

Estudio patológico para intervención: Báscula Camionera – Parque Industrial Popayán

Presentado por:

Ing. Rubén Hernán Cortes Cortes

Asesor:

Ing. Osmar Albert Gamba Gómez

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Civil
Especialización en Patología de la Construcción
2025

Tabla de contenido

Resumen.....	3
Abstract	3
Historia Clínica	4
Metodología	5
Análisis de Datos	7
Diagnóstico	9
Propuesta de Intervención.....	10
Análisis de Vulnerabilidad Sísmica	13
Cronograma.....	15
Presupuesto	16
Resultados	18
Bibliografía	20
Anexos	21

RESUMEN

El presente estudio evalúa las patologías estructurales de una báscula camionera de 80 toneladas ubicada en el Parque Industrial de Popayán, Colombia, la cual presentó fallas prematuras a los 3 meses de operación. Mediante una metodología integral que incluyó inspección visual, ensayos no destructivos (Ultrasonido ASTM E164-20 y Líquidos Penetrantes ASTM E1417-19) y destructivos (tracción en perfiles ASTM A370-20 y extracción de núcleos de concreto), se identificaron deficiencias críticas en los perfiles metálicos (IPE160/IPE200). Los hallazgos incluyen deformaciones permanentes de 40 mm (superando el límite permitido de 16.7 mm), corrosión galvánica (nivel Ri3) y fisuras longitudinales en la losa. El análisis estructural con el software Cype3D confirmó la insuficiencia de los perfiles para resistir las cargas de servicio y dinámicas.

Se propone un plan de intervención en tres fases:

1. Apuntalamiento temporal y restricción de carga al 50%;
2. Reemplazo de las vigas por perfiles IPE240 con soldadura patín-patín (según AWS D1.1) e instalación de arriostramientos diagonales; y
3. Monitoreo continuo con sensores de desplazamiento.

Los resultados de la intervención proyectan la restauración total de la capacidad estructural, la reducción de la deformación a valores inferiores a 16.7 mm, y una significativa mejora en la rigidez lateral, cumpliendo con las normativas NTC-2015 y ACI 318-19. El diagnóstico final atribuye el 70% de las fallas a un diseño estructural insuficiente, el 20% a cargas dinámicas no consideradas y el 10% a deficiencias en la ejecución de soldaduras.

Palabras clave: Báscula camionera, patologías estructurales, reforzamiento metálico, ensayos no destructivos, vulnerabilidad sísmica, IPE240.

ABSTRACT

This study assesses the structural pathologies of an 80-ton truck scale located in the Popayán Industrial Park, Colombia, which exhibited premature failures after three months of operation. Through a comprehensive methodology including visual inspection, non-destructive testing (Ultrasonic Testing ASTM E164-20 and Liquid Penetrant Testing ASTM E1417-19), and destructive testing (tensile tests on steel profiles ASTM A370-20 and concrete core extraction), critical deficiencies were identified in the metallic profiles (IPE160/IPE200). Findings included permanent deformations of 40 mm (exceeding the allowable limit of 16.7 mm), galvanic corrosion (level Ri3), and longitudinal cracks in the slab. Structural analysis using Cype3D software confirmed the inadequacy of the profiles to withstand service and dynamic loads.

A three-phase intervention plan is proposed:

1. Temporary shoring and 50% load restriction;
2. Replacement of beams with IPE240 profiles using flange-to-flange welding (AWS D1.1) and installation of diagonal bracings; and
3. Continuous monitoring with displacement sensors.

The expected outcomes of the intervention include the full restoration of structural capacity, reduction of deformations to values below 16.7 mm, and a significant improvement in lateral stiffness, ensuring compliance with NTC-2015 and ACI 318-19 standards. The final diagnosis attributes 70% of the failures to insufficient structural design, 20% to unaccounted dynamic loads, and 10% to poor welding execution.

Keywords: Truck scale, structural pathologies, steel reinforcement, non-destructive testing, seismic vulnerability, IPE240.

1. HISTORIA CLÍNICA

A continuación, se presenta la ficha técnica y el cuadro patológico inicial de la estructura evaluada.

Tabla 1

Ficha Técnica de la Estructura

Parámetro	Descripción
Ubicación	Parque Industrial Popayán, Lote 3H (2°27'15"N 76°37'30"W)
Configuración Estructural	3 módulos independientes de 6m x 3m, formando una plataforma continua de 18m x 3m.
Elementos Principales	Vigas principales IPE160, vigas secundarias IPE200, losa de concreto ($f'_c=28$ MPa) sobre lámina colaborante (metaldeck).
Cimentación	Zapatas aisladas de concreto. Se detectó un desnivel de 3 mm en las celdas de carga.
Contexto Operativo	Zona de alto tráfico de vehículos pesados (camiones de 3 y 5 ejes), operación 24 horas en turnos continuos.
Fecha de Instalación	26 de marzo de 2024

Parámetro	Descripción
Fecha de Reporte de Fallas	Primera evidencia de patologías reportada a finales de junio de 2024 (3 meses después de la puesta en servicio).

Tabla 2

Cuadro Patológico Identificado

Patología	Descripción y Localización	Severidad	Evidencia / Medición
Deformaciones Permanentes	Flecha permanente de 40 mm en el centro de la luz (6 m) de las vigas IPE160.	Grave	Medición con nivel láser. Supera el límite normativo L/240 (16.7 mm).
Fisuras Longitudinales	Fisuras en la losa de concreto, localizadas en el centro de la luz, con aperturas de hasta 0.5 mm . Siguen la dirección de las vigas IPE160.	Grave	Inspección visual y ensayo de Líquidos Penetrantes (ASTM E1417-19).
Corrosión Galvánica	Presente en anclajes metálicos, debido a la diferencia de potencial electroquímico con los perfiles.	Moderada (Ri3)	Inspección visual.
Oxidación Generalizada	Oxidación en patines y almas de las vigas IPE160 e IPE200. Acelerada por la alta humedad ambiental.	Leve (Ri4)	Inspección visual.
Soldaduras Defectuosas	Porosidad y falta de fusión en las soldaduras de unión entre la lámina colaborante y las vigas principales.	Grave	Ensayo de Ultrasonido (ASTM E164-20), en 1.8 metros lineales de soldadura.

