

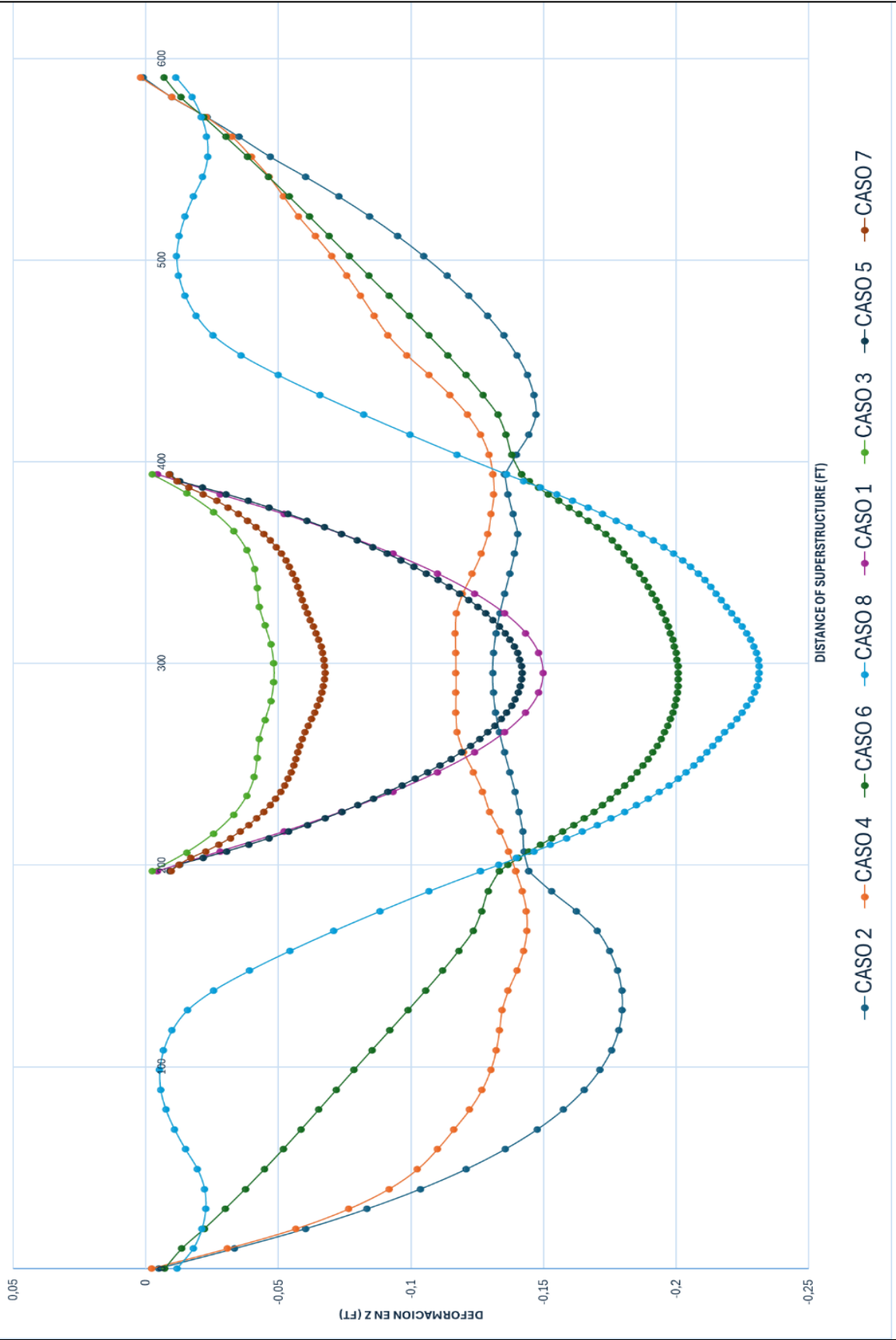
## **CAPÍTULO V: ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1. CUADROS COMPARATIVOS DE LOS CASOS DE ESTUDIO DE VIGAS SECCIÓN CAJÓN (BOX BEAM GIRDER), BAJO DISTINTAS CONDICIONES DE CURVATURA, ADHERENCIA DE TENDONES Y RESTRICCIONES DE LOS APOYOS.**

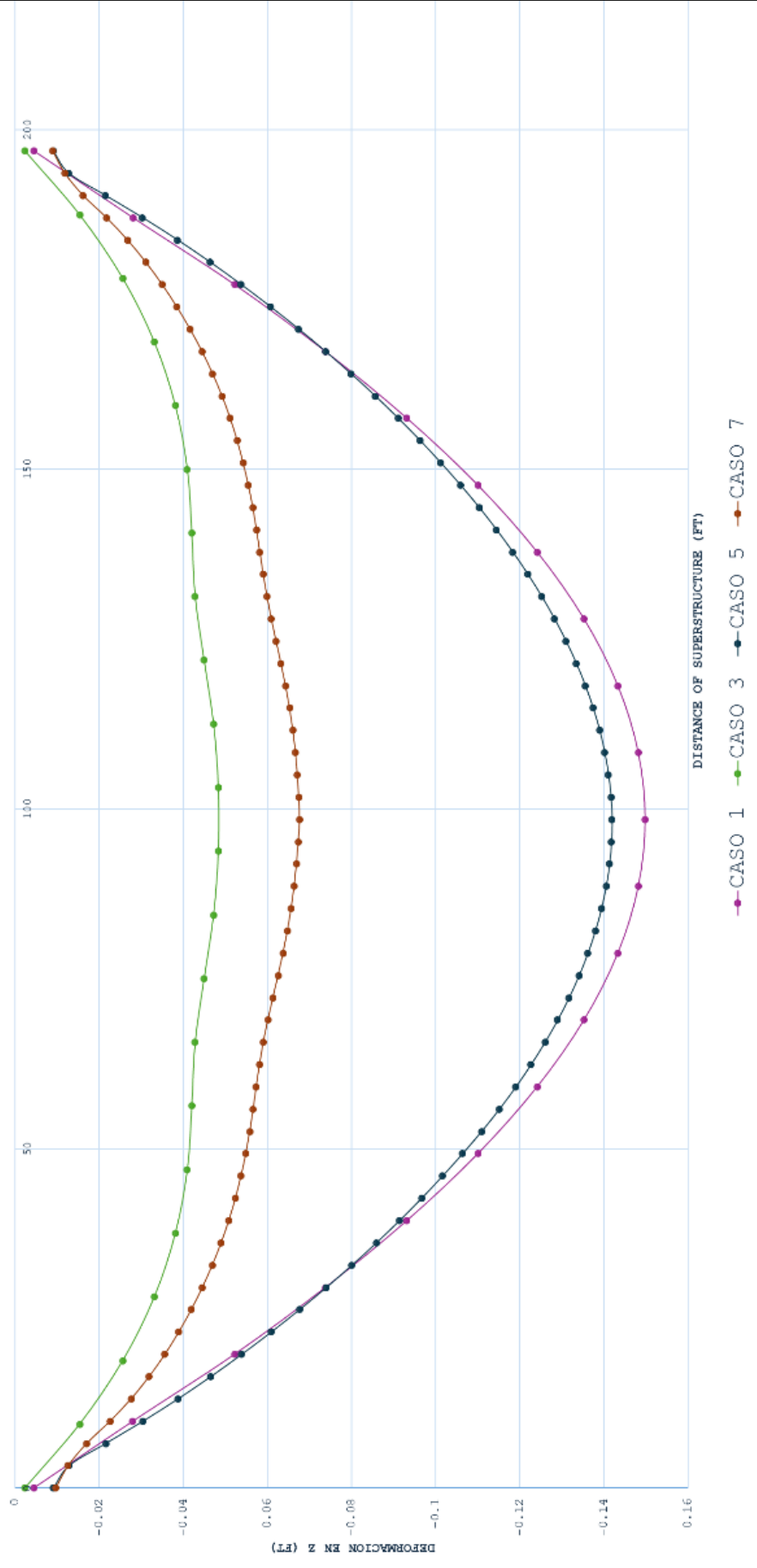
A continuación, se muestra la Comparación de forma Gráfica, los resultados de la modelación de las vigas sección cajón postensado de los 8 casos propuestos, bajo las distintas condiciones de tendones adheridos, curvatura en planta, las vigas simplemente apoyadas y las vigas de tramos con vigas continuas, se tiene un detalle de los gráficos formados por las diferentes variables dependientes más importantes e influyentes como ser, los Momentos Flectores, Torsores, Deformaciones, Capacidad a flexión, Momento torsor, esfuerzos de tracción, compresión, esfuerzos cortantes representado en su relación o capacidad de cortante D/C (shear capacity ratio), deflexiones predominantes en la dirección de la gravedad-eje z, en la combinación de Estado último de Resistencia I (STRENGTH I) de acuerdo a AASHTO-LFRD combinación utilizada para el diseño a Cortante y Torsión.

Asimismo, el diseño a Flexión, los esfuerzos de diseño máximos de Tracción y Compresión de acuerdo a los estados limites últimos de SERVICIO I y SERVICIO III, combinaciones AASHTO-LFRD. Incluido, los Esfuerzos Principales de acuerdo al estado límite de SERVICIO III-AASHTO-LRFD, bajo las condiciones impuestas sobre la Superestructura en base a todo lo visto en el capítulo 1 al 3 y según los resultados que se tiene del capítulo 4. Se presenta la comparación gráfica y sobreposición de las curvas de dichas variables, haciendo un registro de la variabilidad de todas los esfuerzos, momentos, fuerzas y deformaciones descritas en las figuras y sub-figuras de forma ordenada, que se muestran a continuación:

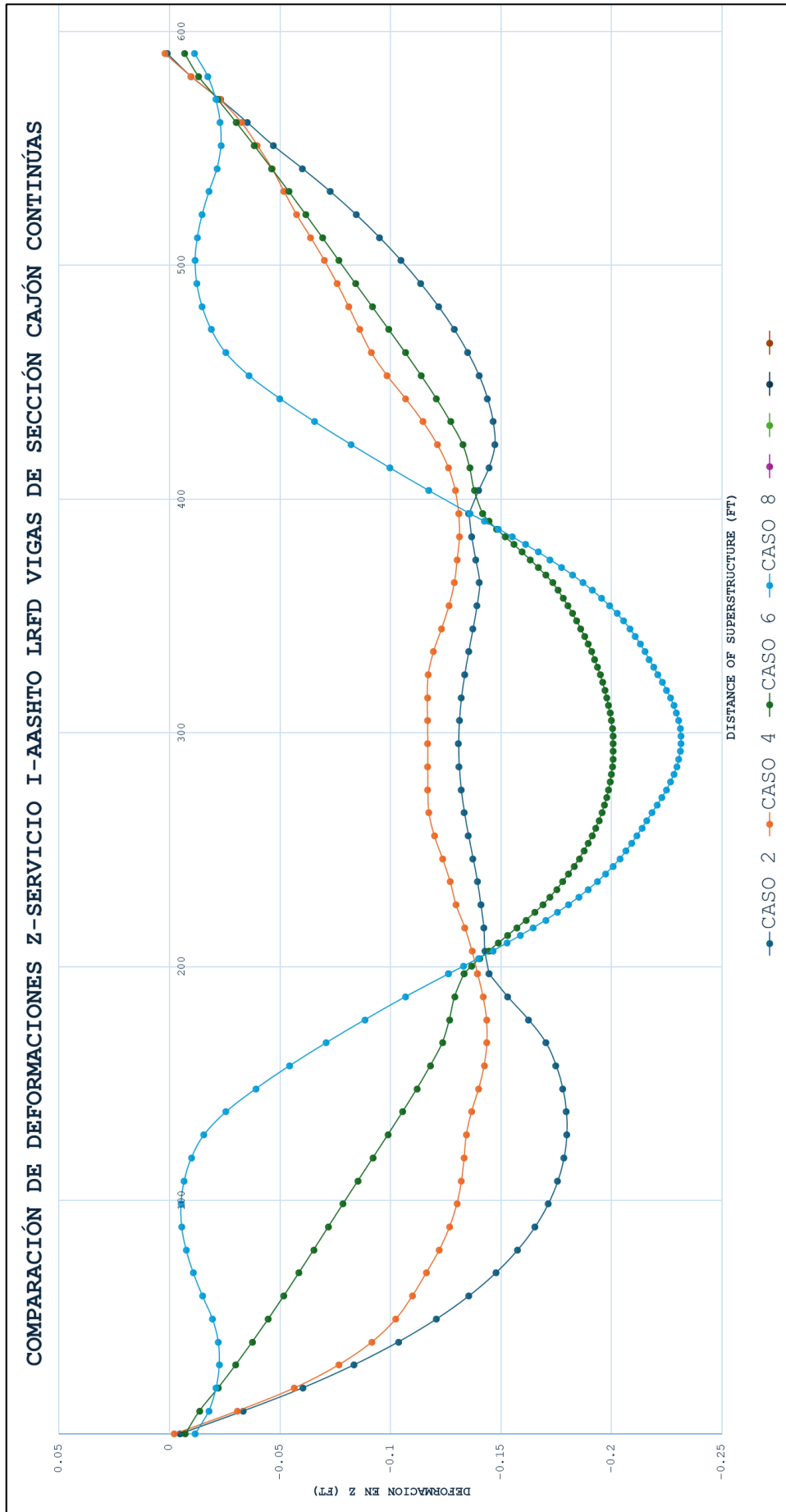
**Figura 5.1. COMPARACIÓN DE DEFORMACIONES Z-SERVICIO I-AASHTO LRFD VIGA DE SECCIÓN CAJÓN TODOS LOS CASOS**



COMPARACIÓN DE DEFORMACIONES Z-SERVICIO I-AASHTO LRFD VIGA DE SECCIÓN CAJÓN SOLO SIMPLEMENTE APOYADAS.

