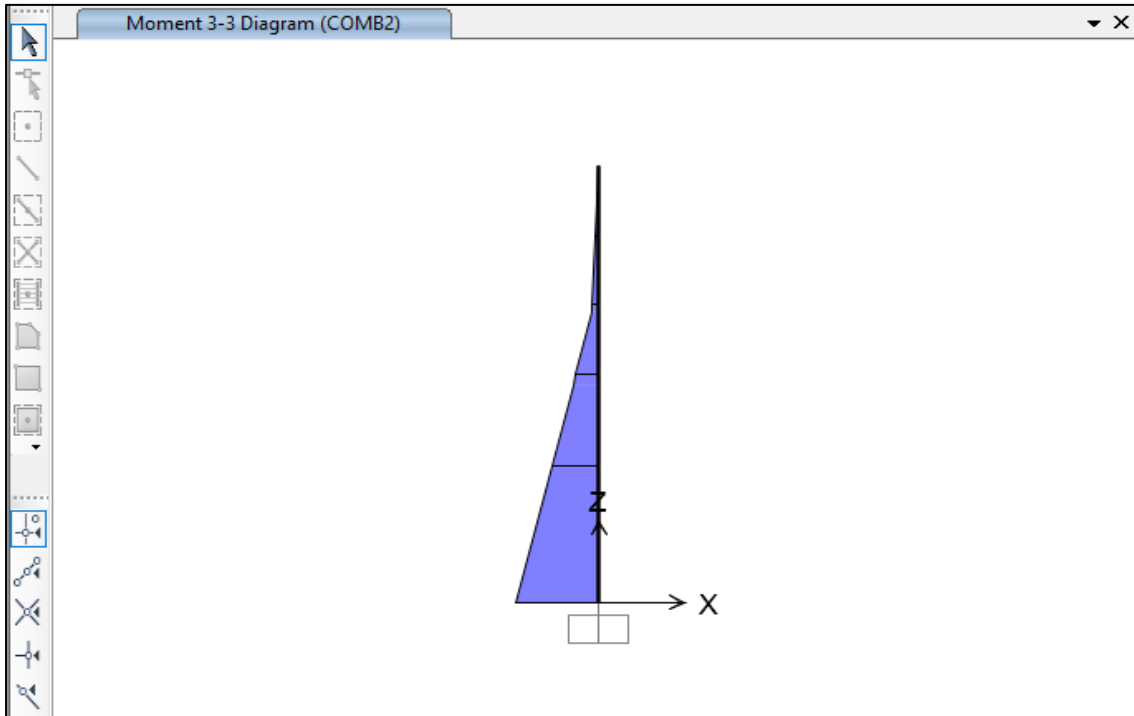


Diagrama de momentos



Momento máximo

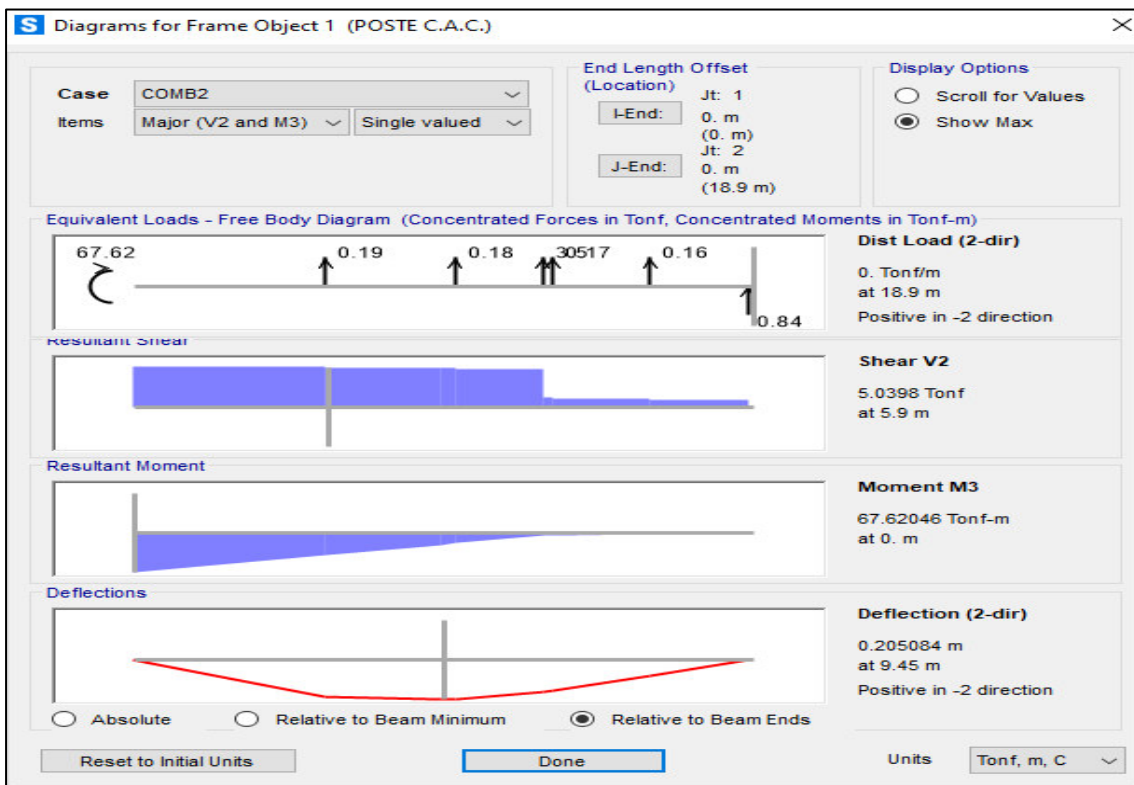
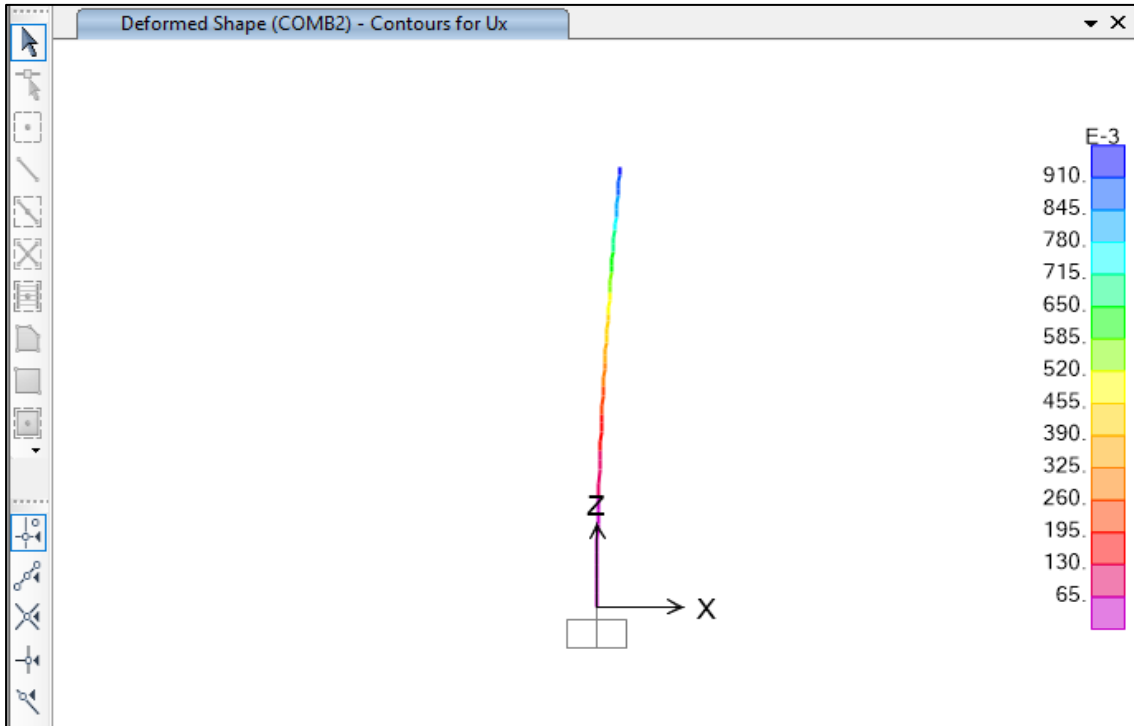
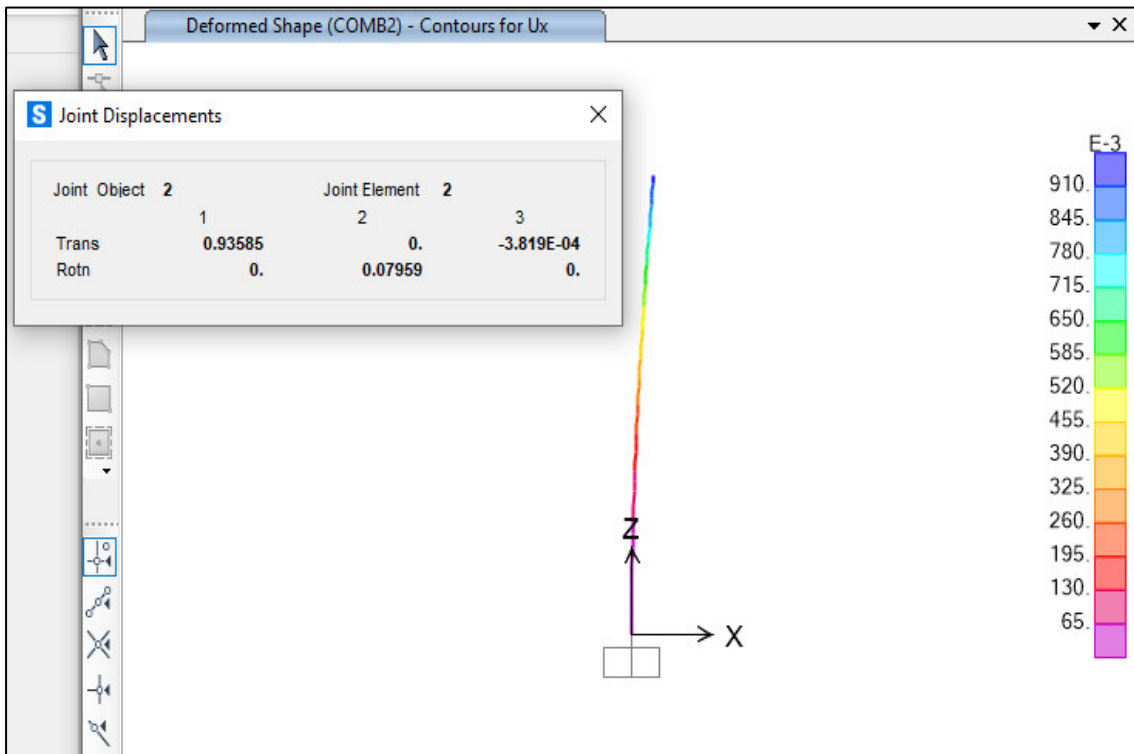


Diagrama de desplazamientos



Desplazamiento

máximo



6.4. Parámetros sísmicos

$Z = 0.45$	Zona sísmica 4 (Lima)
$U = 1.3$	Categoría de edificación: B (acarre peligros como cables energizados)
$S = 1.05$	Corresponde al estrato donde se apoya el poste, suelo intermedio (S_2)
$G = 9.81 \text{ m/s}^2$	Fuerza universal de atracción de los cuerpos con masa.
$R_o = 3$	Coefficiente de reducción básica de fuerzas sísmicas (de chimeneas)