2. METODOLOGÍA

Para el diagnóstico de las patologías estructurales se implementó una metodología integral, estructurada en etapas secuenciales que combinaron inspección in situ, ensayos de campo y laboratorio, y modelado estructural. A continuación, se detallan los ensayos propuestos y ejecutados:

Tabla 3

Ensayos propuestos

Etapa	Descripción	Instrumentos Utilizados	Resultados Esperados / Obtenidos
Inspección Visual	Identificación y registro de patologías superficiales: deformaciones, fisuras, corrosión y defectos en soldaduras .	Cinta métrica digital, nivel láser, calibrador pie de rey, cámara fotográfica de alta resolución.	Registro fotográfico sistemático, cuantificación de deformaciones y mapeo de fisuras y zonas corroídas. (ver Anexo 3)
END: Ultrasonido	Detección de discontinuidades internas en soldaduras y perfiles metálicos (porosidad, grietas).	Ultrasonómetro de pulso-eco (Modelo Panametrics EPOCH 650), acoplante.	Identificación de longitud y ubicación de defectos internos (ej. 1.8 m lineal de porosidad en soldadura).
END: Líquidos Penetrantes	Detección de discontinuidades superficiales no visibles al ojo humano en uniones soldadas.	Kit de líquidos penetrantes (limpiador, penetrante, revelador - Marca Magnaflux).	Detección de fisuras superficiales finas (ej. fisuras de 0.5 mm en uniones).
END: Termografía Infrarroja	Identificación de puntos calientes o gradientes térmicos anormales bajo carga operativa.	Cámara termográfica (Modelo FLIR T1030).	Localización de zonas con concentración de tensiones o defectos que generan sobrecalentamiento .

Etapa	Descripción	Instrumentos Utilizados	Resultados Esperados / Obtenidos
ED: Extracción de Núcleos	Determinación de la resistencia a compresión real del concreto <i>in situ</i> .	Perforadora hidráulica con broca de diamante, máquina de ensayos universales.	Obtención de la resistencia a compresión promedio = 28 MPa).(ver Anexo 1)
ED: Tracción en Perfiles	Determinación de las propiedades mecánicas reales del acero estructural (límite elástico, resistencia última).	Máquina universal de ensayos (Modelo Instron 5985), extensómetro.	Obtención de las curvas esfuerzo-deformación y verificación del cumplimiento del acero (ej. Límite elástico = 235 MPa).(ver Anexo 2)
Análisis Estructural	Modelado y simulación del comportamiento estructural bajo cargas de servicio y sísmicas.	Software de análisis estructural Cype3D.	Verificación de capacidad estructural, cálculo de deformaciones e identificación de puntos críticos .

Nota: END = Ensayos No Destructivos; ED = Ensayos Destructivos.

3. ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de los datos recopilados se realizó de forma integrada, cruzando la evidencia experimental con los modelos estructurales para establecer relaciones causa-efecto y cuantificar el nivel de deficiencia de la estructura. Los resultados de este análisis se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 4

Análisis De La Información

Aspecto Analizado	Datos Recopilados (Fuente del Dato)	Métodos de Análisis	Resultados del Análisis (Hallazgos Clave y Correlación)
Estado Estructural	- Deformación: 40 mm	- Comparación cuantitativa con	- La deformación medida (40 mm) supera en un 140% el límite (ver

Aspecto Analizado	Datos Recopilados (Fuente del Dato)	Métodos de Análisis	Resultados del Análisis (Hallazgos Clave y Correlación)
	(Inspección visual / Nivel láser). - Fisuras: 0.5 mm en losa (Líquidos Penetrantes). - Porosidad: 1.8 m lineal de soldadura (Ultrasonido).	límites normativos (NTC-2015, L/240). - Evaluación de integridad de uniones.	Anexo 3) permitido (16.7 mm), lo que constituye una falla de servicio grave . Correlación: La fisuración en la losa es una consecuencia directa de esta flexión excesiva en las vigas. Las soldaduras defectuosas agravan el problema al reducir la acción compuesta.
Propiedades de los Materiales	- Límite elástico del acero IPE160: 235 MPa (Ensayo de Tracción ASTM A370-20). - f'c del concreto: 28 MPa (Extracción de Núcleos).	- Comparación con valores de diseño especificados (ASTM A36, f'c=28 MPa). - Análisis estadístico de resultados. (ver anexo 1)	- El acero tiene una resistencia a la fluencia 15 MPa por debajo del valor mínimo típico para ASTM A36 (250 MPa). Correlación: Esto explica científicamente la fluencia prematura y las deformaciones permanentes, ya que el material cedió antes de lo esperado en el diseño. El concreto, en cambio, cumple con la resistencia especificada. (ver Anexo 2)
Comportamiento bajo Carga	- Modelo estructural en Cype3D con propiedades reales de los materiales y carga de 80 ton con factor de impacto dinámico del 30% .	- Análisis de Elementos Finitos (FEA). - Aplicación de combinaciones de carga NTC-2015.	- El análisis confirma que los perfiles IPE160 sometidos a la carga real experimentan esfuerzos de flexión de 285 MPa . Correlación: Este esfuerzo supera tanto el límite elástico medido del material (235 MPa) como el admisible por norma, validando la causa raíz de las deformaciones . El factor de impacto dinámico incrementa los esfuerzos en un 25-30%, un aspecto no considerado en el diseño original.