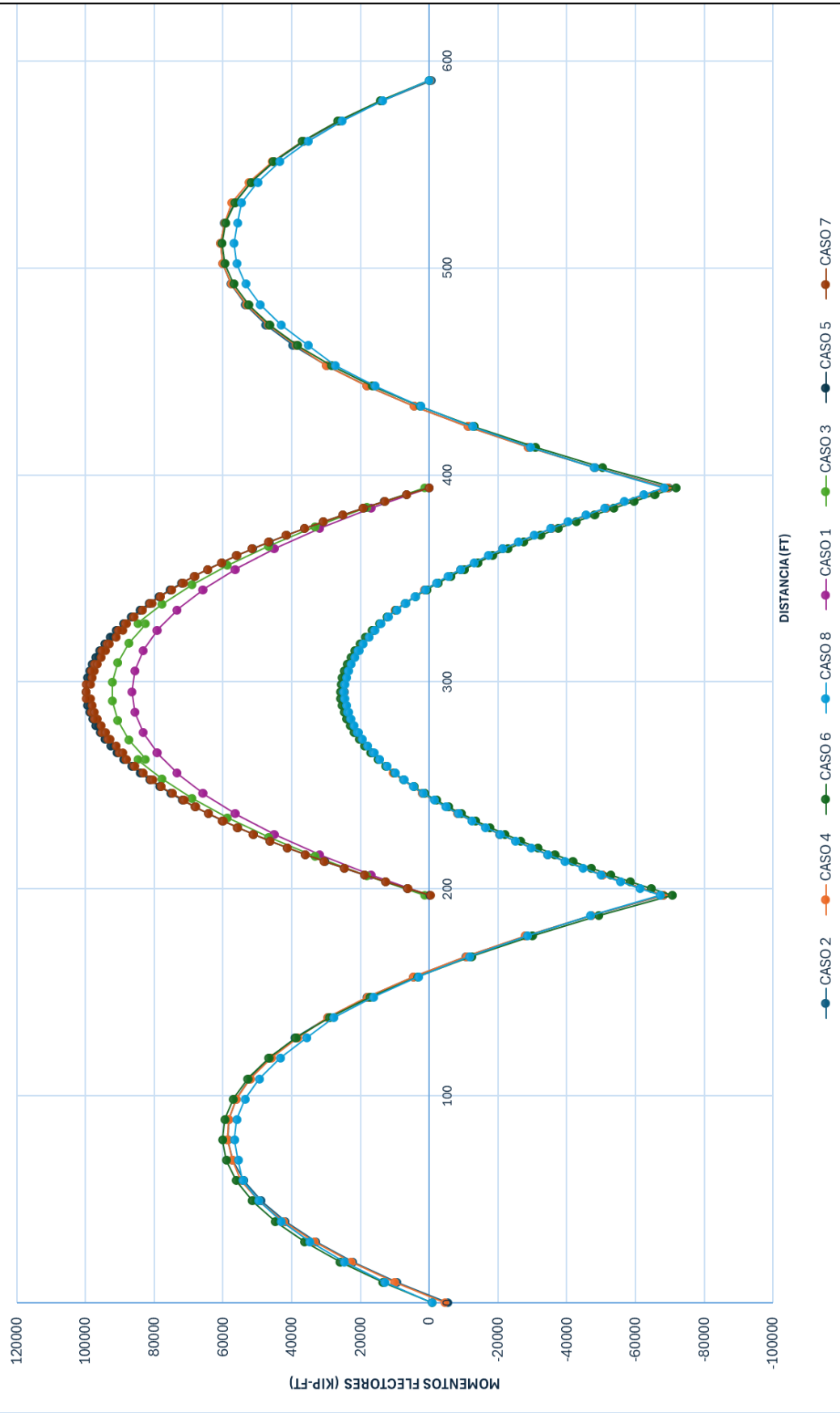


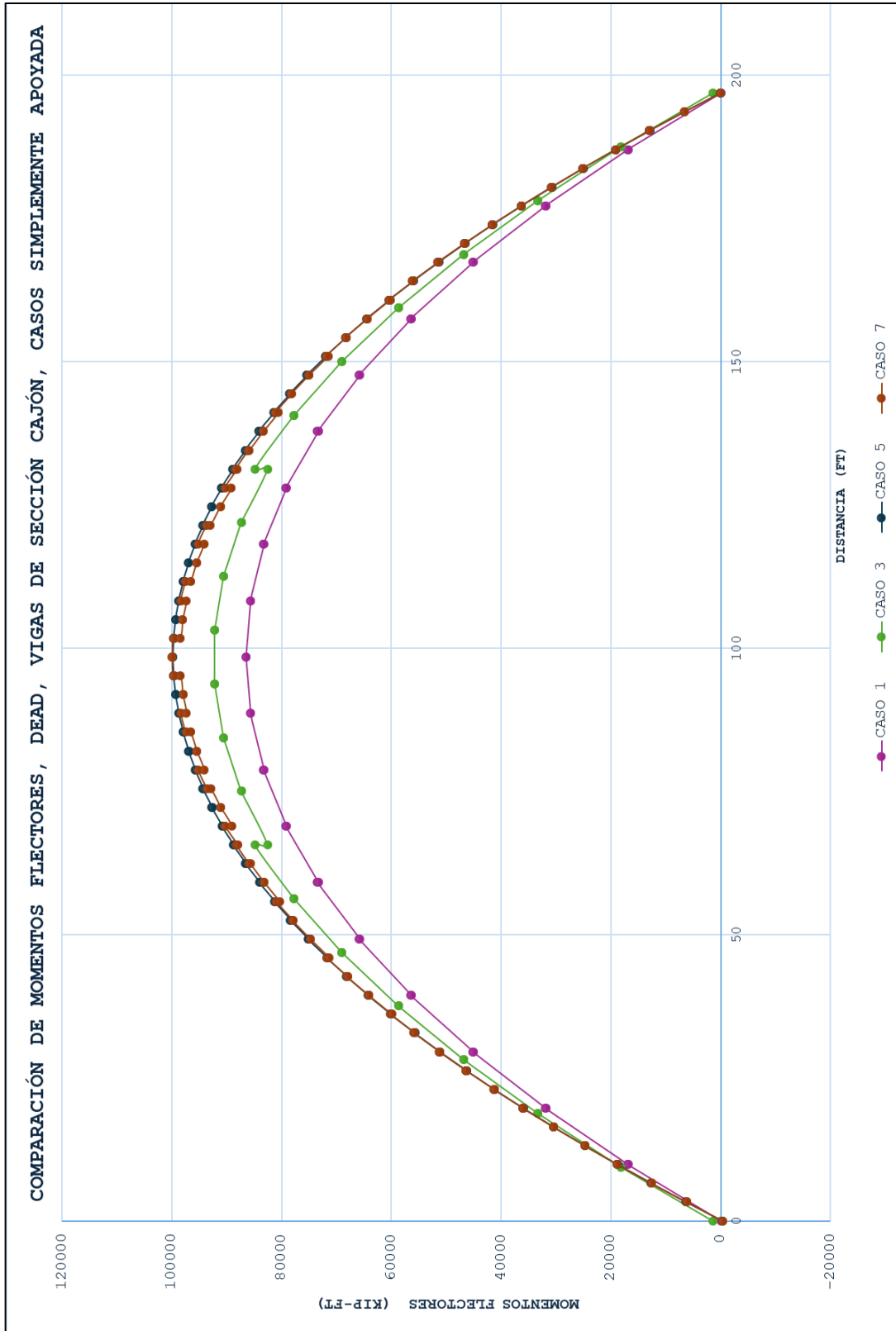
Sub-Figura 5.1.1



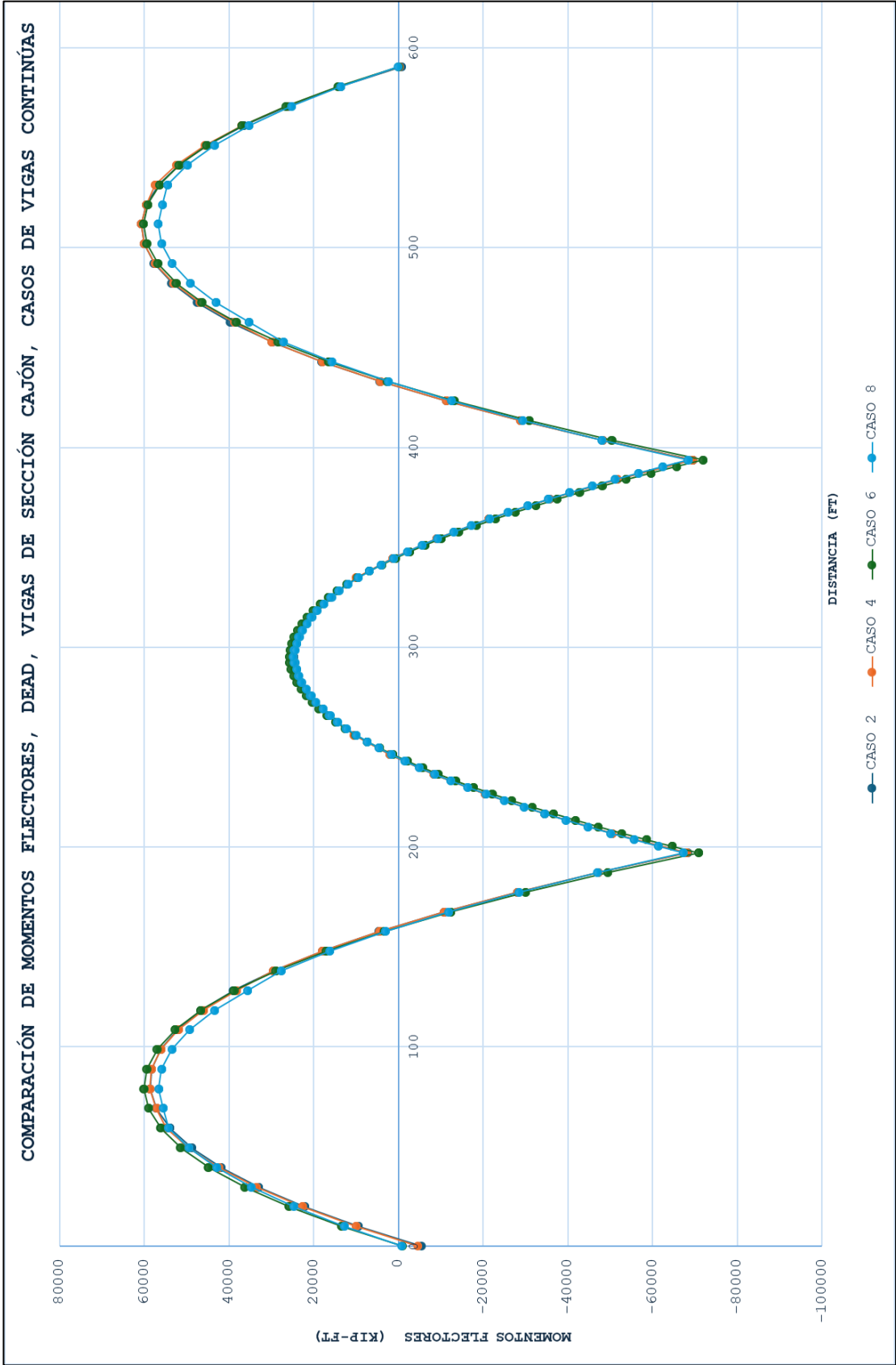
Sub-Figura 5.1.2

Figura 5.2. COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES, DEAD, TODOS LOS CASOS DE VIGAS DE SECCIÓN CAJÓN



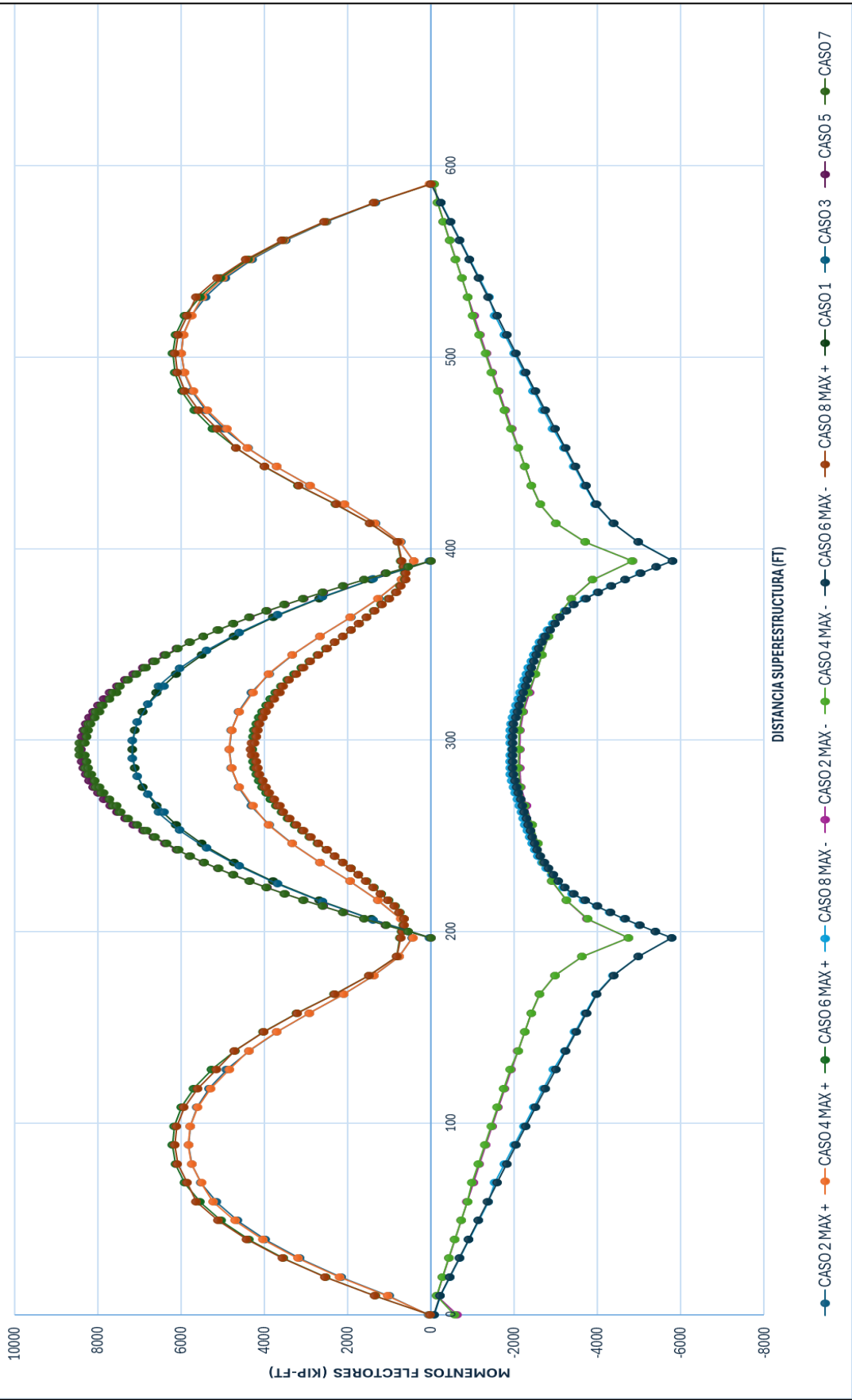


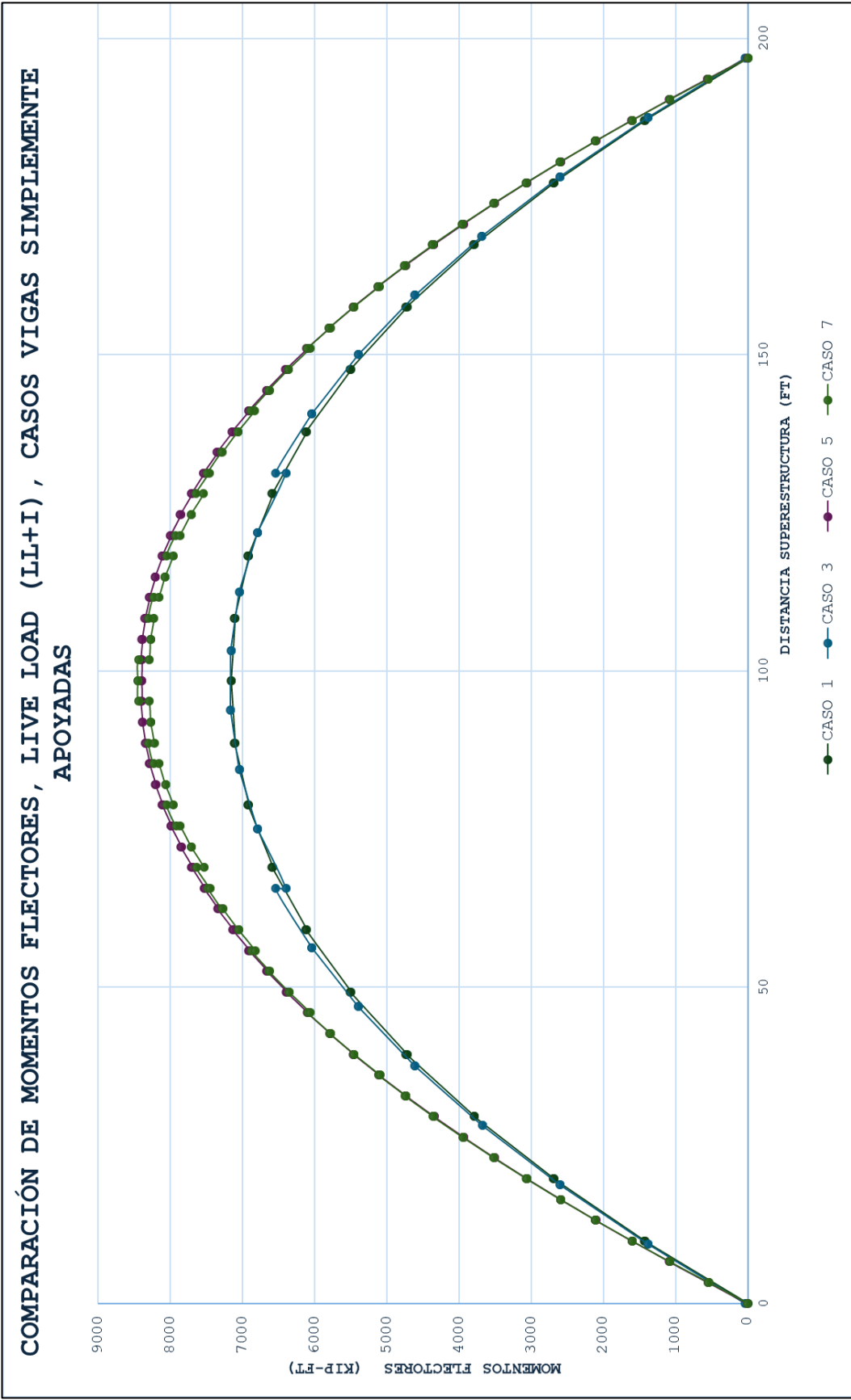
**Sub-Figura 5.2.1**



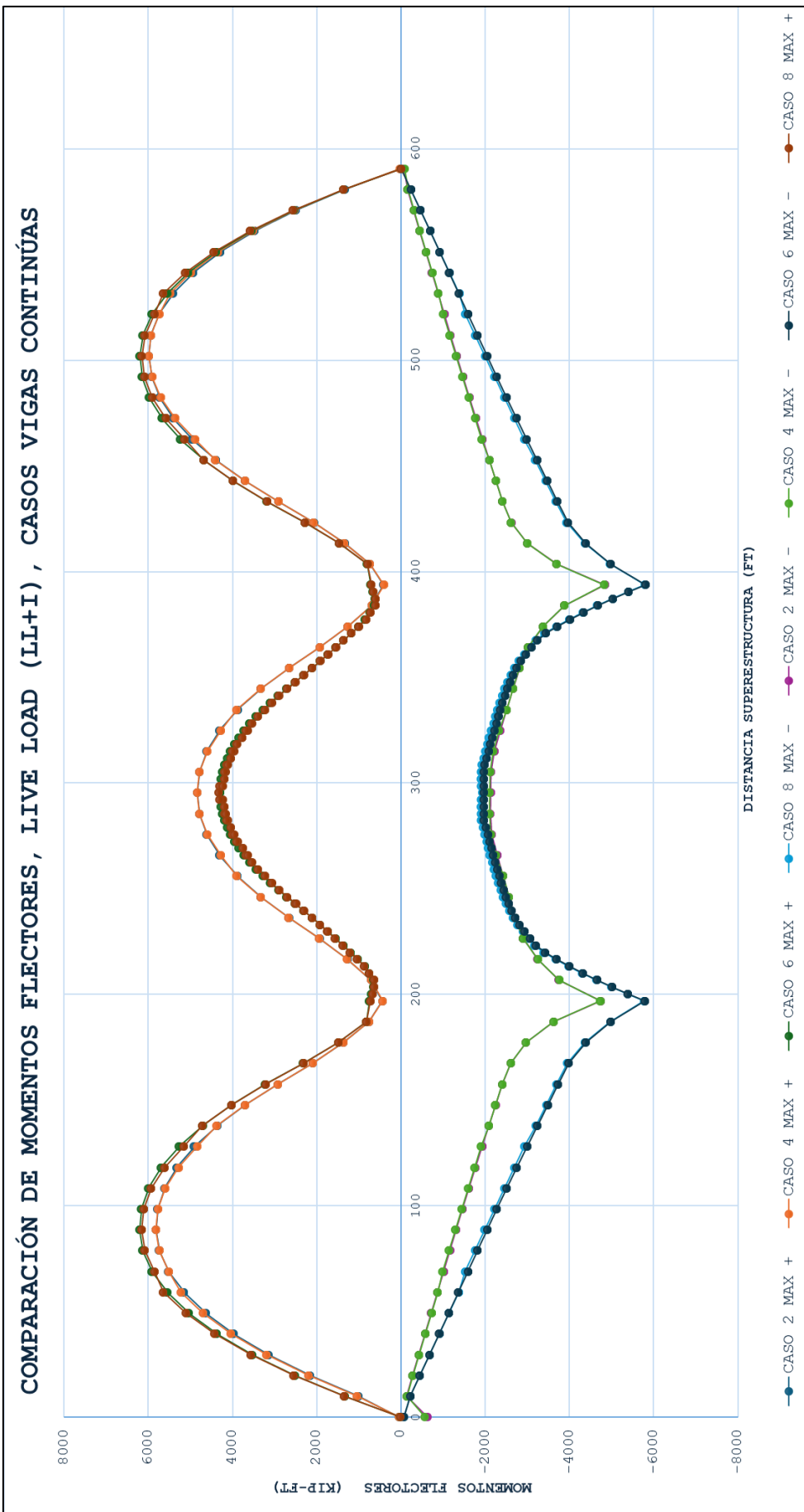
Sub-Figura 5.2.2

**Figura 5.3. COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES, LIVE LOAD (LL+I), VIGAS CONTINUAS**



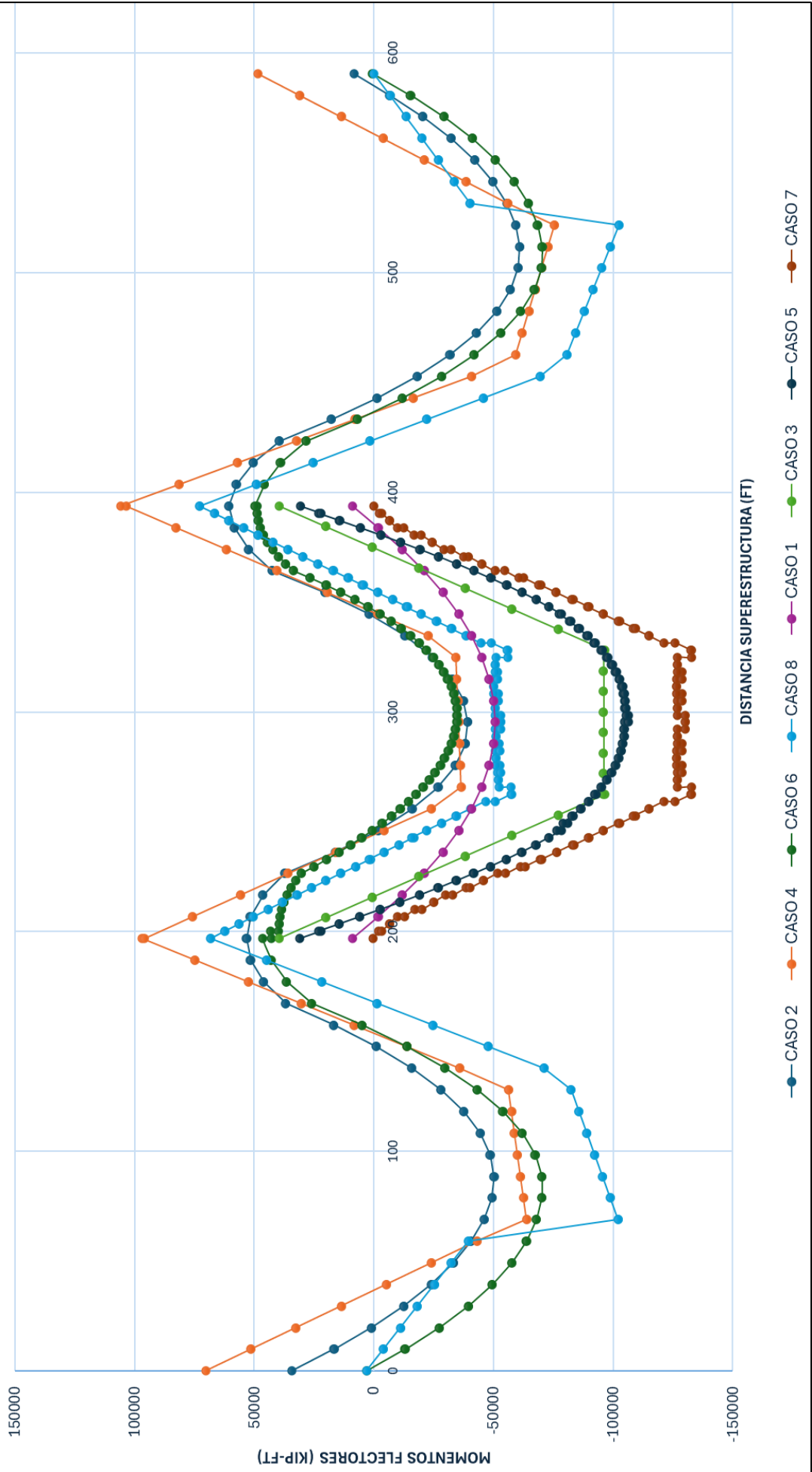


Sub-Figura 5.3.1

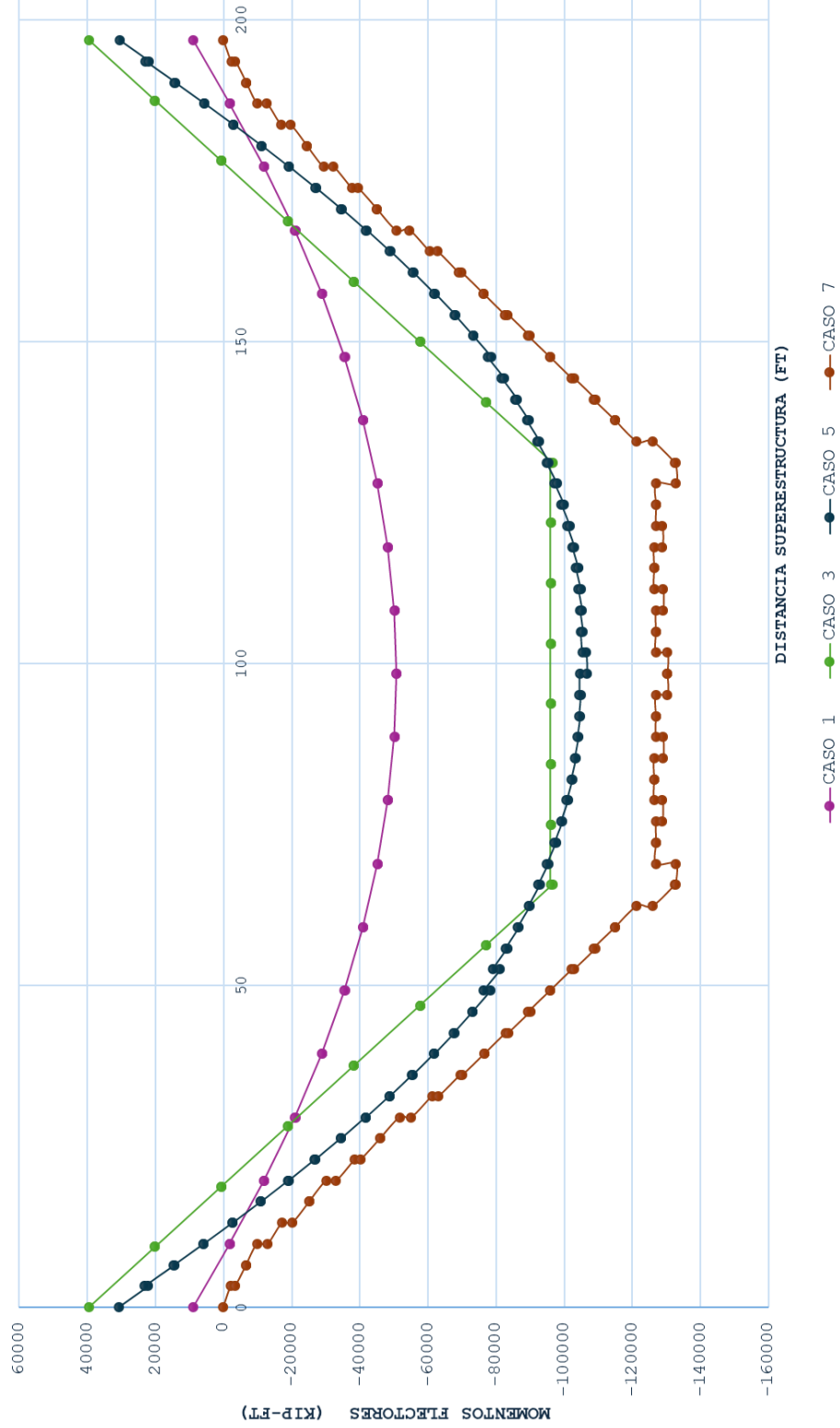


**Sub-Figura 5.3.2**

**Figura 5.4. COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES, POSTENSADO; TODOS LOS CASOS DE VIGAS DE SECCIÓN CAJÓN**

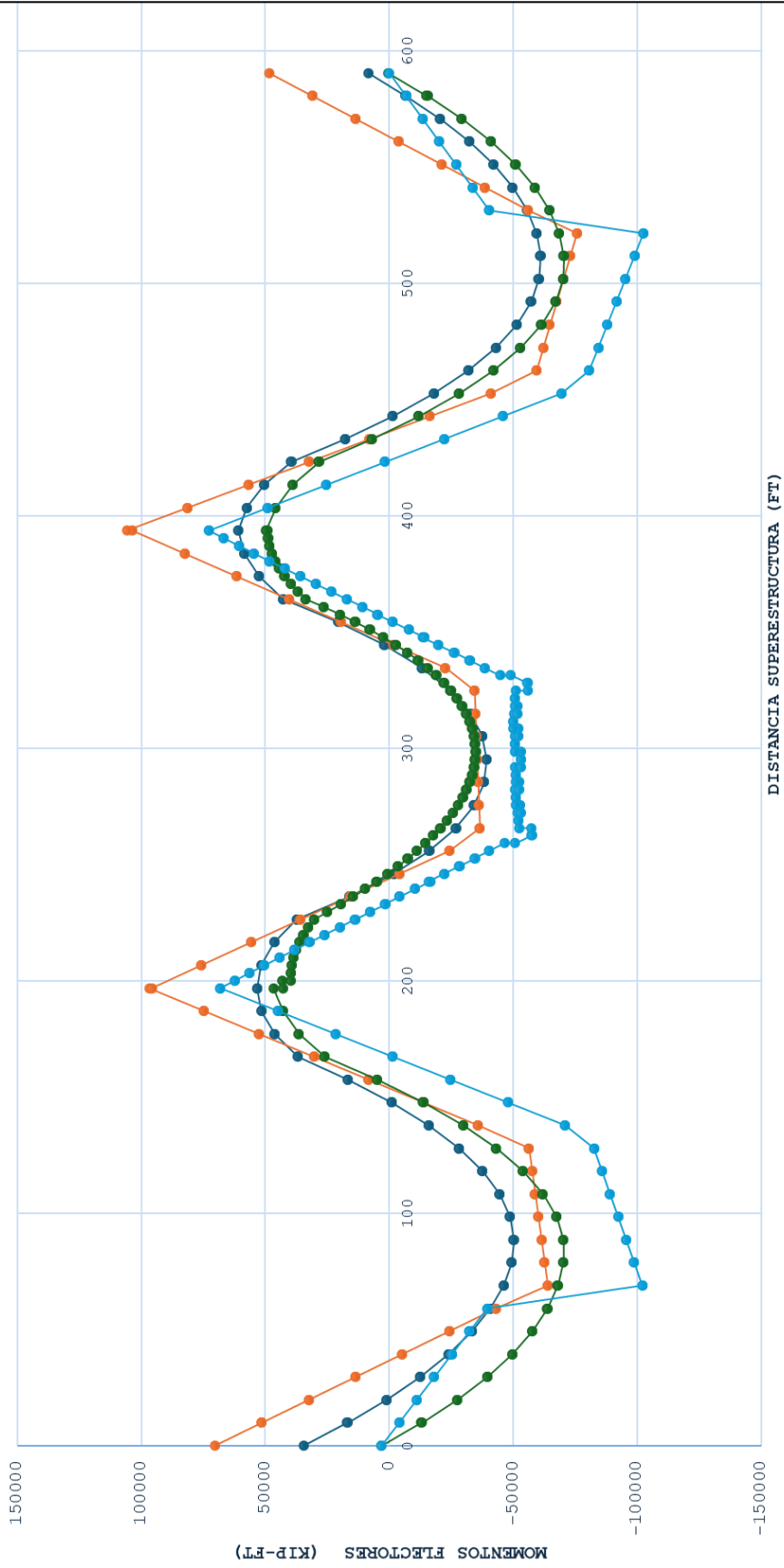


COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES, POSTENSADO, VIGAS DE SECCIÓN CAJÓN SIMPLEMENTE APOYADAS



Sub-Figura 5.4.1

COMPARACIÓN DE MOMENTOS FLECTORES, POSTENSADO, VIGAS DE SECCIÓN CAJÓN VIGAS CONTINUAS



DISTANCIA SUPERESTRUCTURA (FT)

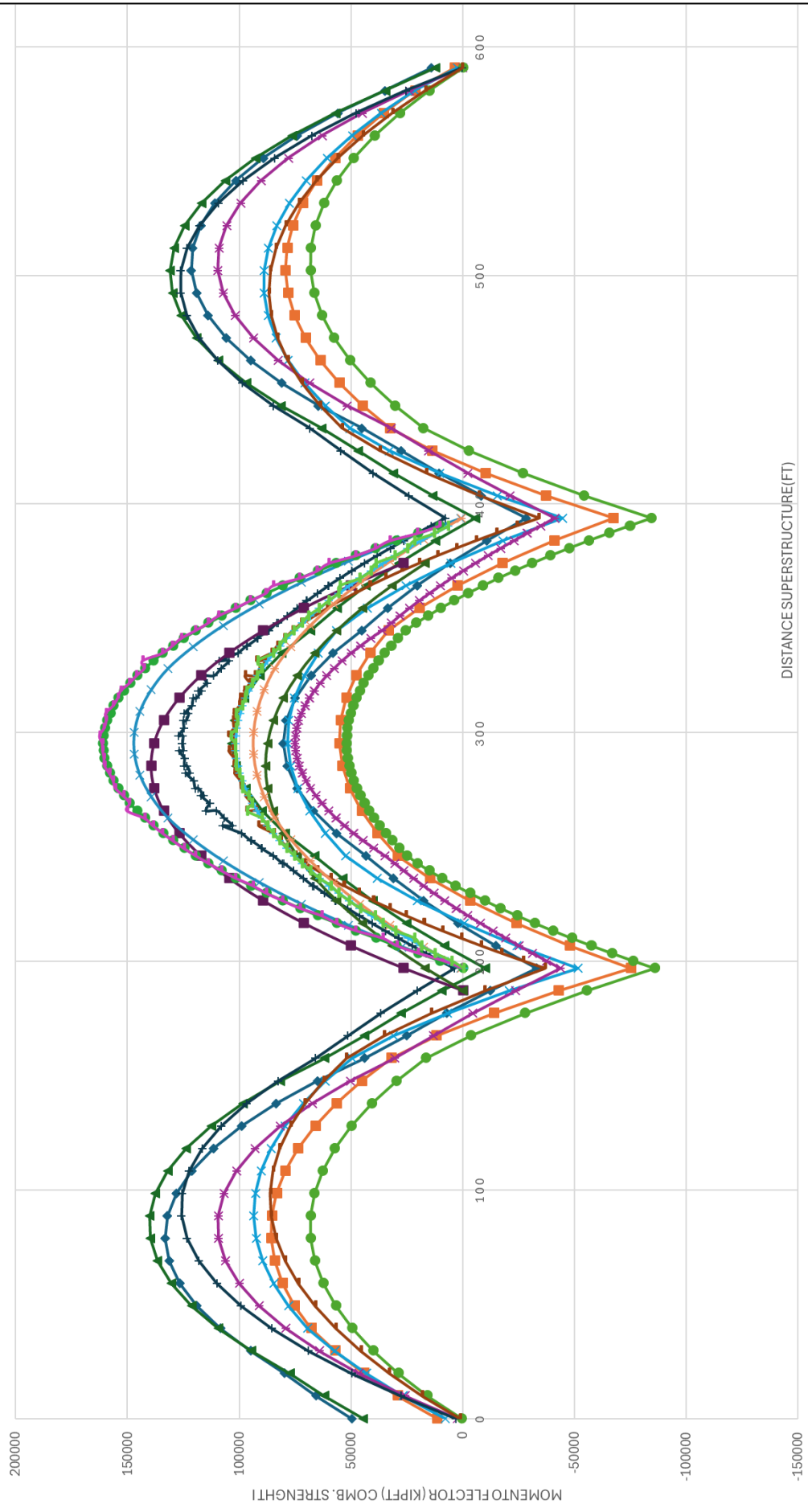
● CASO 2 ● CASO 4 ● CASO 6 ● CASO 8

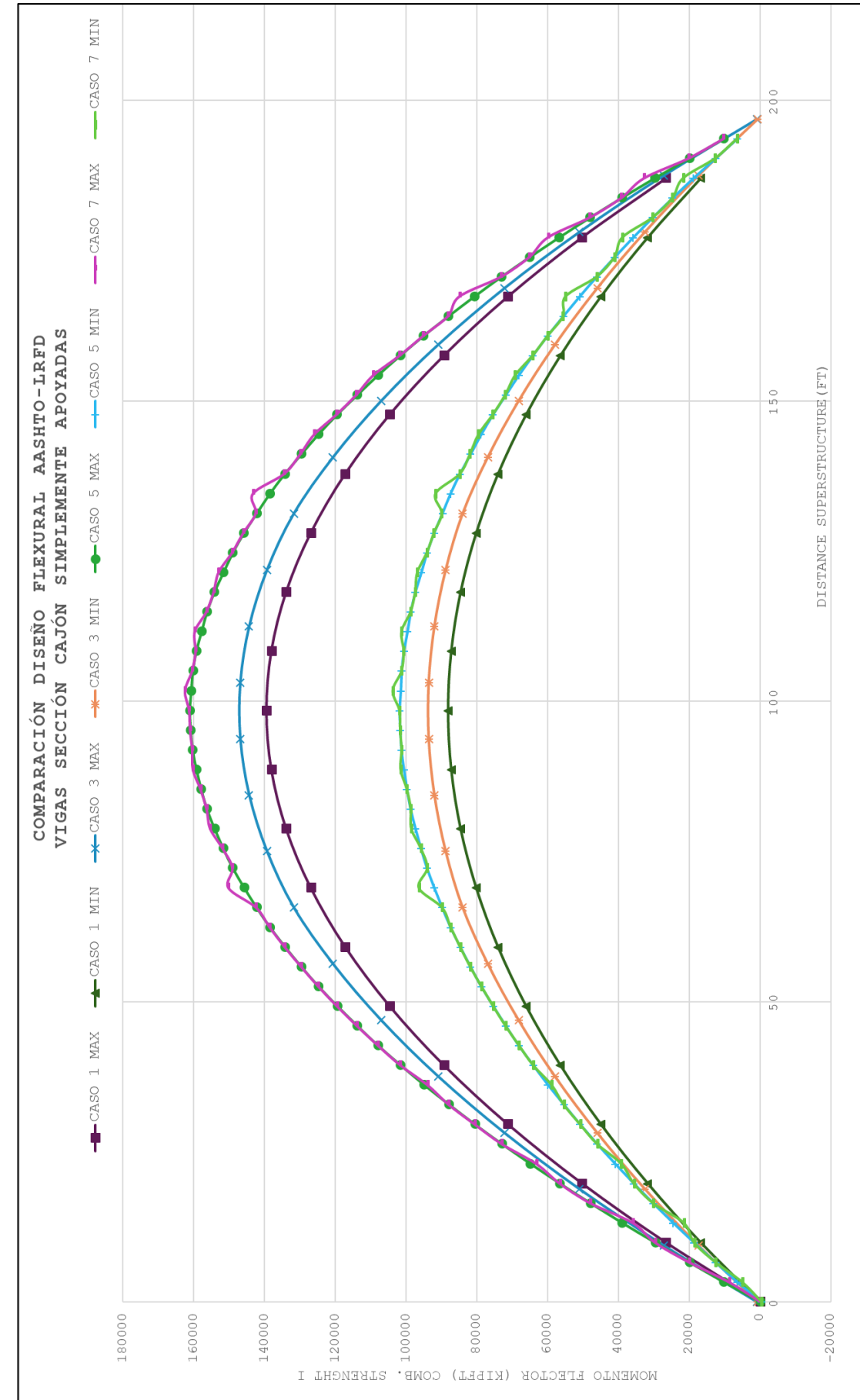
MOMENTOS FLECTORES (KIP-FT)