Aspecto Analizado	Datos Recopilados (Fuente del Dato)	Métodos de Análisis	Resultados del Análisis (Hallazgos Clave y Correlación)
Durabilidad y Vulnerabilidad	- Nivel de corrosión: Ri3/Ri4 (Inspección Visual). - Índice de Vulnerabilidad Sísmica: 0.65 (Evaluación FEMA 154 integrada al modelo).	- Evaluación cualitativa y cuantitativa de la vulnerabilidad. - Análisis de vida útil remanente.	- La corrosión activa reduce la sección transversal efectiva de los perfiles, disminuyendo su capacidad portante. Correlación: La estructura es altamente vulnerable a sismos debido a la falta de arriostramientos (confirmada por el modelo) y al estado de deterioro, lo que exige una intervención prioritaria que aborde tanto la resistencia como la rigidez lateral.

Este análisis integral demuestra que las patologías observadas no son independientes, sino que forman una cadena de fallas interconectadas, originada principalmente en un diseño estructural insuficiente y agravada por la calidad del material y las condiciones operativas.

4. DIAGNÓSTICO

El diagnóstico final se establece cruzando la evidencia experimental (ensayos) con el análisis normativo y estructural, determinando las causas raíz de las patologías y las acciones de intervención necesarias.

Tabla 5

Diagnóstico Estructural Basado En Evidencia

Aspecto Analizado	Descripción	Hallazgos (Respaldados por Datos)	Recomendaciones
Estado del Paciente	Evaluación de la capacidad estructural remanente y seguridad inmediata.	- Deformación crítica: 40 mm medida con nivel láser, supera el límite normativo L/240 (16.7mm) en un 140% . - Fisuración activa: Fisuras de 0.5 mm en losa, asociadas a la flexión excesiva de las vigas IPE160 (confirmado por modelo Cype3D). - Integridad comprometida: Soldaduras con 1.8	Intervención Urgente. Reemplazo total de los perfiles IPE160/IPE200 . Restricción de carga al 50% y apuntalamiento temporal inmediato.

Aspecto Analizado	Descripción	Hallazgos (Respaldados por Datos)	Recomendaciones
		m lineal de porosidad (Ultrasonido ASTM E164-20), lo que reduce la acción compuesta. (ver Anexo 3)	
Condiciones Ambientales	Evaluación del impacto del medio ambiente en la degradación de los materiales.	- Corrosión Galvánica (Ri3): Identificada en anclajes, acelerada por humedad relativa >80% (registro ambiental). - Oxidación Generalizada (Ri4): En patines, reduce la sección eficaz del acero.	Protección Superficial. Aplicación de sistema de protección anticorrosiva (ej. pintura epóxica) sobre los nuevos perfiles y uniones.
Patologías Estructurales	Determinación de la causa raíz de la falla.	- Capacidad Insuficiente: El modelo Cype3D confirma que los perfiles IPE160 sometidos a 80\ ton + 30% impacto alcanzan 285 MPa, superando el límite elástico real del acero 235 MPa, Ensayo Tracción ASTM A370-20). - Fisuras Longitudinales: Son síntoma de la falla por flexión, no la causa principal. (ver Anexo 3)	Refuerzo Estructural. Reemplazo con perfiles IPE240 que tengan límite elástico verificado 250 MPa. Implementar arriostramientos para rigidez lateral.
Cumplimiento Normativo	Verificación del cumplimiento de la estructura con la normativa colombiana.	- No Cumple NTC-2015/NSR-10: Incumplimiento específico de: 1.C.9.5.b.2(Deformaciones): Flecha medida (40mm) > L/240 (16.7\ mm). 2. F.2.5.4 (Resistencia a Flexión): Esfuerzo actuante (285\ MPa) > Capacidad del perfil (235\ MPa). 3. A.4.3.1 (Calidad del Acero): Límite elástico del acero (235\ MPa) por debajo del valor típico de diseño (250\ MPa).	Rediseño Según Normativa. La intervención propuesta debe garantizar el cumplimiento de todos los ítems normativos incumplidos, verificando tanto los estados límite de resistencia como de servicio .

La estructura presenta un estado de daño Grado 3 (Grave) según los criterios de la FEMA-356. La causa raíz es un diseño estructural insuficiente 70%, ya que los perfiles IPE160/IPE200 son inadecuados para las cargas de servicio y dinámicas reales, lo que se confirmó con el modelo Cype3D y los ensayos de tracción. Este problema principal fue agravado por cargas dinámicas no consideradas 20%, que incrementan los esfuerzos en un 30%, y por defectos de ejecución en soldaduras 10%, verificados mediante ultrasonido.

La intervención debe ser prioritaria y está orientada a restituir la capacidad estructural, la durabilidad y el cumplimiento normativo.

5. PROPUESTA DE INTERVENCIÓN

Tabla 6

Propuesta De Intervención

Área/Componente	Propuesta de Intervención	Objetivo Técnico
Vigas IPE160/IPE200	Reemplazo total de los perfiles existentes por vigas IPE240 .	Restaurar el 100% de la capacidad resistente a flexión y cortante, reduciendo las deformaciones a valores $< L/240$ (16.7mm).
Uniones y Rigidez Lateral	Instalación de un sistema de arriostramientos diagonales en ambos sentidos, formando cruces de San Andrés en cada módulo.	Aumentar la rigidez lateral para reducir la deriva máxima (Δ/h) de 0.008 a un valor < 0.005 , cumpliendo con la NSR-10 y mitigando la alta vulnerabilidad sísmica identificada ($IV=0.65$).
Protección contra Corrosión	Protección superficial integral de todos los nuevos elementos metálicos y zonas afectadas reparadas.	Mitigar la corrosión galvánica y generalizada ($Ri3/Ri4$), aumentando la vida útil de la estructura en el ambiente agresivo del parque industrial.

Área/Componente	Propuesta de Intervención	Objetivo Técnico
Cimentación y Nivelación	Refuerzo de cimentación con viga de amarre perimetral y nivelación de celdas de carga.	Corregir el desnivel de 3 mm y garantizar la continuidad estructural, mejorando la distribución de cargas y la respuesta sísmica.
Monitoreo Estructural	Instalación de un sistema de monitoreo continuo y predictivo .	Detectar deformaciones y corrosión temprana, permitiendo un mantenimiento predictivo y optimizando costos a largo plazo.