Sub-Figura 5.4.2

**Figura 5.5.** COMPARACIÓN DISEÑO FLEXURAL AASHTO-LRFD  
VIGA SECCIÓN CAJÓN CONTINUAS

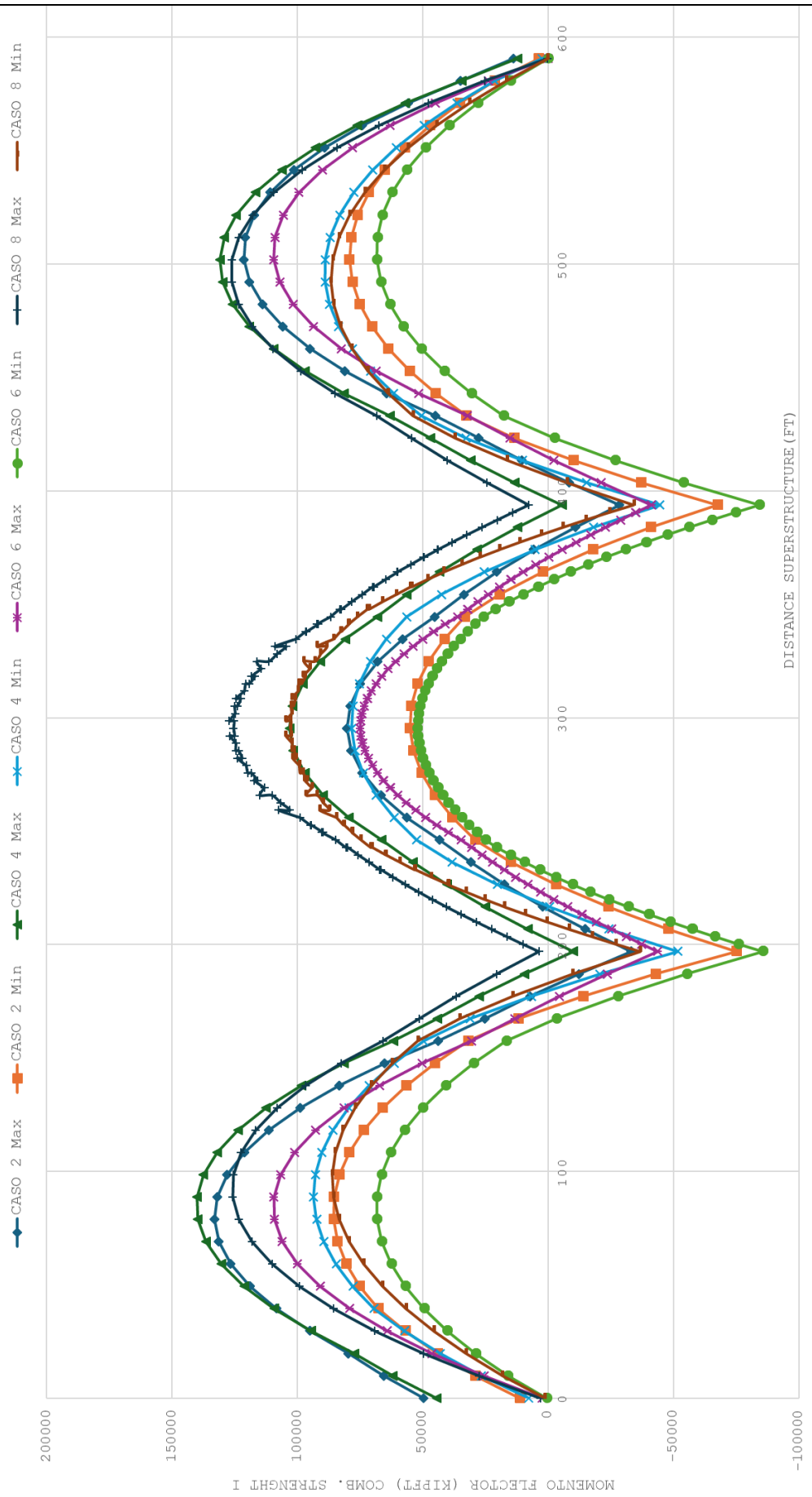
- CASO 2 Max
- CASO 2 Min
- CASO 1 MAX
- CASO 1 MIN
- CASO 3 MAX
- CASO 3 MIN
- CASO 4 Max
- CASO 4 Min
- CASO 5 MAX
- CASO 5 MIN
- CASO 6 Max
- CASO 6 Min
- CASO 7 MAX
- CASO 7 MIN
- CASO 8 Max
- CASO 8 Min



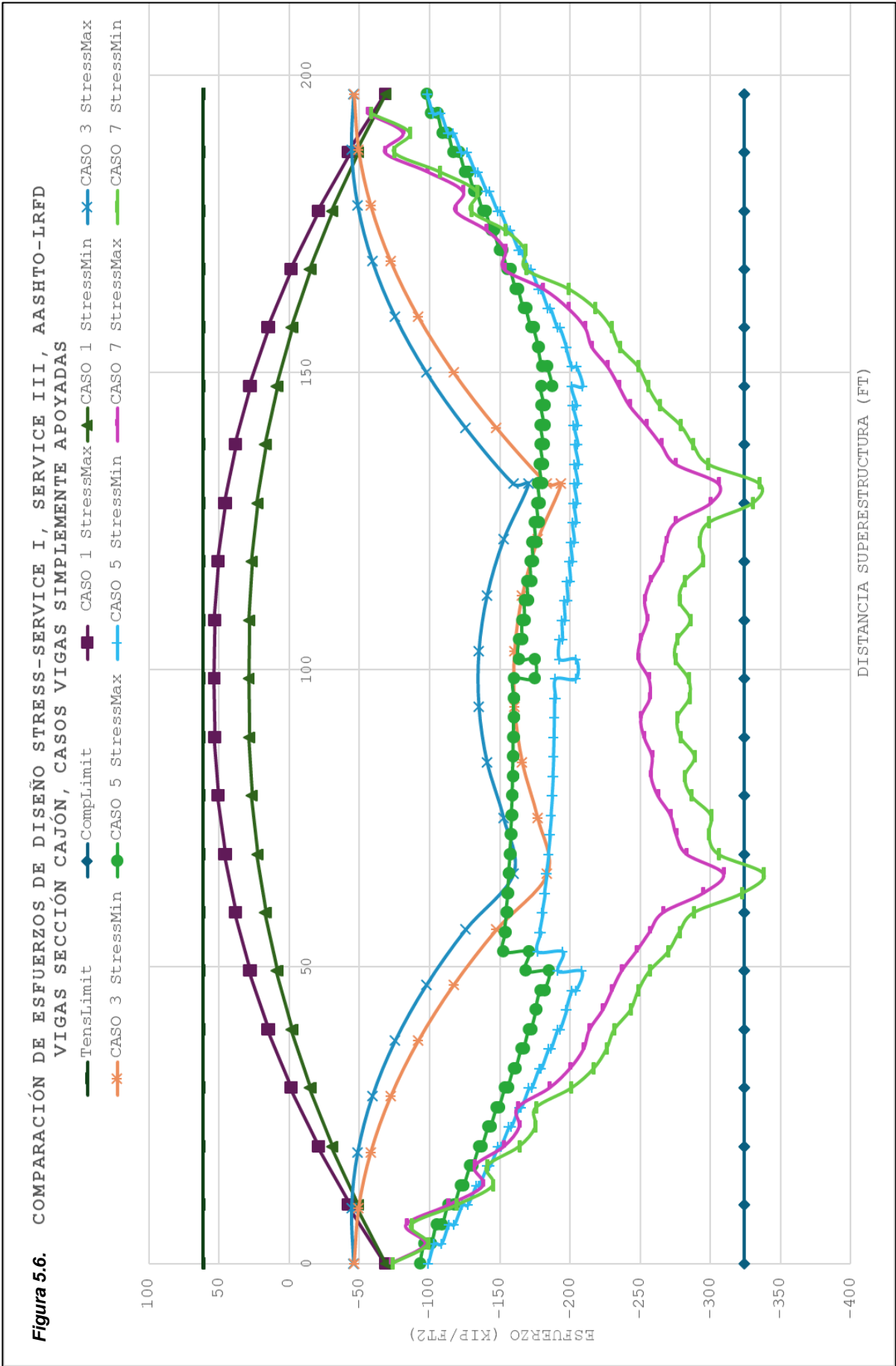


**Sub-Figura 5.5.1**

COMPARACIÓN DISEÑO FLEXURAL AASHTO-LRFD  
 VIGAS SECCION CAJÓN CONTINUAS

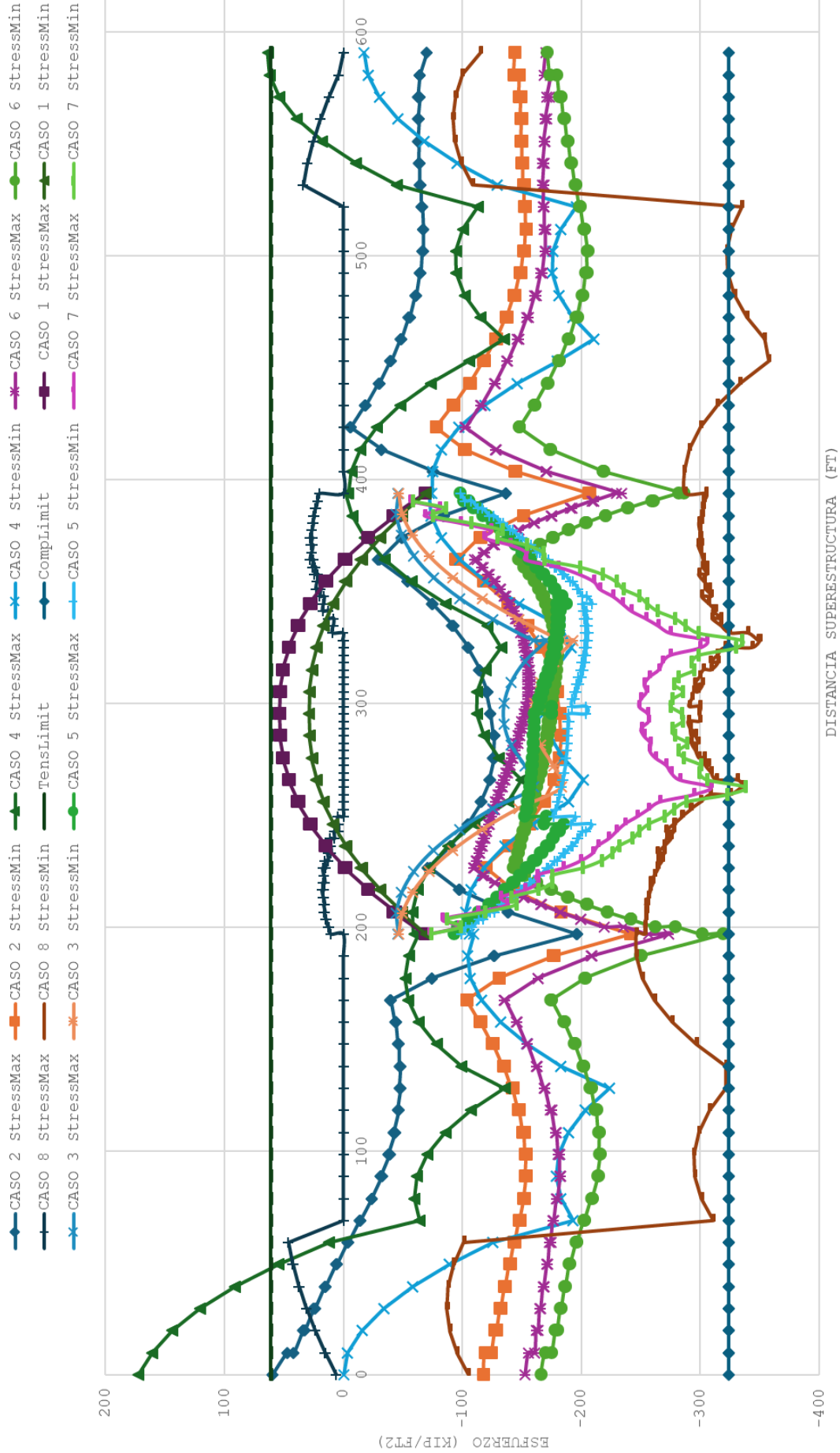


Sub-Figura 5.5.2

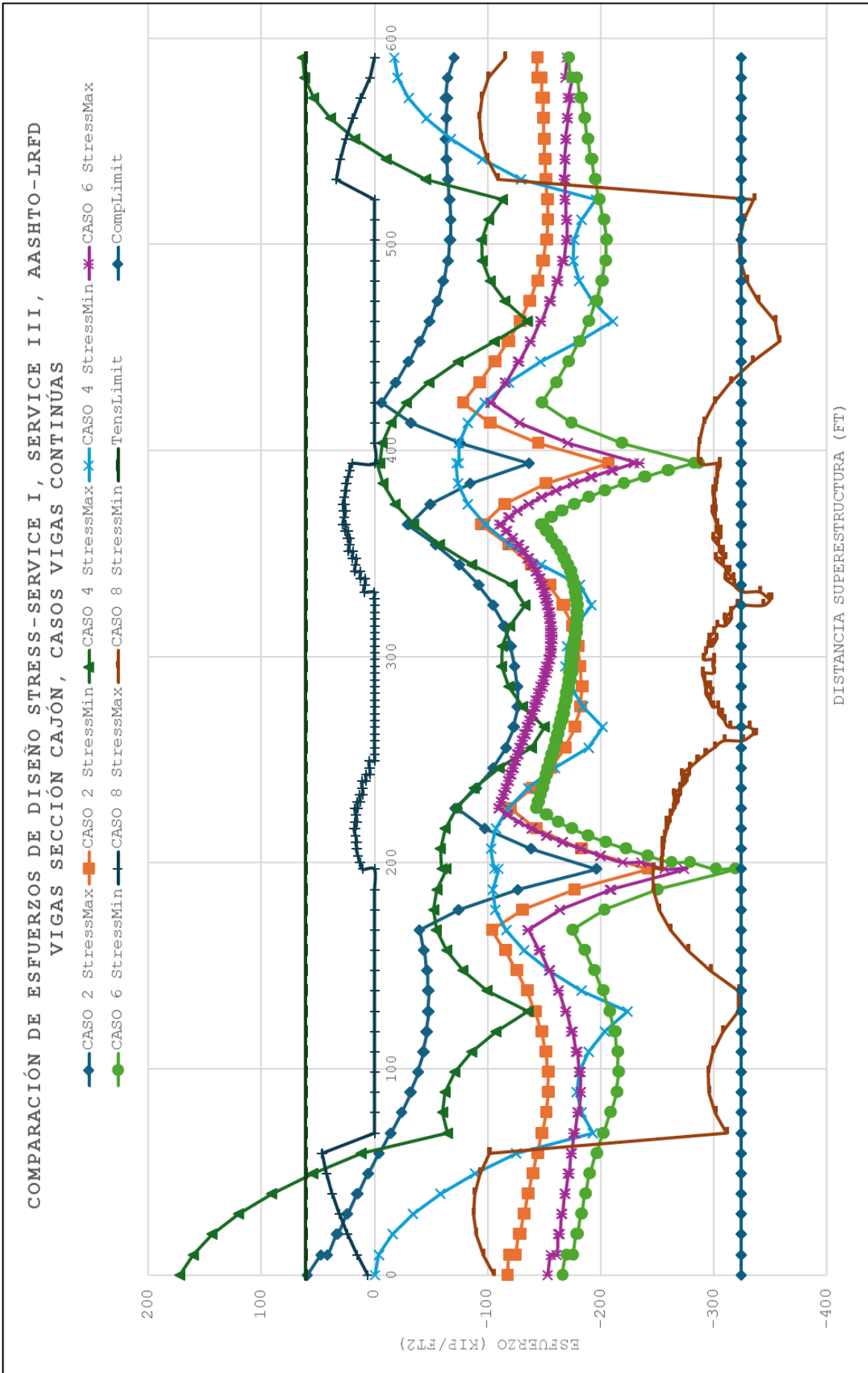


**Figura 5.7.**

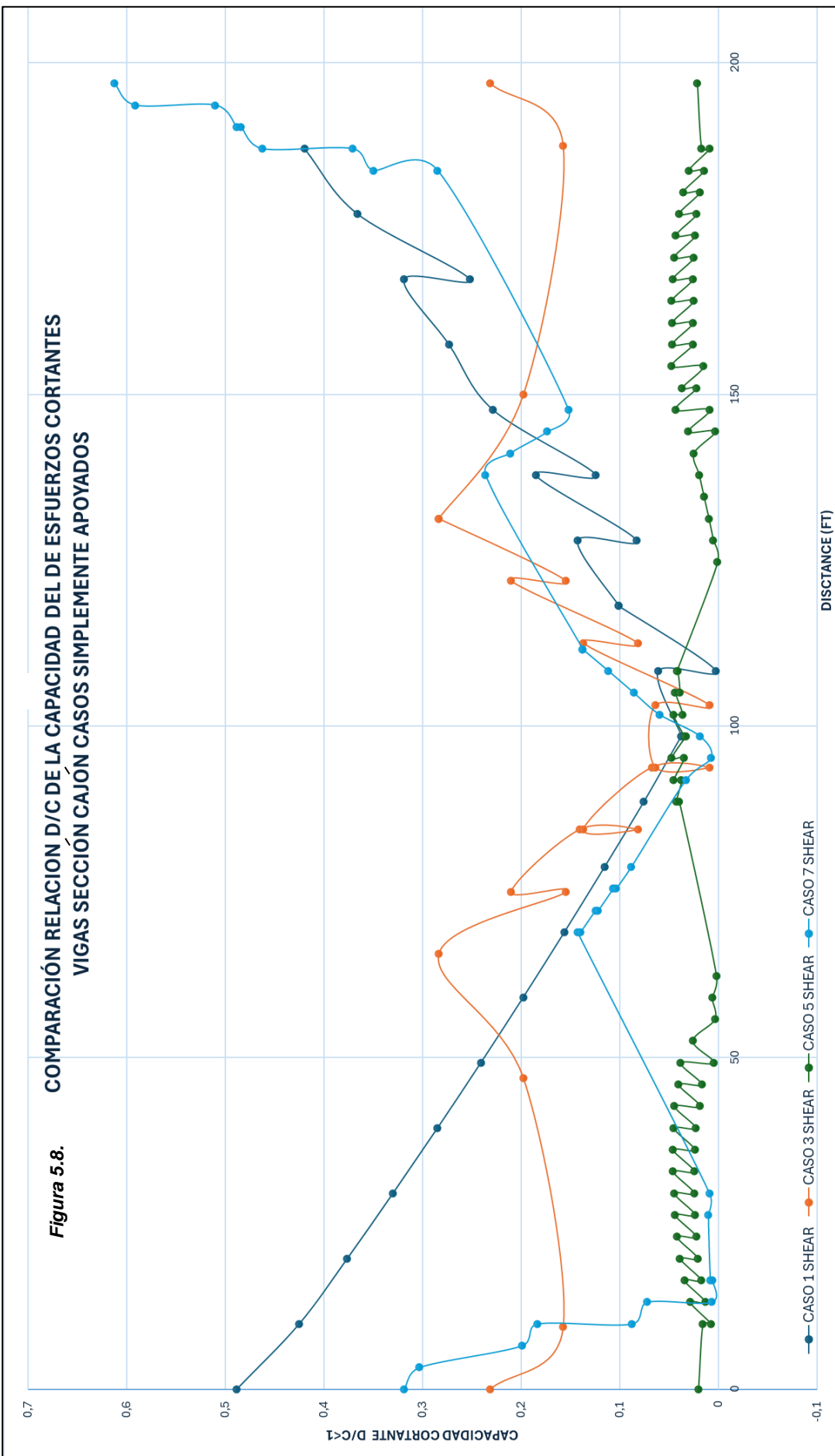
COMPARACIÓN DE ESFUERZOS DE DISEÑO STRESS-SERVICE I, SERVICE III, AASHTO-LRFD  
 VIGAS SECCIÓN CAJÓN, CASOS VIGAS CONTINUAS



DISTANCIA SUPERESTRUCTURA ( FT)

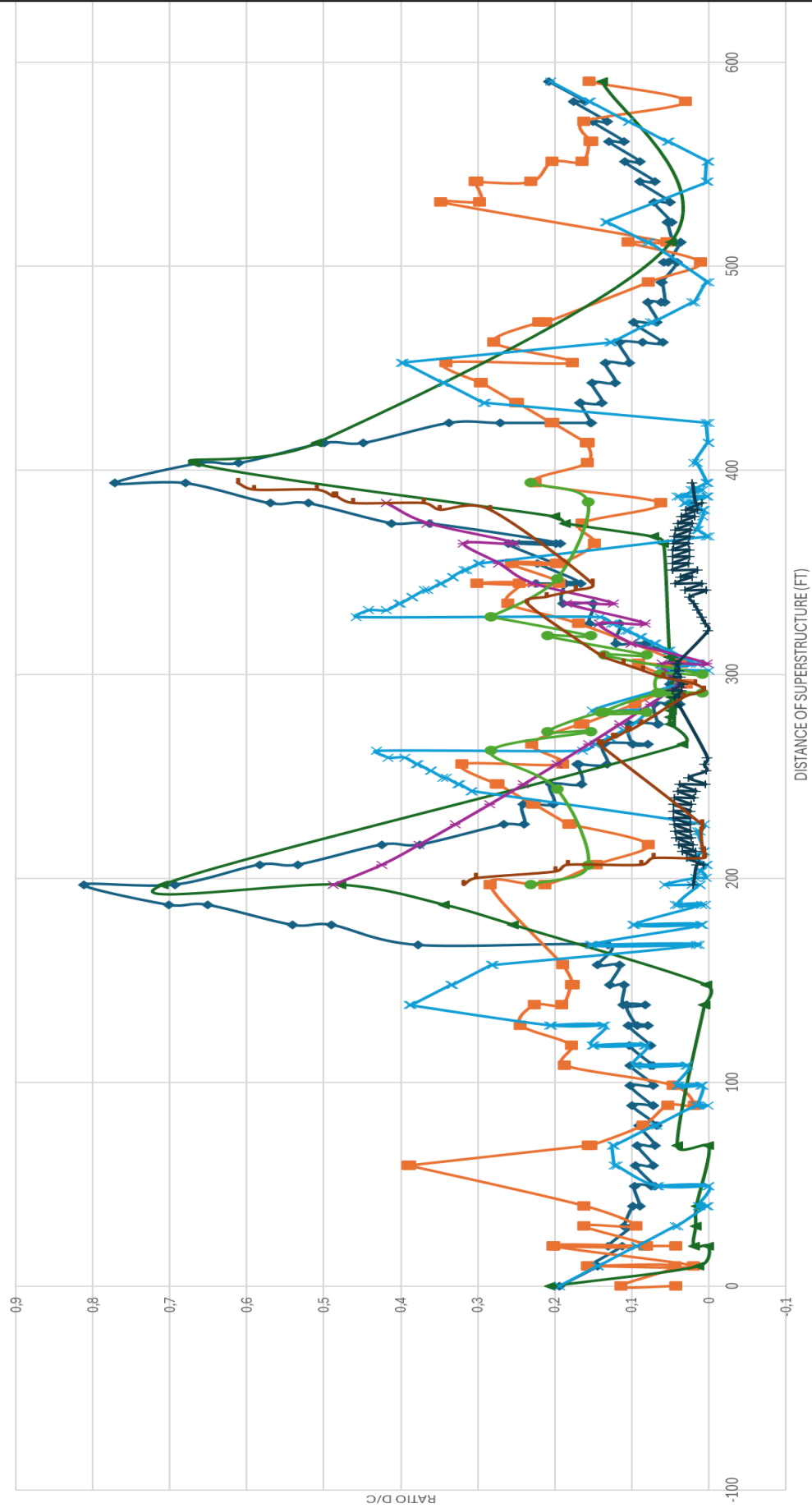


Sub-Figura 5.7.1



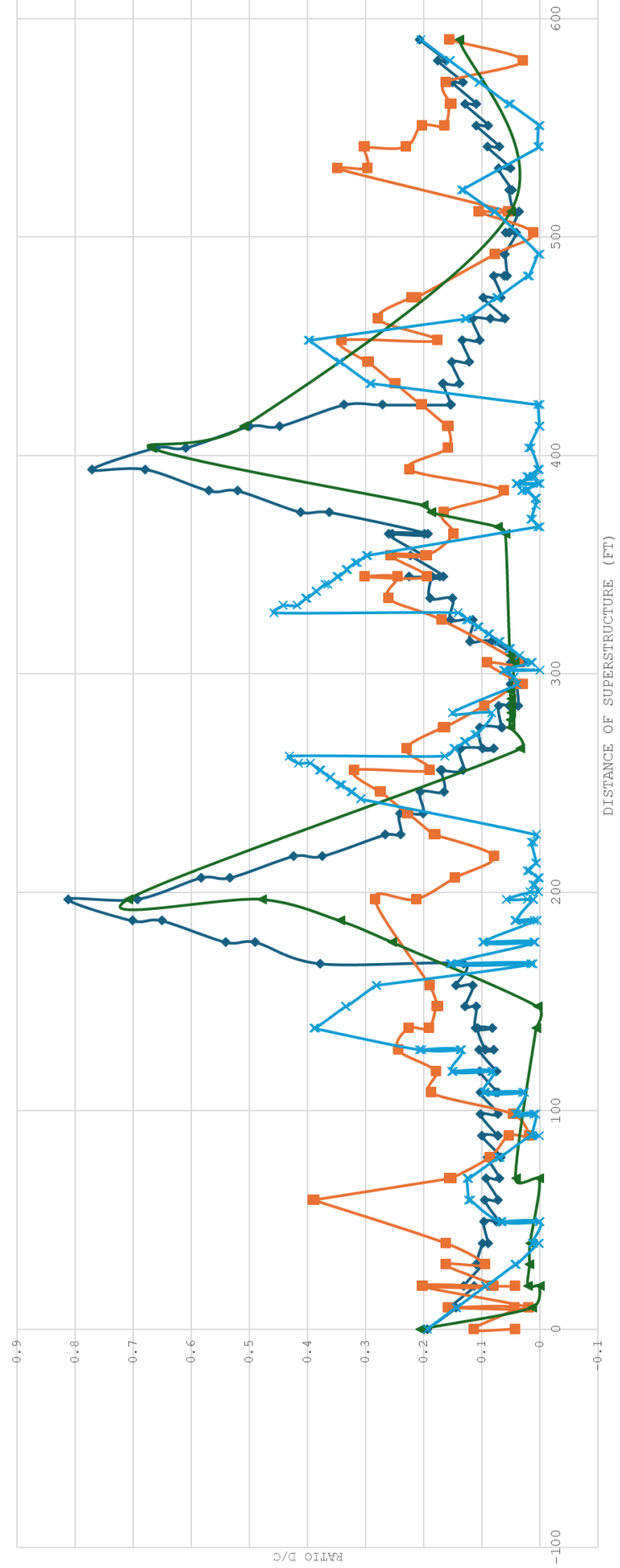
**Figura 5.9. COMPARACIÓN DE CORTANTES-SHEAR RATIO DESING AASHTO-LRFD DE TODOS LOS CASOS**

◆ CASO 2    ■ CASO 4    ▲ CASO 6    ◆ CASO 8    × CASO 1    ● CASO 3    ◆ CASO 5    ◆ CASO 7



COMPARACIÓN DE CORTANTES-SHEAR RATIO DESING AASHTO-LRFD CASOS VIGAS CONTINUAS

◆ CASO 2   
 ■ CASO 4   
 ▲ CASO 6   
 ✕ CASO 8



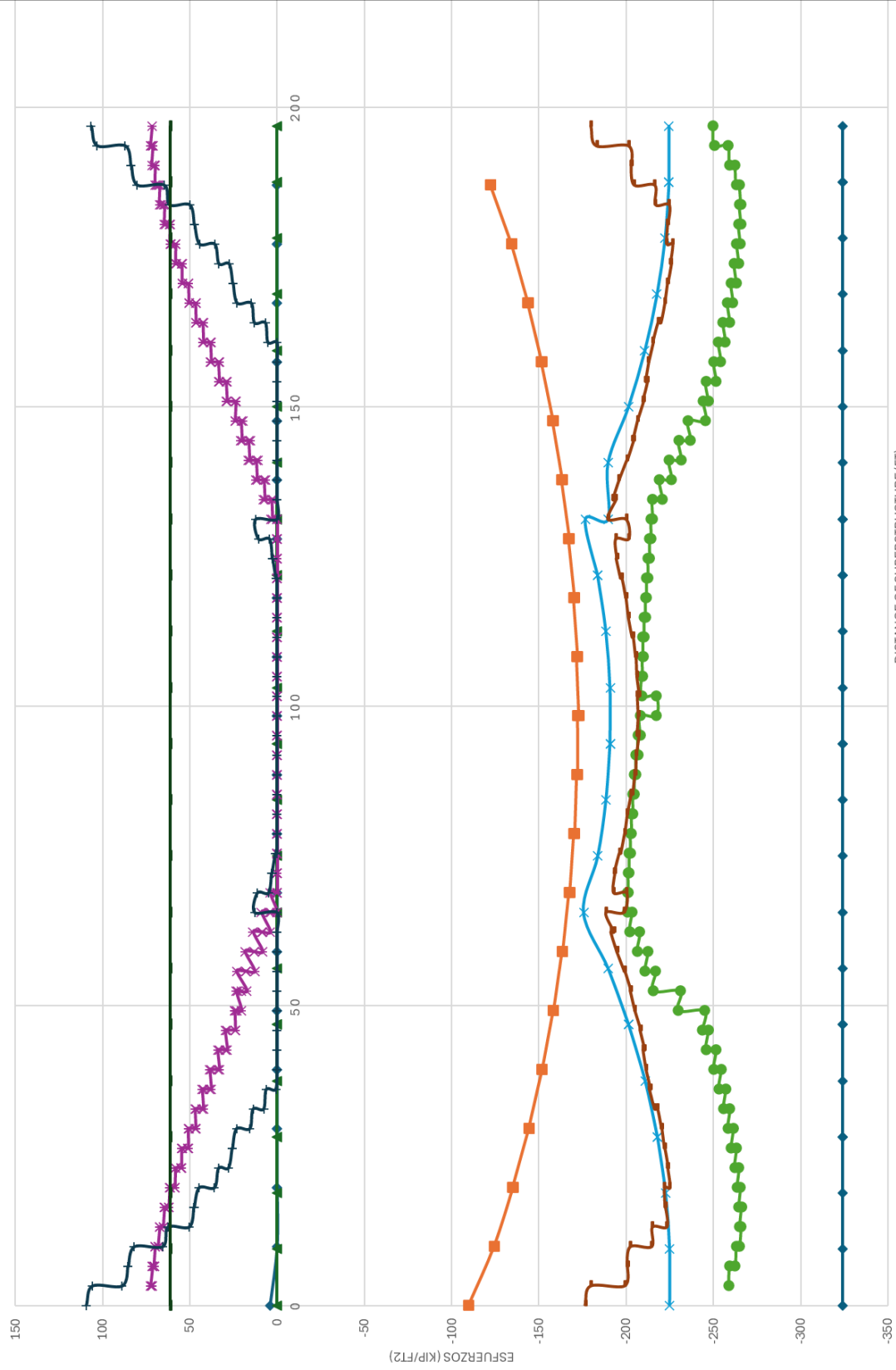
Sub-Figura 5.9.1

COMPARACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES BRIDGEDESIGN AASHTOLRFD- CBOXPRINCIPAL SERVICE III

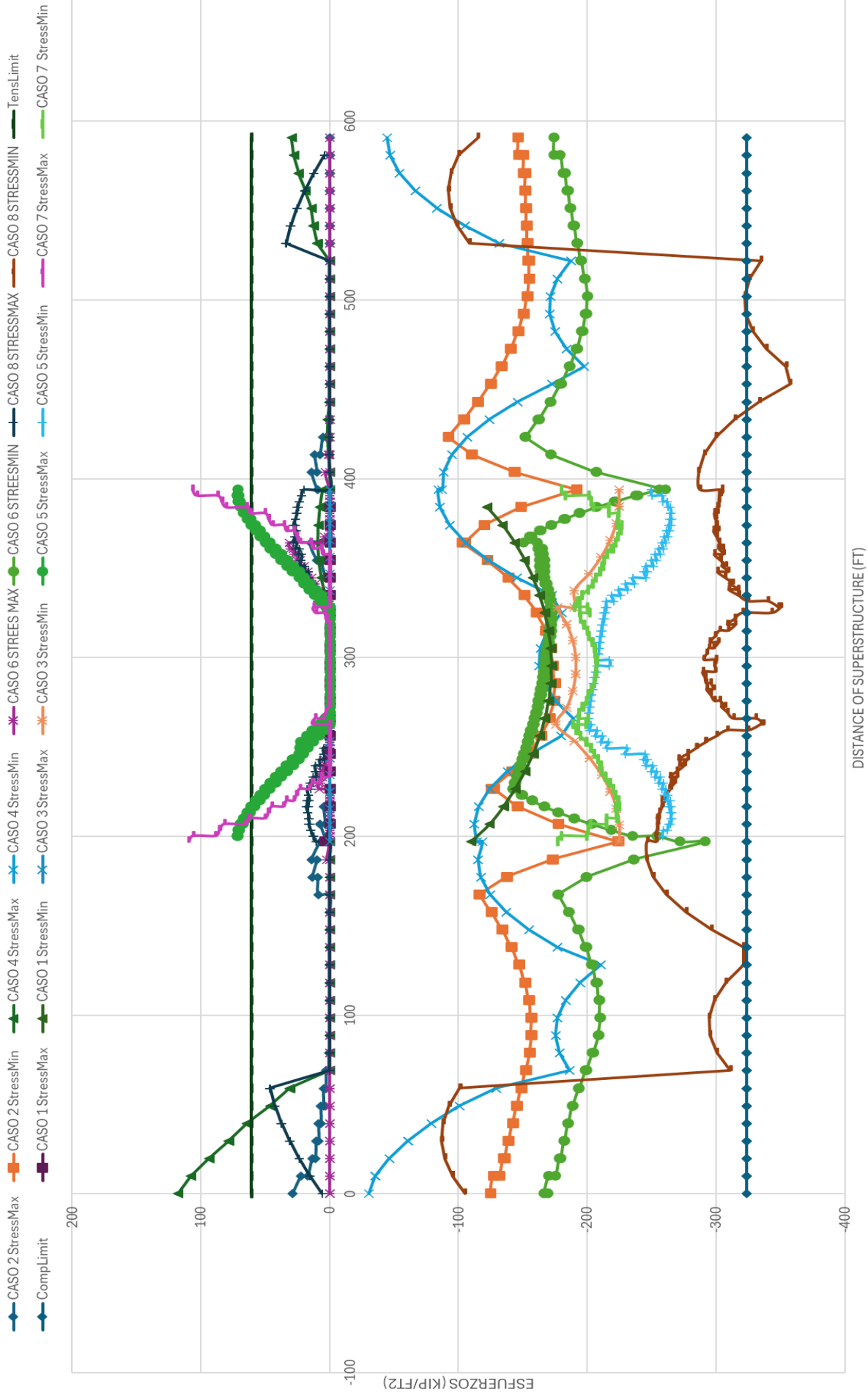
VIGAS SECCIÓN CAJÓN SIMPLEMENTE APOYADAS

Figura 5.10.