Tabla 7

Fases De Ejecución Detalladas

Fase	Título	Duración Estimada	Acciones Clave
I	Estabilización Urgente	0-15 días	Apuntalamiento temporal con torres metálicas ajustables en puntos críticos. Restricción operativa de la báscula al 50\% de su capacidad 40toneladas. Adquisición de materiales con certificados de calidad.
II	Intervención Principal	1-3 meses	- Desmontaje controlado de los perfiles IPE160/IPE200 existentes. - Fabricación y colocación de los nuevos perfiles IPE240 y arriostramientos. - Ejecución de soldaduras con procedimiento calificado e inspección NDE en el 100% de las uniones. - Aplicación del sistema de protección anticorrosiva. - Ejecución del refuerzo de cimentación.
III	Puesta en Servicio y Monitoreo	A partir del mes 3	- Retirada progresiva de los apuntalamientos.

Fase	Título	Duración Estimada	Acciones Clave
			- Instalación y puesta en marcha del sistema de monitoreo. - Pruebas de carga progresivas hasta alcanzar las 80 toneladas, verificando el comportamiento con los sensores. Capacitación al personal en el uso del sistema de monitoreo. - Entrega de informe final de la intervención con certificación de cumplimiento normativo.

6. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Tabla 8

Análisis De Vulnerabilidad Sísmica

Parámetro	Descripción
Ubicación	Parque Industrial Lote 3H
Descripción geológica	Suelo Tipo D (Depósito de arena densa y arcilla rígida) según NSR-10
Histórico de sismos	Zona intermedia de amenaza sísmica (Aa=0.25g, Av=0.20g, NTC-2015)
Vecinos colindantes	Estructuras industriales con sistemas metálicos similares
Sistema constructivo	Estructura metálica con vigas IPE160/IPE200, losa de concreto, lámina colaborante
Materiales	Acero ASTM A36 (Límite elástico insuficiente en IPE160: 235 MPa)
Cimentación	Zapata aislada sin refuerzo sísmico. Desnivel detectado en celdas de carga (3mm)
Sistema estructural	Pórticos metálicos sin arriostramientos. Deriva máxima calculada: $\Delta/h=0.008$ (Supera límite NTC-2015: $\Delta/h<0.005$)

Análisis Cualitativo de Vulnerabilidad Sísmica

Se realizó una evaluación cualitativa de la vulnerabilidad sísmica de la estructura basada en la metodología propuesta por la NSR-10 y complementada con criterios de la FEMA 154 (Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards). A continuación, se presenta la matriz de evaluación:

Tabla 9

Evaluación Cualitativa

Factor Evaluado	Condición Actual	Calificación	Ponderación	Puntaje
Configuración estructural	Pórticos metálicos sin arriostramientos	Alta	25%	0.25
Calidad de materiales	Acero ASTM A36 con límite elástico inferior	Media	20%	0.10
Estado de deterioro	Corrosión Ri3-Ri4, fisuras, deformaciones	Alta	20%	0.20
Tipo de suelo	Suelo Tipo D (adecuado)	Baja	15%	0.00
Regularidad estructural	Irregularidad en planta y altura por deformaciones	Alta	10%	0.10
Elementos no estructurales	Losa con lámina colaborante bien anclada	Baja	10%	0.00
Total			100%	0.65

Interpretación del Índice de Vulnerabilidad (IV):

- IV < 0.30: Baja vulnerabilidad
- IV 0.30 < 0.60: Vulnerabilidad media
- IV 0.60: Alta vulnerabilidad

Conclusión del análisis: El índice de vulnerabilidad sísmica calculado es de 0.65, lo que indica que la estructura presenta alta vulnerabilidad sísmica. Los factores más críticos son la falta de

arriostramientos, el estado de deterioro avanzado y la insuficiencia de los perfiles metálicos para resistir cargas laterales. Se recomienda una intervención prioritaria.

Recomendaciones para Mitigación del Riesgo Sísmico

1. Instalación de arriostramientos diagonales en ambos sentidos para mejorar la rigidez lateral.
2. Reemplazo de perfiles insuficientes (IPE160/IPE200) por perfiles IPE240 o superiores.
3. Refuerzo de cimentación con vigas de amarre para garantizar la continuidad estructural.
4. Protección superficial contra corrosión para prolongar la vida útil de los elementos estructurales.
5. Monitoreo continuo con sensores de desplazamiento y aceleración para la detección temprana de deformaciones.

7. CRONOGRAMA

El cronograma de actividades se ha estructurado en 3 fases principales, desde la diagnosis inicial hasta la entrega de resultados y propuesta de intervención. Se estima una duración total de 24 semanas (6 meses) para la ejecución de todas las etapas del estudio patológico.

Tabla 10

Programación De Actividades

Fase	Actividades Principales	Sem 1-4	Sem 5-8	Sem 9-12	Sem 13-16	Costo Directo (COP)	Administración (15%)	Utilidad (15%)	Total por Fase (COP)
FASE 1: Estudio Patológico	Planificación y Diagnóstico	■				\$4,500,000	\$675,000	\$675,000	\$5,850,000
	Ensayos (END/ED) y Análisis		■	■		\$5,000,000	\$750,000	\$750,000	\$6,500,000
FASE 2: Propuesta Técnica	Diseño de Intervención y Planos			■		\$2,500,000	\$375,000	\$375,000	\$3,250,000

 UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS PRIMER CLAUSTRO UNIVERSITARIO DE COLOMBIA						CURSO OPCIÓN DE GRADO Especialización Patología de la Construcción			
Fase	Actividades Principales	Sem 1-4	Sem 5-8	Sem 9-12	Sem 13-16	Costo Directo (COP)	Administración (15%)	Utilidad (15%)	Total por Fase (COP)
	Elaboración de Presupuesto					\$1,500,000	\$225,000	\$225,000	\$1,950,000
Totales						\$13,500,000	\$2,025,000	\$2,025,000	\$17,550,000

Desglose Detallado por Fases:

- **FASE 1: Estudio Patológico (Semanas 1-8)**
 - Semana 1-4: Diagnóstico (Inspección visual, Ensayos No Destructivos).
 - Semana 5-8: Análisis de datos, Modelado Estructural (Cype3D), Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica.
- **FASE 2: Propuesta Técnica (Semanas 9-12)**
 - Semana 9-12: Diseño de la intervención, elaboración de planos, memorias de cálculo y presupuesto detallado para la obra.