- CASO 1 P. STRESS MAX
- CASO 5 P. STRESS MIN
- CASO 7 P. STRESS MAX
- CASO 3 STRESS MIN
- LIM TRACCION
- CASO 1 P. STRESS MIN
- CASO 7 P. STRESS MIN
- LIM COMPRESION

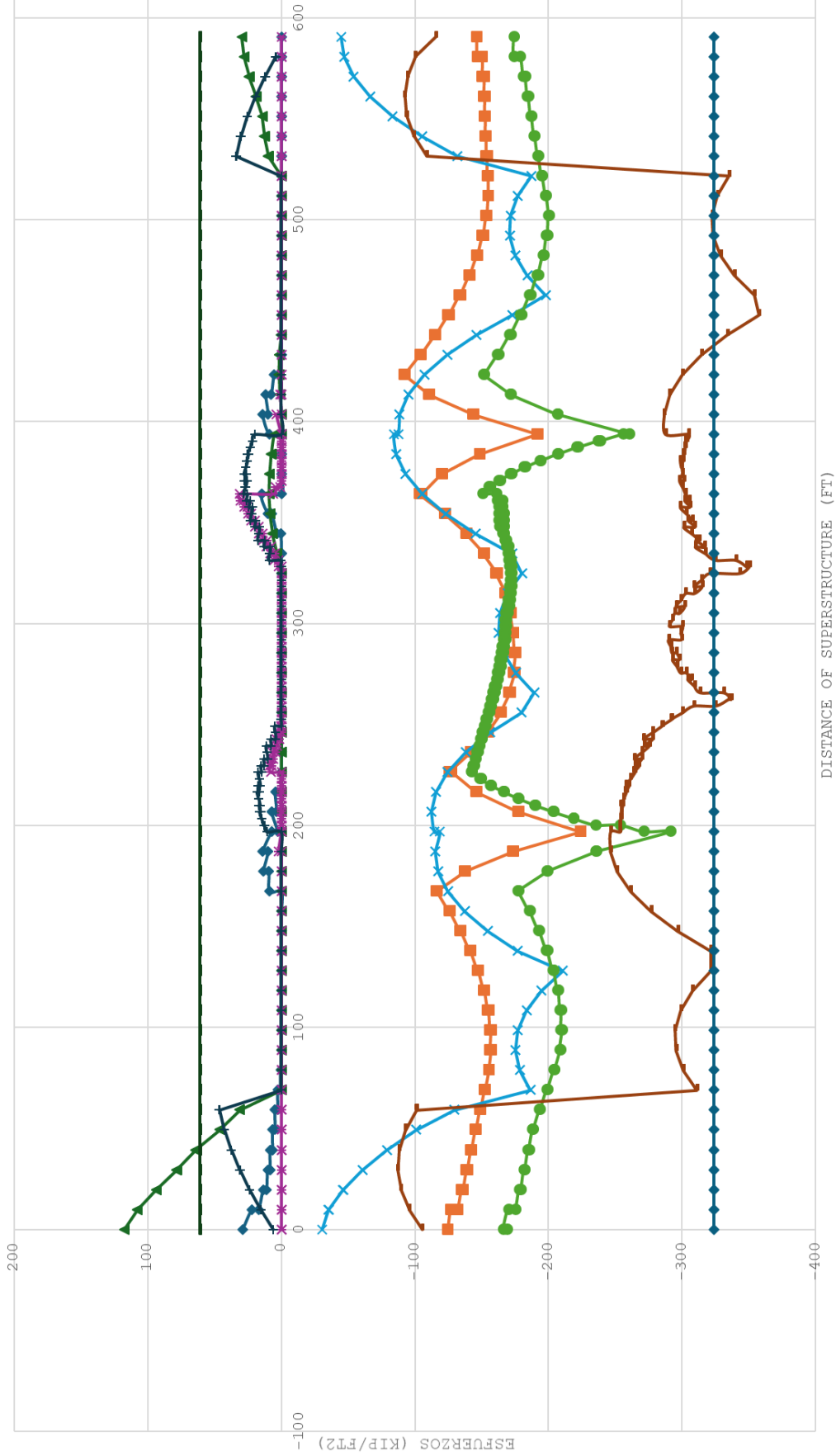


**Figura 5.11. COMPARACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES- SERVICIO III-AASHTO LRFD-TODOS LOS CASOS DE LAS VIGAS**



COMPARACIÓN DE ESFUERZOS PRINCIPALES- SERVICIO III-AASHTO LRFD-CASOS VIGAS CONTINUAS

CASO 2 StressMax (Blue diamonds)  
 CASO 2 StressMin (Orange squares)  
 CASO 2 StressMax (Green circles)  
 CASO 2 StressMin (Black crosses)  
 CASO 4 StressMax (Blue crosses)  
 CASO 4 StressMin (Black crosses)  
 CASO 4 StressMax (Green circles)  
 CASO 4 StressMin (Black crosses)  
 CASO 6 StressMax (Purple asterisks)  
 CASO 6 StressMin (Black crosses)  
 CASO 6 StressMax (Green circles)  
 CASO 6 StressMin (Black crosses)  
 TensLimit (Green line)  
 Complimit (Blue diamonds)



DISTANCE OF SUPERSTRUCTURE ( FT)

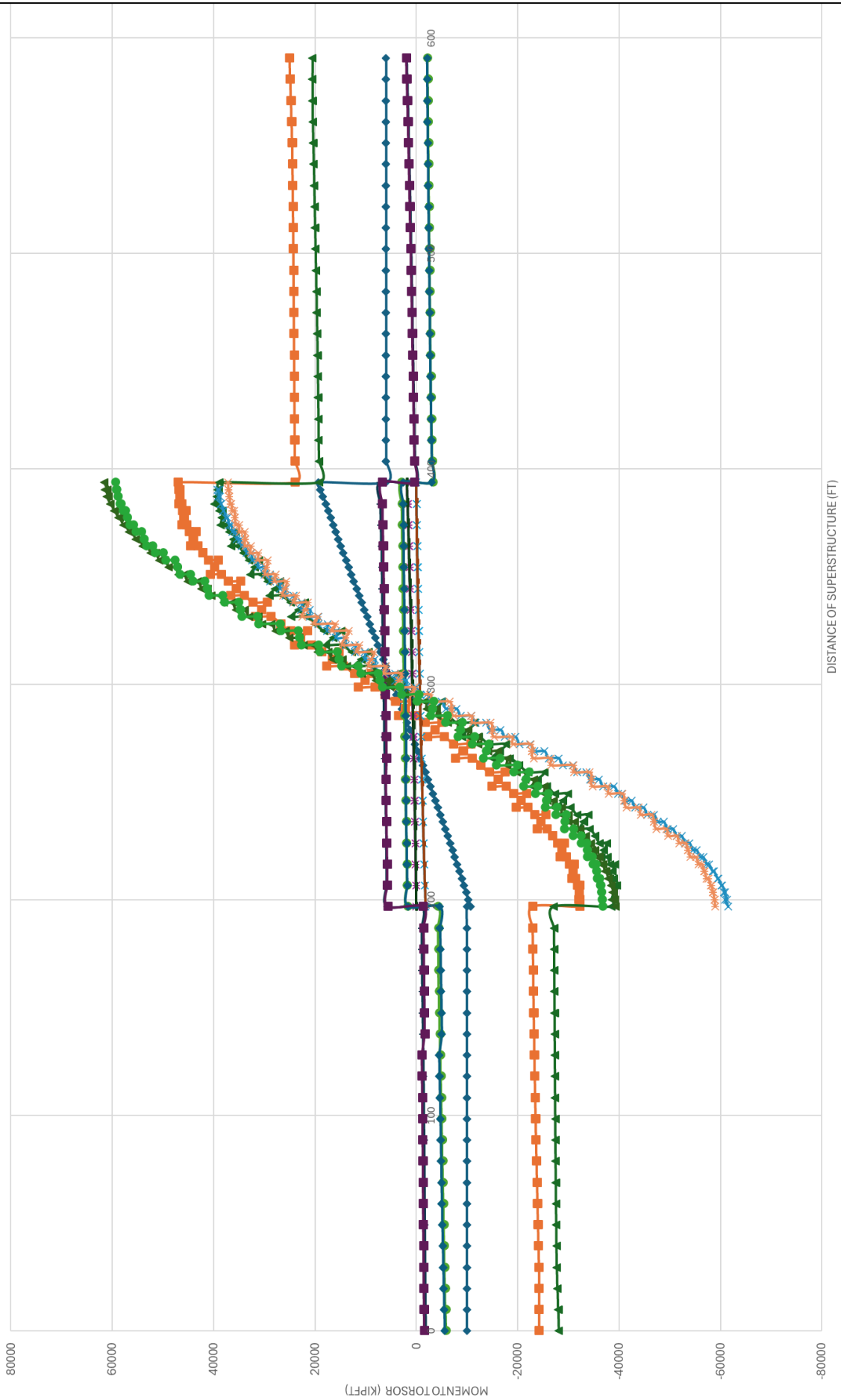
ESFUERZOS ( KIP/FT2)

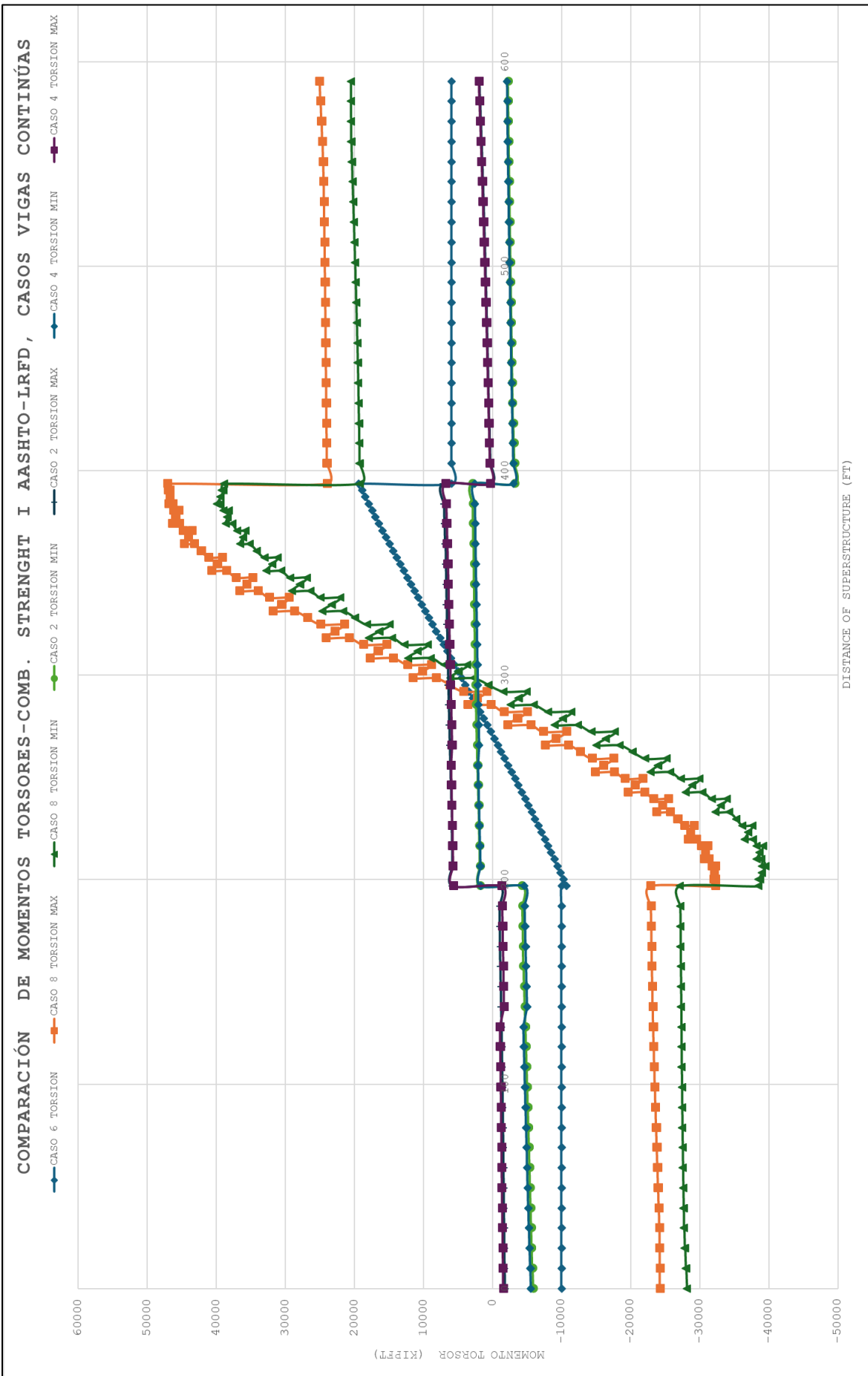
Sub-Figura 5.11.1

COMPARACIÓN DE MOMENTOS TORSORES-COMB. STRENGHT I AASHTO-LRFD, TODOS LOS CASOS

Figura 5.12.

- CASO 6 TORSION
- CASO 3 TORSION MAX
- CASO 8 TORSION MAX
- CASO 1 TORSION MIN
- CASO 5 TORSION MAX
- CASO 4 TORSION MAX
- CASO 2 TORSION MIN
- CASO 7 TORSION MIN
- CASO 1 TORSION MAX
- CASO 5 TORSION MIN
- CASO 8 TORSION MIN
- CASO 4 TORSION MIN
- CASO 2 TORSION MAX
- CASO 7 TORSION MAX





**Sub-Figura 5.12.1**

## 5.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE LAS CAPACIDADES ÚLTIMAS DE MODELOS ESTRUCTURALES PROPUESTOS.

A continuación, se presenta en detalle el análisis de los resultados comparativos y los fenómenos físicos que ilustran el comportamiento de vigas de sección cajón postensadas, se comparó la viga de sección cajón bajo tres variables principales, la curvatura en planta, adherencia de tendones, tipo de apoyo y continuidad de las vigas, bajo los mismos estados de carga y combinaciones de carga últimas y de servicio de acuerdo a Normativa vigente AASHTO-LRFD. La investigación presenta una comparación exhaustiva de ocho casos de estudio, lo que permite una comprensión profunda de cómo las condiciones mencionadas influyen en el comportamiento de las superestructuras y un estudio comparativo robusto que evalúa el rendimiento estructural de vigas de puentes postensados. El análisis se basa en la comparación de los resultados obtenidos de modelos de elementos finitos implementados en el software CSI-Bridge, a través comparación de figuras y sub-figuras desde la figura 5.1 a 5.12 de la sección 5.1., que muestran la variación de fuerzas, cortantes, momentos flectores, torsores, esfuerzos, deflexiones y capacidades como variables dependientes a lo largo de las longitudes de las superestructuras de los puentes.

**5.2.1. DEFORMACIONES.** - Las deflexiones o deformaciones máximas se registran en la dirección Z, la viga más rígida es la del Caso 3 (puente recto, simplemente apoyado, con tendones no adheridos). La mayor deflexión en z, es la del Caso 8 (viga continua curva, con tendones no adheridos), esto sugiere que la curvatura y las condiciones de continuidad de apoyo influyen considerablemente en la rigidez de la estructura, el Caso 8 muestra la mayor deformación  $\delta z = -0.23$  ft en estado límite de Servicio según AASHTO-LRFD, esto se debe a que la Influencia de la Curvatura en el análisis numérico de vigas con 60 grados, produce el momento torsor que causa deformaciones mayores en comparación de las rectas y no adherencia de los tendones hace que el sistema sea menos rígido localmente. Por el contrario, el Caso 3 (viga recta, simplemente apoyada con tendones no adheridos) el más rígido (-0.05 ft). Al no tener curvatura, se eliminan los efectos de torsión y al ser simplemente apoyada, sin curvatura, el sistema de apoyo sin momentos negativos e interactúa de forma compleja con el postensado, lo que resulta en una respuesta más rígida ante la combinación de cargas de servicio.

**5.2.2. MOMENTOS FLECTORES.** - Se analizan los momentos generados por carga muerta, carga viva y postensado, Carga muerta (DEAD), El momento flector positivo máximo ocurre en el Caso 5 (viga curva, simplemente apoyada, con tendones adheridos), se observa de las figuras 5.2., 5.3. que el máximo Flector longitudinal predominantemente en el estado de carga muerta y peso propio, se produjo en el vano el máximo momento positivo  $M_{DEAD} = 99936.89 \text{Kip-Ft}$  en el Caso 5. Asimismo, del análisis de resultados, se trata de una viga sección cajón curva, de 60 grados de curvatura, simplemente apoyada, con tendones adheridos. Por otra parte, el tramo de viga central del Caso 2 viga de sección cajón con tendones adheridos, es una viga continua recta, presenta el menor momento flector positivo en el vano central con un Momento flector  $M_{3DEAD} = 24397 \text{Kip-ft}$ . Observando la sobreposición de las curvas de la carga viva con vehículo recomendado por AASHTO-LRFD HL-93, el Caso 5 con viga de sección cajón curva, simplemente apoyada, con tendones adheridos con un Momento máximo Flector positivo en el vano  $M_{3LL+} = 8443.71 \text{Kip-Ft}$ , además el caso 6 con tendones adheridos presenta el mayor momento Flector negativo producido por la carga viva  $M_{3LL-} = -5808 \text{Kip-Ft}$  en el apoyo. En estado de carga Postensado, el postensado provoca momentos flectores opuestos a las cargas de servicio, el momento positivo máximo en el Caso 4 y el negativo máximo en el Caso 6. Asimismo, de la figura 5.4, se tiene que el efecto del postensado (Postension) provoca el máximo flector positivo en el apoyo del tramo central del Caso 4 (puente continuo, recto, con tendones no adheridos) de  $M_{3POSTENSION} = +103650.70 \text{Kip-Ft}$  y el máximo momento flector negativo en vano del Caso 6 (viga continua, curva, con tendones adheridos) de  $M_{3POSTENSION} = -130245.31 \text{Kip-Ft}$ .

**5.2.3. EL POSTENSADO.** - En el Marco teórico se describe cómo las fuerzas de postensado de los tendones contrarrestan los esfuerzos de tracción en la viga que generan las cargas externas, muerta y viva. Sin embargo, la efectividad de este proceso depende críticamente de la adherencia de los tendones, como se ve en los casos con tendones adheridos, como el Caso 6, muestran un desempeño superior al resto de los casos, ya que pueden controlar los esfuerzos de tracción en las zonas críticas con mayor precisión y eficacia, maximizando la capacidad resistente. En cambio, en el Caso de los Tendones No Adheridos tienen una incapacidad para controlar los esfuerzos de tracción en los puntos de máxima flexión, este es el motivo por el que los resultados muestran que los casos no adheridos (casos 4, 7 y 8)

sobrepasan los límites de tracción, haciendo el sistema menos fiable bajo las combinaciones de cargas según Normativa AASHTO-LRFD.

**5.2.4. ESFUERZOS CORTANTES.** - Se utiliza la relación D/C de capacidad de cortante (shear capacity ratio), todos los casos tienen una relación menor a 1.00, lo que los hace aceptables. Sin embargo, el Caso 5 (viga curva, simplemente apoyada, con tendones adheridos) es el más óptimo con una capacidad de 3.6%, mientras que el Caso 2 (viga continua, recta, con tendones adheridos) es el más desfavorable con 81.22% de su capacidad a esfuerzos cortantes.

**5.2.5. ESFUERZOS TRACCION Y COMPRESION (SERVICIO I y III).**- Se evalúan los esfuerzos de tracción y compresión, el Caso 6 demuestra un desempeño óptimo ya que sus esfuerzos se mantienen dentro de los límites de diseño de acuerdo a AASHTO-LRFD. Por el contrario, los casos con tendones no adheridos (Casos 4, 7 y 8) sobrepasan los límites permitidos de esfuerzos de tracción y compresión, lo que los hace desfavorables y por tanto los tendones no adheridos no contribuyen una respuesta estructural de resistir los esfuerzos locales de forma eficiente como los tendones adheridos, que excede la capacidad de esfuerzos de tracción y no cumplen con los criterios de diseño según AASHTO-LRFD, por esto los tendones adheridos son un sistema más robusto y fiable en este tipo de estructuras.

**5.2.6. ESFUERZOS PRINCIPALES.** - El análisis se basa en los esfuerzos principales de tracción y compresión fueron analizados utilizando el Círculo de Mohr y verificados con el software, los casos con tendones No Adheridos (Casos 4, 7 y 8) sobrepasan y no cumplen los límites de tracción y compresión según AASHTO-LRFD, siendo los más desfavorables. El Caso 2 (viga continua, recta, con tendones adheridos) cumple de manera más favorable con los límites de acuerdo a Normativa, se confirmó que los casos con tendones no adheridos superaban los límites de tracción, que es un hallazgo crítico que refuerza la superioridad estructural de los tendones adheridos.

**5.2.7. LA ADHERENCIA DE LOS TENDONES.** - Los Tendones Adheridos (Bonded Tendons), permiten una transferencia de fuerza de postensado más localizada y eficiente a lo largo de la viga, ayudando a controlar la fisuración y a mantener los esfuerzos de tracción dentro de los límites de la normativa AASHTO-LRFD. El Caso 6 (viga continua, curva, con tendones adheridos) es el de mejor rendimiento estructural, con un momento de diseño de flexión óptimo y esfuerzos que cumplen los límites de la normativa. Los Tendones No Adheridos (Unbonded tendons), a diferencia de los adheridos, transfieren la fuerza de postensado solo en los puntos de anclaje, permitiendo que el tendón se deslice dentro de su ducto, lo que lo hace menos eficaz para controlar los esfuerzos locales en las secciones críticas, esto explica que los casos con tendones no adheridos (Caso 4, 7 y 8) son los más desfavorables, que presentan un incumplimiento de los límites de diseño de la AASHTO-LRFD, especialmente en zonas de altos esfuerzos.

**5.2.8. COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y LOS MOMENTOS FLECTORES.** - Fenómeno observado, las vigas continuas con tendones adheridos (Caso 6) tiene el momento de diseño a flexión más óptimo y los casos con tendones no adheridos (Caso 4 y 7) son los más desfavorables. El momento de postensado tiene el propósito es contrarrestar las deformaciones de viga y los esfuerzos de tracción, en las vigas continuas, el postensado genera momentos que redistribuyen las fuerzas de manera más eficiente. La diferencia principal entre tendones adheridos y no adheridos radica en la compatibilidad de deformaciones con el hormigón de la viga sección cajón que tiene los tendones adheridos, esto permite una transferencia de fuerza de postensado más localizada y eficiente, que incrementa el rendimiento estructural de la sección de la viga, los tendones no adheridos, son menos eficientes para controlar los esfuerzos en una sección específica y limita la capacidad de la viga para redistribuir los esfuerzos localmente, por eso los casos con tendones no adheridos resultan menos favorables y exceden los límites de diseño.

**5.2.9. CAPACIDAD DE DISEÑO RESISTENCIA I (STRENGTH I) FLEXIÓN.** - El análisis se centra en la combinación de Diseño a Resistencia I (Strength I) a flexión, de la normativa AASHTO-LRFD. El Caso 6 (viga continua, curva, con tendones adheridos) muestra el mayor desempeño con el menor momento de diseño positivo (52,192.70 Kip-Ft). El Caso 7 (viga

curva, simplemente apoyada, con tendones no adheridos) es el más desfavorable (161,258 Kip-Ft), esto indica que las vigas continuas y con tendones adheridos ofrecen un mejor rendimiento estructural.

**5.2.10. TORSIÓN.** - La torsión es un factor significativo en puentes curvos, el Caso 5 (viga curva, simplemente apoyada, con tendones adheridos) registra el mayor momento torsor. Como se ve en la figura 5.12 en base la combinación de cargas STRENGTH I- AASHTO-LRFD el  $M_{\text{TORSOR CASO 5}} = 61638.62$  Kip-Ft de forma similar y aproximada el caso 7 se asemeja a los máximos momentos torsores y por el contrario se observa que el caso 6, es el que tiene menores valores de momento torsor con un máximo de  $M_{\text{TORSOR CASO 6}} = 18915.66$  Kip-Ft, El Caso 6 (viga continua, curva, con tendones adheridos) tiene los valores más bajos, indicando el mejor desempeño estructural frente a la torsión con una viga continua con la misma sección. Asimismo, En el Caso 5 donde la torsión es notablemente alta, esto debido a que en una viga simplemente apoyada el apoyo no ofrece restricción a la rotación de los extremos, lo que permite que el momento torsor se desarrolle por completo a lo largo del vano, resultando en valores máximos en la viga. La Torsión en Vigas Curvas Continuas en contraste, en el Caso 6 el momento torsor es menor y la presencia de un apoyo intermedio y la continuidad de la viga proporciona una rigidez torsional adicional y restringe la rotación de la sección, esto permite que el momento torsor se redistribuya entre los tramos y los apoyos, reduciendo los valores máximos en la viga y demostrando una vez más la superioridad de este sistema continuo.

### 5.3. RESUMEN FINAL, DISCUSIÓN Y EXPLICACIÓN DE ORIGEN FENÓMENOS FÍSICOS DE LOS RESULTADOS.

Para ilustrar y mejorando la presentación de análisis y discusión de resultados y la comprensión de los mismos, se incluye un **Mapa conceptual y organigrama** de sus resultados en la figura 5.13. Posteriormente, de la descripción de resultados y datos obtenidos se incluye explicación sobre el origen de los fenómenos observados y la interacción entre las variables que influyen a la capacidad última de la viga de sección cajón a continuación y provee la base teórica para las conclusiones presentadas y se profundiza elevando el análisis a una interpretación fenomenológica de forma exhaustiva abordando el análisis completo de los resultados mediante un resumen ordenado de los fenómenos más relevantes.

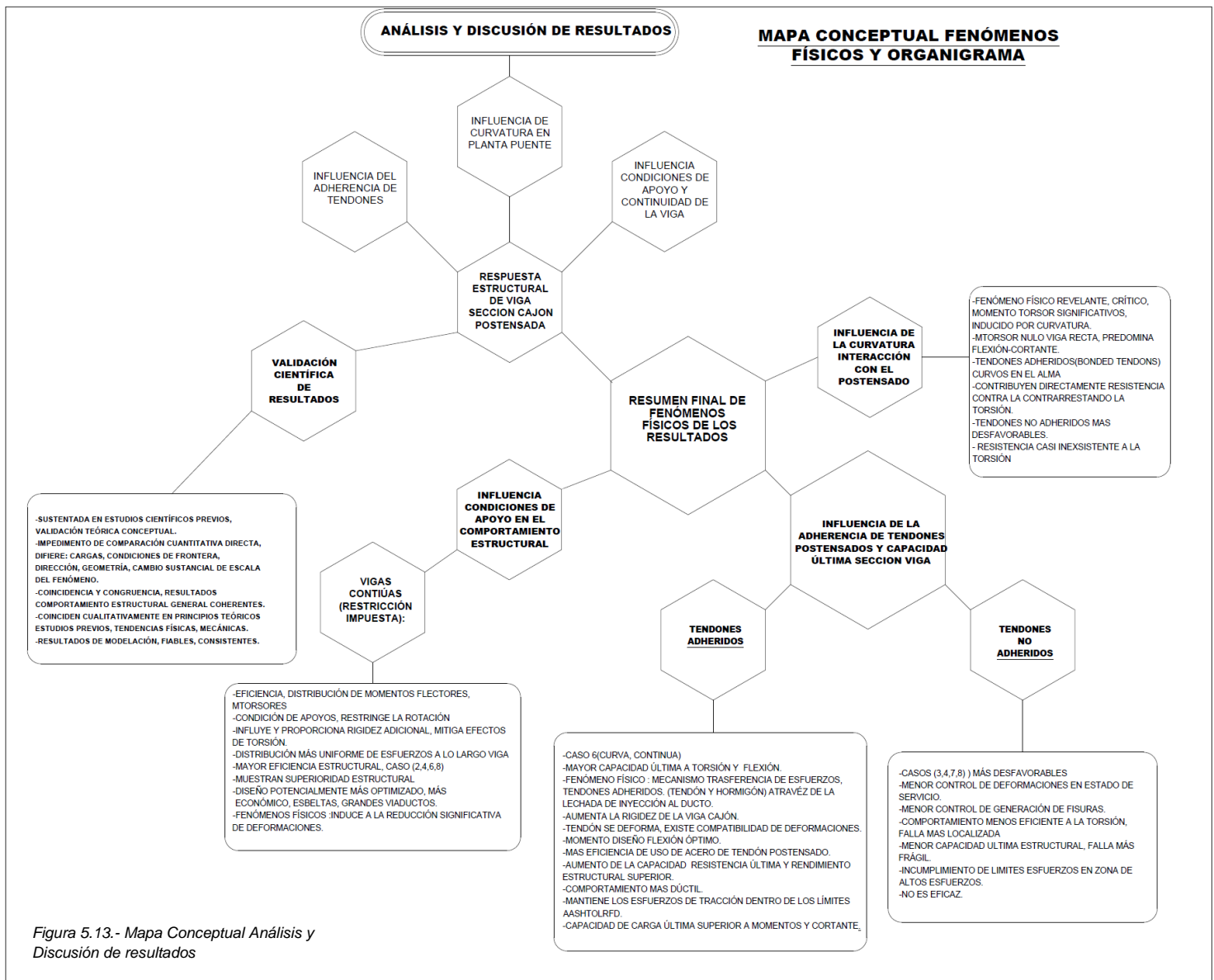


Figura 5.13.- Mapa Conceptual Análisis y Discusión de resultados

### **5.3.1. INFLUENCIA DE LA CURVATURA Y SU INTERACCIÓN CON EL POSTENSADO.-**

Un fenómeno físico relevante en el estudio es el Momento Torsor inducido por la curvatura en planta bajo cargas gravitacionales, a diferencia de las vigas rectas donde las cargas vivas y muertas solo generan flexión y cortante, la curvatura hace que la fuerza de gravedad se descomponga en componentes que causan un efecto de torsión a lo largo de la viga, se muestra que estos momentos son significativos en los casos curvos y nulos en los rectos. La viga debe resistir esta torsión para mantener su estabilidad, en los casos curvos con 60 grados de curvatura el postensado ayuda significativamente a contrarrestar la torsión, los tendones adheridos curvos dentro del alma de la viga trabajan y contribuyen directamente a la resistencia a la torsión, una característica casi inexistente en sistemas no adheridos. Al comparar los puentes curvos y rectos, se destaca un fenómeno crítico en la ingeniería estructural, la torsión, el software CSIBridge permite modelar este fenómeno con precisión, lo cual es fundamental para el diseño seguro de puentes curvos postensados.

### **5.3.2. INFLUENCIA DE LA ADHERENCIA DE TENDONES EN LA CAPACIDAD ÚLTIMA.**

La comparación entre tendones adheridos (bonded tendons) y no adheridos (unbonded tendons) es una de la más significativas de la investigación. Físicamente la adherencia es un mecanismo de transferencia de esfuerzos, la adherencia de los tendones al hormigón, a través de la lechada de inyección al ducto es crítica y define cómo se distribuyen los esfuerzos en la viga. Como resultado de la modelación en los Capítulo cuatro, muestran que los modelos con tendones adheridos tienen una mayor capacidad última a flexión y torsión en comparación con los no adheridos, especialmente en las vigas curvas. El Fenómeno Físico observado es que, con los tendones adheridos, el tendón y el hormigón actúan como un solo elemento compuesto y cuando la viga se deforma, el tendón también se deforma y existe una compatibilidad de deformaciones y los esfuerzos se transfieren directamente al hormigón, esto produce un aumento en la rigidez de la viga y controla mejor las deformaciones, por tanto, reduce las fisuraciones y permite que el acero del tendón postensado se utilice de manera más eficiente. La diferencia entre tendones adheridos y no adheridos es la activación de un mecanismo de resistencia de compatibilidad de deformaciones por la fricción entre tendones y hormigón, este mecanismo es particularmente efectivo contra la torsión, en contraste con Tendones No Adheridos donde la tensión en el tendón permanece constante entre los anclajes y desviadores, lo que puede resultar en una falla más frágil y una menor capacidad de carga última, su comportamiento es menos eficiente porque no hay una acción compuesta entre el

tendón y el hormigón a lo largo del tramo, aunque más flexibles en su instalación y reubicación, los resultados muestran tienen mayores deformaciones lo que llevan a una menor capacidad última estructural, son menos eficientes para resistir la torsión y tienen un menor control sobre las deformaciones en servicio y la generación de fisuras. Los resultados indican que el rendimiento estructural de los Tendones Adheridos una capacidad de carga última superior, especialmente una resistencia a los momentos y el cortante. La distinción entre tendones adheridos (Casos 1, 2, 5, 6) y no adheridos (Casos 3, 4, 7, 8) sus resultados confirman que los tendones adheridos tienen varias ventajas sobre las vigas como ser aumento de la capacidad de la resistencia última y un comportamiento más dúctil antes de la falla a diferencia de los Tendones No Adheridos que solo transfieren la fuerza de postensado en los anclajes de los extremos, esto provoca que el esfuerzo en el tendón no se puede redistribuir a lo largo de la viga, lo que puede llevar a una falla más localizada y una menor capacidad de carga última, desde una perspectiva en base a los estudios citados en el capítulo dos del marco teórico, los resultados están en correspondencia el uso de tendones adheridos es más ventajoso en términos de resistencia y rigidez, lo que concuerda y en correspondencia con estudios científicos previos.

### **5.3.3. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES DE APOYO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL.**

- La investigación evalúa el comportamiento de vigas simplemente apoyadas simples frente a las vigas continuas. De acuerdo a los resultados observados, se demuestran que las vigas continuas tienen una distribución de momentos flectores y torsores más eficiente y el Fenómeno Físico observado en los apoyos de las vigas continuas restringen la rotación de los extremos de la viga lo que permite que el sistema funcione de manera más eficiente, esto resulta en una menor deflexión en comparación con las vigas simplemente apoyadas y una distribución más uniforme de los esfuerzos a lo largo de la estructura. Haciendo una comparación entre las vigas continuas (Casos 2, 4, 6, 8) y las simplemente apoyadas (Casos 1, 3, 5, 7), los resultados de la investigación validan que los puentes de tramos continuos, como ser el del Caso 8 analizado exhibe una mayor eficiencia estructural frente a los simplemente apoyadas bajo cargas según AASHTO-LRFD, mostrando la superioridad estructural de las vigas continuas las cuales se comportan de manera más eficiente, lo que potencialmente puede llevar a un diseño más optimizado y económico en grandes viaductos. Los resultados comparativos establecen que la restricción impuesta por la continuidad de las vigas confiere una eficiencia superior frente a los sistemas simplemente apoyados. En

marcado contraste, la viga continua genera una restricción a la rotación sobre los apoyos intermedios, induce el desarrollo de momentos flectores negativos sobre dichos apoyos desencadenando una redistribución plástica de esfuerzos a lo largo del eje longitudinal. Esta redistribución disminuye drásticamente la magnitud del momento positivo máximo en el vano, resultando en una reducción significativa de las deflexiones y deformaciones. Consecuentemente, el sistema continuo presenta una mayor capacidad y una optimización geométrica y material que valida su selección como la solución estructuralmente más eficiente y económica para viaductos de múltiples claros. Este principio permite diseñar secciones más esbeltas y optimizar la sección, es la razón por la que los puentes de tramos continuos son una solución común y eficiente para grandes longitudes.

#### **5.4. VALIDACIÓN CIENTÍFICA DE RESULTADOS**

En el Capítulo 3, sección 3.2, se presenta la validación de resultados sustentada en estudios científicos previos sobre vigas curvas con tendones adheridos, desarrollados mediante el método de los elementos finitos, no obstante, los trabajos referenciados difieren significativamente en la escala estructural y en las condiciones de frontera y dirección de los esfuerzos transversales (Ali R. Khaloo y M. Kafimosavi, 2007) de la investigación, lo que impide establecer una comparación cuantitativa directa con los resultados de los casos propuestos con diferentes condiciones propuestas, de adherencia de tendones, curvatura, las restricciones de apoyo y la continuidad de las vigas. Mientras que los modelos desarrollados en la investigación alcanzan una longitud de 60 m, uno de los estudios previos Ayoub, A. (2011) más relevantes consideró vigas de apenas 3,30 m, entre otros, lo cual representa un cambio sustancial en la escala del fenómeno. Sin embargo, la coincidencia en el comportamiento estructural general, así como la congruencia en las tendencias de las gráficas de los resultados, las formas de distribución de momentos flectores, trayectorias de fuerzas internas, coinciden cualitativamente en sus tendencias físicas y mecánicas con los estudios previos y con los principios teóricos estudiados, evidencian una validación teórica y conceptual de los modelos numéricos propuestos, sustentada en la consistencia del comportamiento estructural y la correspondencia cualitativa con los principios físicos y mecánicos establecidos en la literaturas científicas previas, brindando validez conceptual y metodológica del modelo frente a estudios reconocidos, aun cuando las diferencias de escala y condiciones de dirección, cargas, geometría, entre otros, impiden la comparación cuantitativa directa de magnitudes absolutas, lo que hace inválido comparar valores numéricos exactos, de esfuerzos, fuerzas,

momentos o deformaciones de forma directa. No obstante, se observa una correspondencia cualitativa y coherencia en las tendencias del comportamiento estructural, esta concordancia permite sustentar una validación teórica y conceptual del modelo propuesto. En este sentido, demuestra la validez conceptual y metodológica de los resultados, consolidando su credibilidad científica y su adecuación para representar los fenómenos estructurales estudiados. Se tiene validación cualitativa o teórica, este tipo de validación no busca comparar valores numéricos exactos, como esfuerzos, deformaciones, fuerzas, momentos o desplazamientos medidos, sino que evalúa si el modelo reproduce correctamente los principios físicos, tendencias y comportamientos estructurales esperados según la teoría y la evidencia científica previa. En términos científicos, esta validación se ubica en la categoría de Validación de consistencia y conceptual teórica dentro del proceso de verificación y validación de modelos numéricos. Asimismo, la comparación de los ocho modelos entre sí, constituye una validación de consistencia, ya que permite verificar que las variaciones en las condiciones impuestas, generan patrones de comportamiento lógicos y físicamente coherentes expuestos en las conclusiones, reforzando la confiabilidad de los resultados de los modelos numéricos. La validación de consistencia con la validación conceptual en conjunto, proporcionan evidencia sólida de que los resultados de la modelación son fiables, consistentes y adecuados para representar el comportamiento estructural de vigas de sección cajón estudiados y sus resultados coherentes en base a las condiciones impuestas y capaces de representar correctamente el comportamiento de las vigas estudiadas.

## **5.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS CON BASE EN ESTUDIOS CIENTÍFICOS PREVIOS**

La investigación no solo presenta resultados, además valida y amplía el conocimiento científico existente sobre el comportamiento de las vigas de sección cajón postensadas entre los hallazgos y los estudios citados en el capítulo del marco teórico. Sobre el comportamiento de las vigas, el Análisis de la Curvatura y estudios previos basado en el trabajo de Khaloo A. (2007), quien estudió vigas curvas con diferentes grados de curvatura (entre 30 y 90 grados). Khaloo A. identificó que la curvatura introduce efectos de torsión que no se presentan en vigas rectas, utilizando una curvatura de 60 grados los resultados confirman y profundizan el hallazgo de Khaloo, mostrado en el momento torsor en los casos curvos (Caso 5 y Caso 8) demuestra de manera tangible el fenómeno que Khaloo describió, al mostrar cómo las condiciones continuidad en los apoyos y la adherencia de los tendones interactúan con el momento torsor. Por ejemplo, el Caso 6 (curvo, continuo, con tendones adheridos) presenta

un momento torsor menor que el Caso 5 (curvo, simplemente apoyado, con tendones adheridos), lo que valida la hipótesis de que la continuidad de la viga influye y proporciona una rigidez adicional que ayuda a mitigar los efectos de la torsión. El Rol de la Adherencia de los Tendones y Estudios previos, como Kang T. (2015) quien indica que las condiciones de adherencia de los tendones influyen significativamente en el rendimiento a flexión, cortante y torsión de los miembros de hormigón postensado, esta afirmación es la base de la hipótesis principal y el aporte de la investigación mediante los resultados proporcionan una confirmación complementando mediante prueba numérica contundente de los resultados a la investigación de Kang. Asimismo, como se indicó en la secciones 1.1 y 1.1.1, los resultados están en correspondencia a lo que señalan los artículos científicos recientes con hallazgos relevantes que respaldan y validan la mayor capacidad de carga y rigidez de las vigas postensadas con tendones adheridos. (Al-Rubaye, M. H. F. y Al-Tameemi, T. S. A., 2022). Al comparar directamente los ocho casos de estudio, se demuestra mediante los resultados que los sistemas con tendones adheridos tienen un rendimiento superior en su capacidad última, se observa que los casos con tendones adheridos, especialmente el Caso 6 (curvo, continuo y tendones adheridos) mantienen los esfuerzos de tracción y compresión dentro de los límites de la AASHTO-LRFD, mientras que los casos con tendones no adheridos (Casos 4, 7 y 8) fallan en cumplir con estos criterios con la misma geometría de la sección para efectos de comparación, esto evidencia es una demostración directa del principio de que los sistemas adheridos sean más robustos y mejor rendimiento. La Integración de Fenómenos Físicos y Metodología, con base a estudios previos la modelación numérica es un método ampliamente validado para el análisis de estructuras complejas. Utilizando CSIBridge basado en este método la investigación, se alinea con la metodología moderna utilizada en la ingeniería estructural, validada por numerosos estudios previos, sin limitarse a un estudio teórico, sino que utiliza una herramienta computacional para simular la compleja interacción de las variables y condiciones. Utilizando las combinaciones últimas de resistencia y de servicio de la normativa AASHTO-LRFD reflejan la realidad de los fenómenos físicos que concuerda con la teoría de la mecánica estructural.