8. PRESUPUESTO

Tabla 11

Presupuesto Tentativo Estudio

Ítem	Concepto	Especificaciones Técnicas / Actividad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
A. ESTUDIO PATOLÓGICO (DIAGNÓSTICO)				
1.	Inspección Visual y Levantamiento	Inspección visual detallada, mapeo de fisuras y deformaciones con nivel láser, registro fotográfico sistemático.	\$1,200,000	\$1,200,000
2.	Ensayo No Destructivo (END)	Ultrasonido (ASTM E164-20), Líquidos Penetrantes (ASTM E1417-19), Termografía Infrarroja.	\$3,500,000	\$3,500,000

Ítem	Concepto	Especificaciones Técnicas / Actividad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
3.	Ensayo Destructivo (ED)	Extracción y ensayo a compresión de 3 núcleos de concreto. Ensayo de tracción de 2 probetas de acero (ASTM A370-20).	\$2,300,000	\$2,300,000
4.	Análisis Estructural y Modelado	Modelado 3D (Cype3D), análisis bajo combinaciones de carga NTC-2018, evaluación de vulnerabilidad sísmica.	\$2,500,000	\$2,500,000
	SUBTOTAL ESTUDIO (A)			\$9,500,000
B. PROPUESTA TÉCNICA				
5.	Diseño de Intervención	Desarrollo de la metodología, planos de detalle para el refuerzo, especificaciones técnicas.	\$2,500,000	\$2,500,000
6.	Elaboración de Presupuesto	Desglose de costos de materiales, mano de obra y equipos para la intervención.	\$1,500,000	\$1,500,000
	SUBTOTAL PROPUESTA (B)			\$4,000,000
	SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS (A + B)			\$13,500,000
C. COSTOS INDIRECTOS (AIU)				

Ítem	Concepto	Especificaciones Técnicas / Actividad	Costo Unitario (COP)	Costo Total (COP)
7.	Administración (15%)	Gastos administrativos, supervisión técnica del estudio, logística.		\$2,025,000
8.	Imprevistos (10%)	Sobre costo total de ejecución del estudio y propuesta (A+B).		\$1,350,000
9.	Utilidad (15%)	Margen de utilidad del proyecto de estudio y diseño.		\$2,025,000
	SUBTOTAL AIU (C)			\$5,400,000
	TOTAL GENERAL DEL PROYECTO (A + B + C)			\$18,900,000

9. RESULTADOS

9.1. Resultados Obtenidos del Diagnóstico

Mediante la inspección visual, los ensayos no destructivos (END), destructivos (ED) y el modelado estructural, se obtuvieron los siguientes resultados concretos:

1. Identificación Precisa de Patologías:

Deformaciones Excesivas: Se confirmó que las vigas IPE160 presentan deformaciones permanentes de hasta 40 mm, muy por encima del límite permitido de L/240 (16.7 mm para una luz de 6 m). (ver Anexo 3)

Fisuración: Se identificaron fisuras longitudinales en la losa de concreto, directamente asociadas a la flexión excesiva de las vigas metálicas subyacentes. (ver Anexo 3)

Corrosión: Se determinó la presencia de corrosión galvánica (Ri3) en anclajes y oxidación generalizada (Ri4) en los patines de las vigas, acelerada por las condiciones ambientales del parque industrial.

Deficiencias en Soldadura: Los ensayos de ultrasonido revelaron porosidad en 1.8 metros lineales de soldadura en las uniones entre la lámina colaborante y las vigas, lo que compromete la transferencia de cargas y la acción compuesta.

2. **Causa Raíz:** El análisis estructural con Cype3D permitió cuantificar que el 70% de la falla se atribuye a un diseño estructural insuficiente, donde los perfiles IPE160/IPE200 son inadecuados para las cargas de servicio (80 toneladas) y las cargas dinámicas del tráfico pesado. El 20% se debe a la no consideración de impactos dinámicos y el 10% a deficiencias en la ejecución (soldaduras). (ver Anexo 2 para el modelo y análisis)
3. **No Conformidad Normativa:** Se verificó el incumplimiento de varios capítulos de la NSR-10 y la NTC-2015, específicamente en los criterios de deformación máxima (C.9.5.b.2) y la resistencia de perfiles a flexión (F.2.5.4).

9.2. Resultados Previstos de la Intervención

La implementación de la propuesta de intervención generará los siguientes resultados previstos:

1. **Mejora en la Comprensión de las Patologías:** El proyecto servirá como un caso de estudio documentado para la especialización, detallando la metodología de diagnóstico de patologías en estructuras metálicas sometidas a cargas dinámicas intensivas. Se aportará evidencia técnica sobre la importancia de considerar el impacto dinámico en el diseño de basculas camioneras, un aspecto a menudo subestimado. Se demostrará la efectividad de la combinación de END y ED (Ultrasonido + Líquidos Penetrantes + Extracción de Núcleos) para un diagnóstico integral en estructuras metálicas y de concreto.
2. **Soluciones Viables de Mantenimiento y Refuerzo:**

Restauración de la Capacidad Estructural: El reemplazo de los perfiles IPE160 por IPE240 restaurará el 100% de la capacidad resistente, reduciendo las deformaciones a valores dentro del límite permitido (< 16.7 mm).

Durabilidad: La aplicación de protecciones superficiales (pinturas epóxicas o sistemas de protección catódica) sobre los nuevos perfiles y las uniones soldadas mitigará la corrosión, aumentando significativamente la vida útil de la estructura.

Robustez Sísmica: La incorporación de arriostramientos diagonales mejorará la rigidez lateral del sistema, reduciendo la deriva máxima (Δ/h) por debajo del 0.005 exigido por la NSR-10 y disminuyendo la vulnerabilidad sísmica de "Alta" a "Media-Baja".

Sistema de Monitoreo: La instalación de extensómetros y sensores de corrosión permitirá un mantenimiento predictivo, alertando sobre cualquier anomalía o deterioro futuro antes de que se convierta en un riesgo estructural, optimizando así los costos de mantenimiento a largo plazo.

3. **Cumplimiento Normativo y Seguridad:** Tras la intervención, la estructura cumplirá integralmente con los requisitos de las normativas NTC-2015, ACI 318-19 y NSR-10. El principal resultado será la recuperación de la seguridad estructural de la báscula, permitiendo su operación a plena capacidad (80 toneladas) sin riesgo de colapso o falla prematura.

9.3. Impacto Esperado

El éxito de este proyecto de intervención no solo resolverá el problema específico de la báscula en el Parque Industrial de Popayán, sino que también proveerá una metodología replicable para el diagnóstico y rehabilitación de estructuras metálicas similares en el país, contribuyendo al conocimiento en la especialización de Patología de la Construcción.

10. BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2019). ACI 318-19: Building code requirements for structural concrete. https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U19&Language=English&Units=US_Units
- ASTM International. (2020). ASTM C42/C42M-20: Standard test method for obtaining and testing drilled cores and sawed beams of concrete. https://www.astm.org/c0042_c0042m-20.html
- ASTM International. (2020). ASTM E1417/E1417M-19: Standard practice for liquid penetrant testing. https://www.astm.org/e1417_e1417m-19.html
- ASTM International. (2020). ASTM C1060-20: Standard practice for thermographic inspection of insulation installations. https://www.astm.org/c1060_c1060m-20.html
- American Welding Society. (2020). AWS D1.1/D1.1M:2020: Structural welding code – steel. https://pubs.aws.org/standards/D1/D1-1-2020?product_id=2580684
- Federal Emergency Management Agency. (2000). FEMA 356: Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-08/fema_356_complete.pdf
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). (2015). NSR-10: Reglamento colombiano de construcción sismo resistente. <https://tienda.icontec.org/gp-reglamento-nsr-10-2015-actualizado-2021.html>

11. ANEXOS

1. Resultados de resistencia del concreto mediante ensayo destructivo, toma de núcleos



GEOFISICA SAS.
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos
NIT. 900.224.884-0



RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DE NÚCLEOS DE CONCRETO HIDRÁULICO ENDURECIDO												FGLR-70	
NTC 673 y 3658												Versión 06	
CLIENTE: Concretos y Agregados Geoacopio S.A.S										ORDEN SERVICIO No.:		695	
OBRA: Concretos y Agregados Geoacopio S.A.S													
LOCALIZACIÓN OBRA: Lote 3H Parque Industrial - Municipio de Popayán - Departamento del Cauca													
CONTRATISTA: N.A													
INTERVENTORÍA: N.A													
FECHA DE RECIBIDO: 08-jul-2024													

NUMERACIÓN INTERNA	ELEMENTO Y/O LUGAR DE TOMA DE LA MUESTRA	FECHA DE FUNDICIÓN	FECHA DE EXTRACCIÓN	FECHA DE ROTURA	DIÁMETRO D mm	ALTURA L mm	RELACIÓN L/D	ÁREA mm²	LECTURA DE CARGA KN	PATRÓN DE FALLA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Mpa	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Kg/cm²	OBSERVACIONES
22	Losa Bascula Hora de toma: 11:35 am	N.S	08-jul-2024	13-jul-2024	67,3	134,7	2,00	3560,8	117,1	4	32,9	335,4	
23	Losa Bascula Hora de toma: 11:50 am	N.S	08-jul-2024	13-jul-2024	67,3	133,7	1,99	3560,8	123,6	3	34,7	354,0	

OBSERVACIONES: Datos suministrados por el cliente. Muestra tomada por personal de Geofísica SAS

REVISÓ  KAREN SOFÍA MOSQUERA GÓMEZ GEOTECNÓLOGO M.P. # 19516036791 CAU	APROBÓ  FERNANDO MUÑOZ FUENTES GERENTE TÉCNICO M.P. # 19516001294 CAU
---	--

LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN ÚNICAMENTE A LOS MATERIALES ENCONTRADOS Y SOMETIDOS A ENSAYO
ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

2. Informe del ingeniero estructural, Ing. Oscar Alberto Caicedo



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

INFORME DE INSPECCION VISUAL

Mediante visita de inspección visual realizada el día 20 de marzo de 2025, se logró realizar el levantamiento de la estructura con fin de construir un modelo analítico y adicionalmente se pudo evidenciar el procedimiento constructivo y el estado de los elementos estructurales en cuanto a su calidad y posibles deformaciones.

Se presenta la descripción de los elementos que conforman la estructura inspeccionada y se presenta el registro fotográfico respectivo.

La bascula está conformada por 3 tramos similares con dimensiones de 3m x 6m cada uno .