## 5.6. CONCLUSIONES

El objetivo general de esta investigación fue determinar la influencia de la adherencia de los tendones, la restricción de los extremos y la curvatura horizontal en la capacidad última resistente de una viga de sección cajón de concreto postensada. Este propósito se validó exitosamente mediante modelos de análisis de elementos finitos, implementados en el software especializado CSIBridge. Los resultados de los modelos fueron sometidos a un análisis profundo de fenómenos físicos, comparación y discusión de resultados en las secciones 5.2 y 5.3. Esto proporcionó información concluyente sobre la influencia de las condiciones propuestas en las vigas de sección cajón postensado, se detallaron las siguientes conclusiones:

- La implementación de la Modelación Numérica de las diferentes casos de estudio de vigas con sus condiciones propuestas, mediante el método de los elementos finitos, utilizando el software CSIBridge, para capturar y estudiar los fenómenos complejos físicos estructurales, permitió modelar y observar directamente cómo la combinación de la curvatura, las condiciones de apoyo y la adherencia de los tendones influyen y se manifiestan en los resultados que son evidencia directa de los principios de la mecánica estructural y las implicaciones de las condiciones impuestas.
- Para la Validación de la Modelación y los Resultados, la presente investigación logra establecer una validación conceptual y metodológica consistente para los modelos numéricos, fundamenta en la concordancia cualitativa en las tendencias gráficas, la lógica de la distribución de fuerzas internas y la congruencia inherente con los principios teóricos de la mecánica estructural. Si bien la comparación cuantitativa de magnitudes resultó inviable por las notables disparidades de las condiciones de contorno respecto a los referentes bibliográficos previos, la coherencia y concordancia cualitativa estructural manifestada entre los modelos propuestos y la literatura confiere a los resultados una validación y credibilidad científica para la representación fidedigna de los fenómenos estudiados en las vigas cajón de puentes.
- Considerando que todos los casos de estudio, tienen la misma sección transversal de cajón final iterada, además los casos de carga y las longitudes de tramos de viga de 60 m, los materiales y sus características son una constante, del análisis de resultados, se identifica que el Caso 3, tiene la menor deformación  $\delta z=0.05$  ft en Servicio I según ASSHTO-LRFD, para

los mismos patrones constantes mencionados precedentemente. Por tanto, el Caso 3 que tiene una superestructura de un puente vehicular recto, simplemente apoyado, con tendones no adheridos es la más rígida estructuralmente. Al no tener curvatura no tiene torsión, el sistema de apoyo simplemente apoyado sin momentos negativos, gracias a la interacción del postensado con el sistema de apoyo, resulta en una respuesta más rígida ante la combinación de cargas.

- Respecto de los Momentos Flectores, del análisis de resultados, se observa que el tramo de viga central del Caso 2 viga de sección cajón, con tendones adheridos, es una viga continua, recta, presenta el menor momento flector positivo en el vano central con un Momento flector  $M_{3DEAD}=24397$  Kip-ft. Considerando que todas las secciones finales iteradas son las mismas, además los casos de carga, las longitudes de tramos de viga de 60 m, los materiales y sus características son una constante, se observa además que el Caso 6 (de tramo central curva de 60 grados de curvatura, continua, tendones adheridos) tanto en el estado de carga de carga viva presenta el mayor momento Flector negativo  $M_{3LL+I}=-5808$  Kip-Ft en el apoyo, además del máximo momento flector negativo de  $M_{3POSTENSION}=-130245.31$  Kip-Ft. Por tanto, desde este punto de vista las vigas de sección cajón postensado, con tendones adheridos y de vigas continuas, son superiores al resto en su desempeño a Flexión.
- Respecto de la Capacidad Última de la viga de sección cajón estudiada a la Flexión, de acuerdo al análisis de resultados, en la figura 5.5. de comparación de Diseño de Resistencia a la Flexión Factorada, en Base a combinaciones AASHTO-LRFD, el más óptimo y con menor Momento positivo de diseño a Resistencia a Flexión es el Caso 6 con  $M_{CASO6}=+52192.70$  Kip-Ft. Por tanto, el caso 6, con tendones adheridos parabólicos en las almas de la viga de sección cajón, con restricciones de viga de continua, en el tramo central viga curva de 60 grados, tiene el mayor desempeño en su capacidad última a flexión, presenta por comparación directa el mejor rendimiento estructural en este contexto. Asimismo, en contraste, el más desfavorable desde el punto de vista de esfuerzos flexionantes es el Caso 7 con un valor de  $M_{CASO7}=+161258$  Kip-Ft, que es una viga de sección cajón postensado, con tendones no adheridos, curva y simplemente apoyada.
- La Capacidad Última de Esfuerzos de la viga de sección cajón, está definida por sus Esfuerzos de Tracción y Compresión, dentro de los esfuerzos máximos permitidos por AASHTO-LRFD, Del Análisis de resultados, nótese de las figura 5.7, los esfuerzos tanto de tracción y compresión de todos los casos de vigas, los esfuerzos vs. la longitud de la viga sección cajón,

Se afirma que, el Caso 6, que es una viga curva, con tendones adheridos y viga continua, tiene los esfuerzos más óptimos y mejor desempeño estructural y está dentro de los máximos límites permitidos, en tracción con un esfuerzo límite de 61.18 Kip/ft<sup>2</sup> y un esfuerzo límite de compresión de -324 Kip/ft<sup>2</sup>. Por el contrario, las más desfavorables en su desempeño estructural en su capacidad de esfuerzos sobrepasando el límite de tracción en SERVICIO III AASHTO-LRFD, es el Caso 4, con tendones no adheridos y el Caso 8, viga sección cajón postensado, con tramo central curva y tendones no adheridos sobrepasando el límite de tracción y compresión respectivamente. Por tanto, se evidencia una menor durabilidad y una propensión a la fisuración excesiva a largo plazo con los tendones no adheridos, lo que define al sistema de tendones adheridos como el de mejor desempeño en servicio al garantizar la integridad y la vida útil esperada de la estructura, independientemente de la curvatura.

- Respecto de La Capacidad última de esfuerzo cortante, del análisis de resultados, con respecto a la capacidad última de cortante, se observa en las figuras 5.8 y 5.9. que dentro del contexto de relación de capacidad de cortante D/C todos casos presentan valores menores a 1.00. Por tanto, se encuentran en condiciones aceptables. Sin embargo, se observa que el Caso 5, tiene menor relación de capacidad última de esfuerzo cortante. Por tanto, los tendones adheridos, simplemente apoyada y curvatura de 60 grados es la más óptima con una capacidad (Shear Capacity) = 3.6% de cortante y mejor desempeño estructural dentro del contexto del esfuerzo cortante. Por el contrario, el más desfavorable en su desempeño estructural en su capacidad de cortante es el Caso 2, con tendones adheridos, viga continua, recta con una capacidad (Shear Capacity) = 81.22% de su capacidad de cortante en base a la combinación STRENGTH I- AASHTO-LRFD.
- La influencia de las restricciones de la viga, la continuidad de la viga y la incorporación de una curvatura horizontal de 60 grados intensifica la demanda torsional y cortante, confirmando que la torsión se convierte en el esfuerzo de diseño dominante en estas geometrías complejas Figuras 5.3, 5.4 y 5.11. Por tanto, la configuración de viga continua ofrece la mejor capacidad de restricción y redistribución de esfuerzos, atenuando y redistribuyendo los momentos torsionales y transversales. Los casos que combinan continuidad y tendones adheridos demuestran ser la solución óptima y mejor respuesta en este contexto.
- Respecto de La Capacidad última de Esfuerzos Principales en base al Círculo de Mohr normado por AASHTO-LRFD, en base al análisis de resultados, se observa que dentro de este contexto que los Casos 4, 7 y 8, tienen en común que son todos con tendones no adheridos

sobrepasan los límites de tracción y compresión máximos permitidos límites en tracción 61.18 Kip/ft<sup>2</sup> y -324 Kip/ft<sup>2</sup> como límite de compresión. Por tanto, el caso más desfavorable estructuralmente respecto de los esfuerzos principales son los tendones no adheridos, produciendo esfuerzos principales no adecuados y desenmarcados de los límites aceptables permitidos por AASHTO-LRFD y por el contrario se observa en la figura 5.10 el Caso 2, que tiene menores esfuerzos principales y cumpliendo de manera más favorable al tratarse de una viga de sección cajón, continua, recta, con tendones adheridos.

- Respecto de la Capacidad última de torsión, del análisis de resultados, si el puente es recto no es necesario investigar la torsión para estos casos. Sin embargo, queda evidenciada en la figura 5.12 que existen Momentos torsores en los casos de puentes rectos, que en comparación de los Momentos Torsores de las vigas curvas son despreciables respecto de los momentos torsores curvos que son importantes, el puente fue cargado de forma longitudinal sin considerar la carga viva de torsión ya que la torsión esta implícitamente incluida en el resto de las cargas debidas a la curvatura del puente. Se observa que el caso 6 de viga curva, continua y tendones adheridos, es el que tiene menores valores de momento torsor con un máximo de  $M_{\text{TORSOR CASO 6}} = 18915.66$  Kip-Ft. Por lo tanto, la viga curva, continua, con tendones adheridos, es el que tiene mejor desempeño estructural en el contexto de esfuerzos debidas a la torsión.
- Sistemas de Postensado más Eficiente para el diseño de Puentes Curvos, es el de tendones adheridos es estructuralmente superior a los tendones no adheridos y vigas continuas. La adherencia proporciona una resistencia intrínseca a la torsión, un fenómeno que domina el comportamiento en este tipo de estructuras curvas. Por tanto, para vigas horizontalmente curvas, el uso de tendones adheridos en el alma de la sección cajón, justifica la mejora en el rendimiento estructural, la seguridad, economía y la durabilidad del puente.
- El análisis exhaustivo ha permitido establecer con claridad que la adherencia de los tendones, su configuración horizontalmente curva sumado a las restricciones de apoyo y continuidad de la viga ejercen Influyen de forma considerable y cuantificable sobre la capacidad última de las vigas de sección cajón. Tras la comparación rigurosa de los sistemas estructurales estudiados, el sistema con tendones parabólicos adheridos, vigas continuo y horizontalmente curva de 60 grados, demostró consistentemente ser la configuración más robusta y eficiente, este rendimiento superior se manifiesta en una mayor capacidad última, un mejor manejo de esfuerzos y deformaciones y un desempeño estructural final que gobierna sobre los demás

casos estudiados de hormigón postensado, en conformidad con la normativa AASHTO-LRFD, Por tanto, estas condiciones de tendones adheridos, vigas curva, continua es como la más ventajosa desde la perspectiva de la seguridad y la eficiencia estructural.

- El estudio no se profundizó en el diseño estructural en sí mismo, sino se concentró en el análisis riguroso del desempeño estructural, utilizando modelos de elementos finitos y el software CSIBridge, con el fin de identificar la configuración resistente más eficiente. La investigación evaluó la variación en las capacidades de esfuerzos, fuerzas y deflexiones. Se estableció que las condiciones de adherencia de tendones, curvatura y restricciones de apoyo ejercen una influencia fundamental en el comportamiento de las vigas cajón. Finalmente, el análisis profundo permitió la determinación precisa y la validación del sistema con el rendimiento estructural óptimo en el diseño de este tipo de puentes vehiculares.
- A la luz del análisis de resultados, se puede afirmar la Superioridad del Sistema de tendones Adheridos para puentes de sección cajón, continuos, la capacidad intrínseca de este sistema para resistir los momentos torsores, solución ideal para puentes con curvatura. Por tanto, influyen de manera considerable en la capacidad última de las vigas, demostró ser el más resistente, eficiente y con mayor capacidad en la mayoría de las áreas analizadas fue el de las vigas de sección cajón postensado, exhibe un mejor rendimiento estructural en comparación con las vigas con tendones no adheridos. A partir de la evidencia, exhibe una capacidad portante última superior y una utilización más eficiente, esta superioridad se atribuye a una mejor distribución de tensiones, debida a la a la fricción entre los tendones y el hormigón y compatibilidad de deformaciones entre el tendón y el alma de la viga sección cajón, confiriendo al sistema de tendones adheridos un nivel de seguridad consistentemente mayor bajo las combinaciones de carga última
- La investigación cumplió cabalmente con su propósito, satisfaciendo integralmente los objetivos específicos planteados, al establecer una base comparativa unificada y rigurosamente elaborada, Se determinó, que el uso de tendones adheridos resultó la de mayor capacidad última estructural, los resultados demostraron la superioridad y fiabilidad de este sistema, ya que mantuvieron los esfuerzos dentro de los límites AASHTO-LRFD por tanto colabora con la durabilidad. Por el contrario, los modelos con tendones no adheridos manifestaron el rendimiento más desfavorable y menos fiable.
- Impacto en la Práctica y Normativa de Diseño, los hallazgos de la investigación, tienen implicaciones directas para la práctica de ingeniería en Bolivia, para futuras adaptaciones de

las Normas de diseño de puentes en Bolivia, pueden servir como base para directrices de diseño más específicas en el país, donde la construcción de puentes curvos es una necesidad común. Al demostrar de manera cuantitativa los beneficios de los tendones adheridos y de las vigas continuas, el estudio proporciona una base de conocimiento para la revisión de normativas locales y para la educación de futuros ingenieros en el diseño de estructuras de puentes de sección cajón postensado más seguras y eficientes.

- Al final de este trabajo, El análisis realizado es un aporte al diseño y análisis estructural para el desarrollo, diseño y construcción de puentes de sección cajón de hormigón postensado, se confirma las hipótesis sobre la influencia de la adherencia de tendones, curvatura en planta y restricciones de la vigas en su desempeño estructural y al mismo tiempo proporciona datos que sirven de respaldo para futuras decisiones de diseño, posicionando el trabajo de investigación como un importante aporte al conocimiento en el campo de la ingeniería de puentes, se provee patrones y se presentan conclusiones útiles para el análisis y especificación de puentes, la investigación proporciona una base sólida para la toma de decisiones en el diseño de puentes de sección cajón en Bolivia, donde la documentación sobre estos sistemas es limitada.

## 5.7. RECOMENDACIONES

A continuación, se presentan algunas Recomendaciones citados en términos de aplicación para futuras exploraciones científicas en el área de puentes de hormigón postensados vehiculares, se tiene lo siguiente:

- Considerar el material del puente de sección cajón de mayor resistencia hormigón de 40 MPas o superior también necesitaría para investigar los del módulo de elasticidad de las resistencias y deformaciones del hormigón en la capacidad ultima de la viga en función de las condiciones de adherencia de tendones de postensado y condiciones de borde de apoyos y curvatura ya propuestas.
- Estudiar el Agrietamiento y la fisuración inducida debida a las condiciones sometidas a los diferentes modelos con tendones adheridos y no adheridos en el postensado de la viga de sección cajón, curvatura y condiciones de borde de los apoyos y su estudio complejo en base a la investigación presente ya que no se tomó en cuenta el presente estudio, se sugiere realizarlo mediante un modelo en sólidos y no Shell como los utilizados en CSIBridge, un modelo y construido a partir de elementos sólidos entonces asistido por software especializados en puentes alternativamente MIDAS, SAP2000 sólidos, ALLPLAN Bridge, para ampliar el conocimiento mediante la modelación estructural y evaluar su comportamiento.
- Tomar en cuenta el análisis transversal y cálculo de los momentos transversales y que no se tomó en cuenta debido al análisis longitudinal fue predominante para el objeto del estudio, ya que análisis transversal que toma en cuenta el postensado de la losa superior de forma transversal e incluir estos parámetros y su influjo en la viga de sección cajón bajo las distintas condiciones ya estudiadas.
- Investigar e introducir con respecto de las vigas curvas, el análisis de tendones adheridos y no adheridos con curvaturas mayores a 60 grados. Para definir límites de la aplicación de los criterios obtenidos de la investigación, sería importante un estudio en profundidad sobre este tema.
- Estudiar e investigar el análisis para puentes sección cajón multiceldas y de mayores números de carriles y que numero de celdas es más óptimo y económico, su comparación de resultados bajo diferentes condiciones ya propuestas en el presente estudio sobre la adherencia de los tendones, forma de los tendones en lugar de parabólicos se sugiere utilizar tendones curvos semicirculares, condiciones de borde de apoyos.

- Finalmente, debido a los escasos de estudios sobre este tema en nuestro país y nuestro medio sobre la evaluación y comparación del comportamiento estructural respecto de la adherencia de tendones postensados, con las condiciones propuestas en los diferentes casos que condujo a la evaluación de los diferentes sistemas y casos propuestos.
- Se recomienda ampliar los estudios sobre las condiciones propuestas precedentemente, para vigas postensadas de diferente geometría, como ser las vigas I postensadas, por ser muy utilizada en nuestro país, para investigar su comportamiento incluyendo el pandeo local del mismo, ya que a pesar de los estudios que ya se han hecho en la actualidad se necesita profundizar en el entendimiento de los mecanismos estructurales de estos miembros y la necesidad de grandes mejoras en los aspectos estructurales de las vigas de hormigón postensado.
- Los criterios vertidos en el presente estudio presentan respaldo y líneas de confianza para poder seleccionar de manera práctica y eficiente por parte de los especialistas en el área de puentes de sección cajón de hormigón postensado a la hora de decidir ya sea por el desempeño estructural y optimización económica en el diseño y construcción de puentes vehiculares de esta tipología y que ofrecen estas situaciones especiales, condiciones estudiadas y debido a la documentación limitada de este tipo de sistemas estructurales ya que el uso de estos tipos de puentes, tendones adheridos y no adheridos es amplio y se recomienda tomar en cuenta para futuras Normas de diseño de vigas de puentes postensados en Bolivia y ampliar el conocimiento científico de nuestra sociedad.