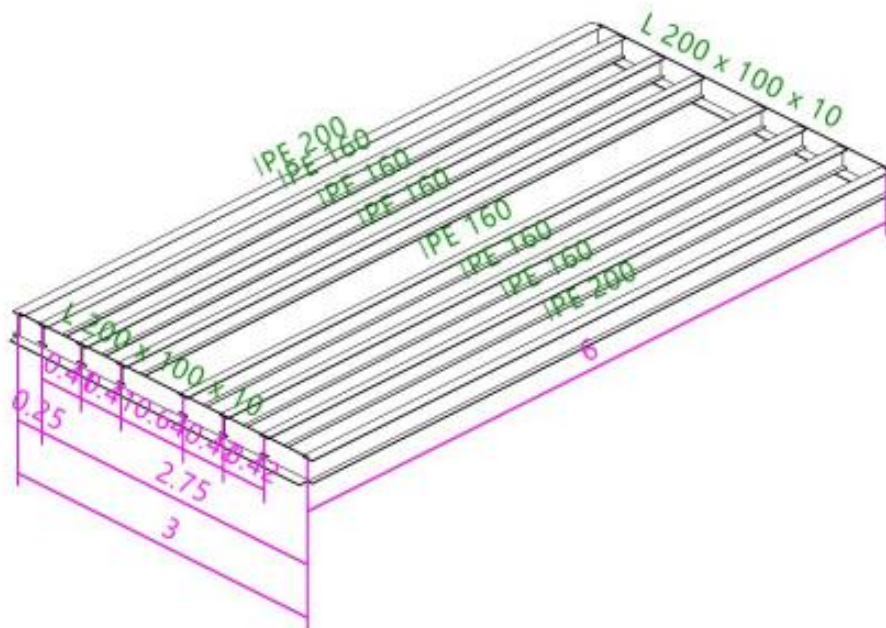


Imagen 1. Levantamiento estructural



OSCAR ALBERTO CAICEDO
 Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
 Especialista en Estructuras

Sistema estructural :

Se evidenció un sistema basado en vigas metálicas IPE apoyadas sobre 2 perfiles metálicos tipo ángulo con altura 200mm . Para la conformación de la placa de concreto se usó lamina colaborante.

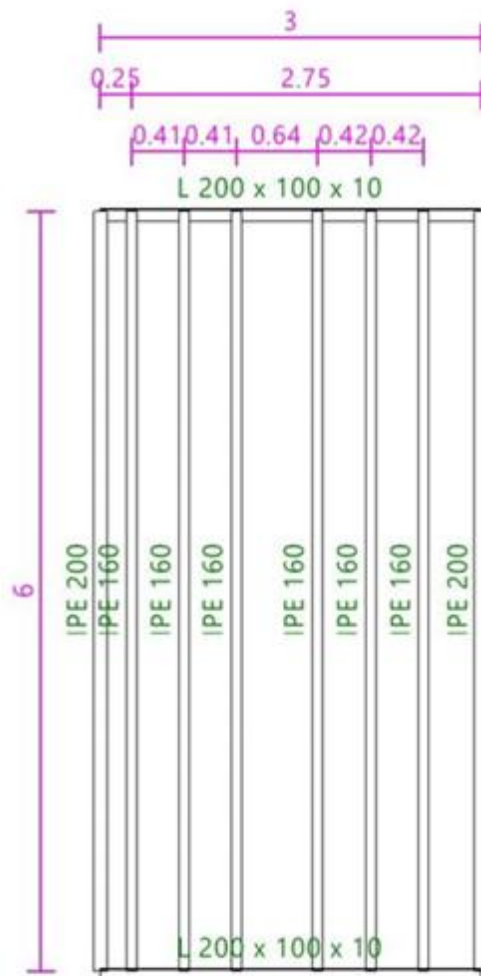


Imagen 2. Planta estructural de un tramo típico.



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y CHEQUEOS

De acuerdo a las evidencias registradas en la visita de inspección, se hizo el respectivo chequeo estructural mediante la construcción de un modelo analítico con el Software Cype3d versión 2025, al cual se le introducen los parámetros y dimensiones acorde a lo que se pudo observar con el fin de evaluar la capacidad resistente y las deformaciones, luego de aplicar las cargas máximas que podrá tener durante la vida útil.



Imagen del modelo de análisis en 3D



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

AVALUO DE CARGAS

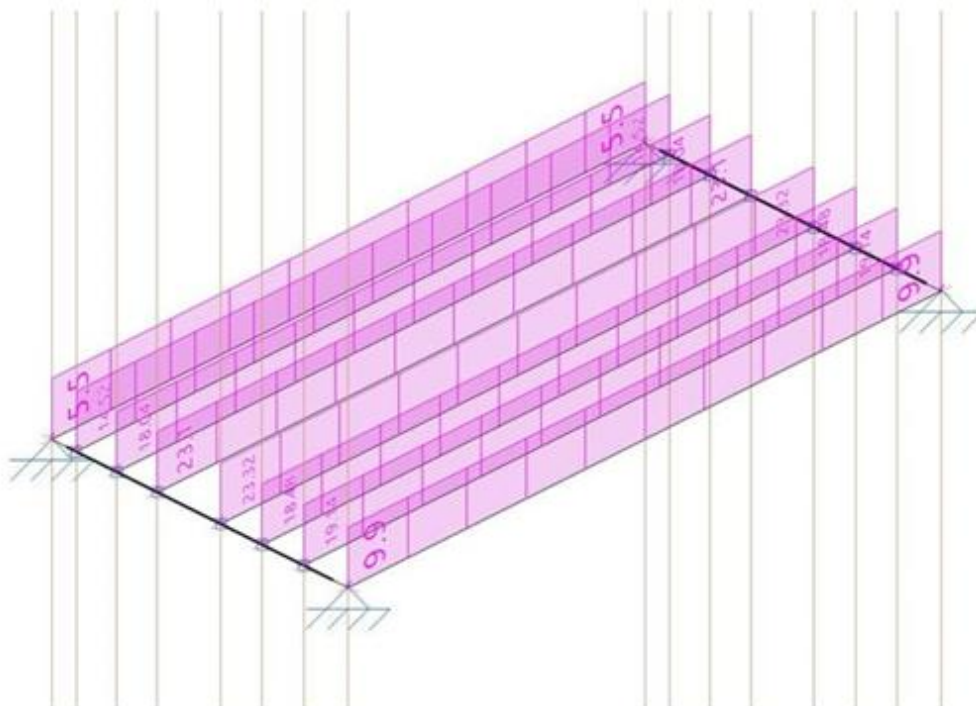
Carga muerta :

Concreto espesor 20cm = $24 \text{ kN/m}^3 \times 0.20\text{m} = 4.8 \text{ kN/m}^2$

Carga viva

Se hizo el análisis teniendo en cuenta lo descrito por el constructor el cual indica que la capacidad máxima es para una carga de 80 Ton.

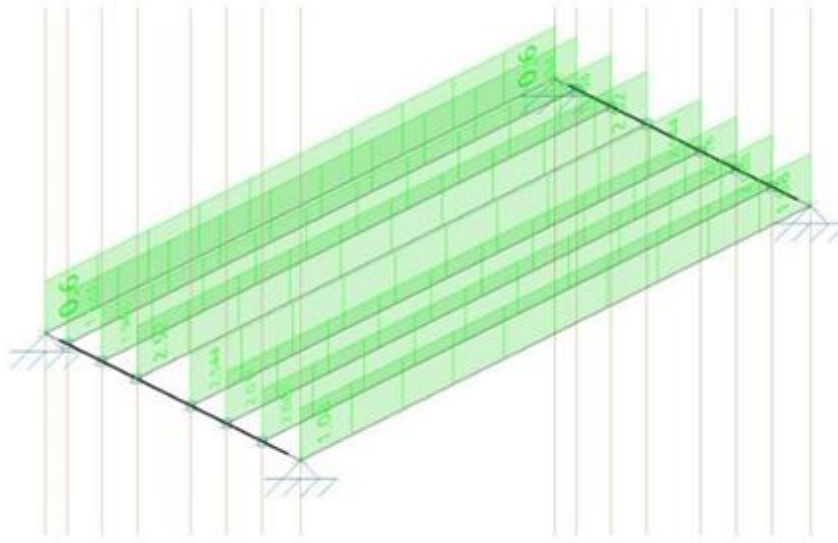
Carga viva = $800 \text{ kN} / (6\text{m} \times 3\text{m}) = 44.4 \text{ kN/m}^2$



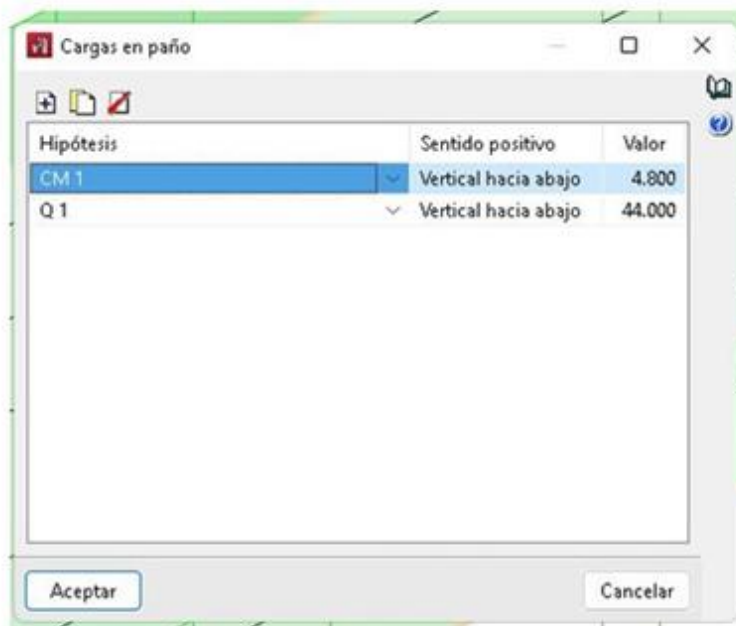
Aplicación de la carga viva



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras



Aplicación de la carga muerta.



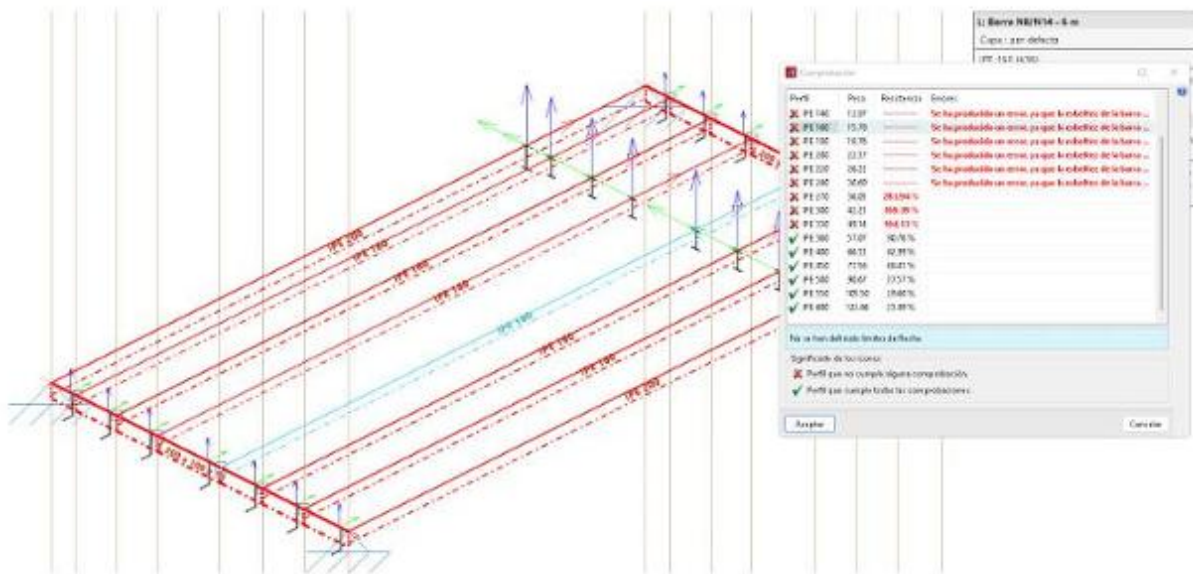


OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se indican los diagramas de esfuerzos y deformaciones que se presentan en la estructura construida con la aplicación de las cargas descritas.

Verificación del perfil interno IPE160

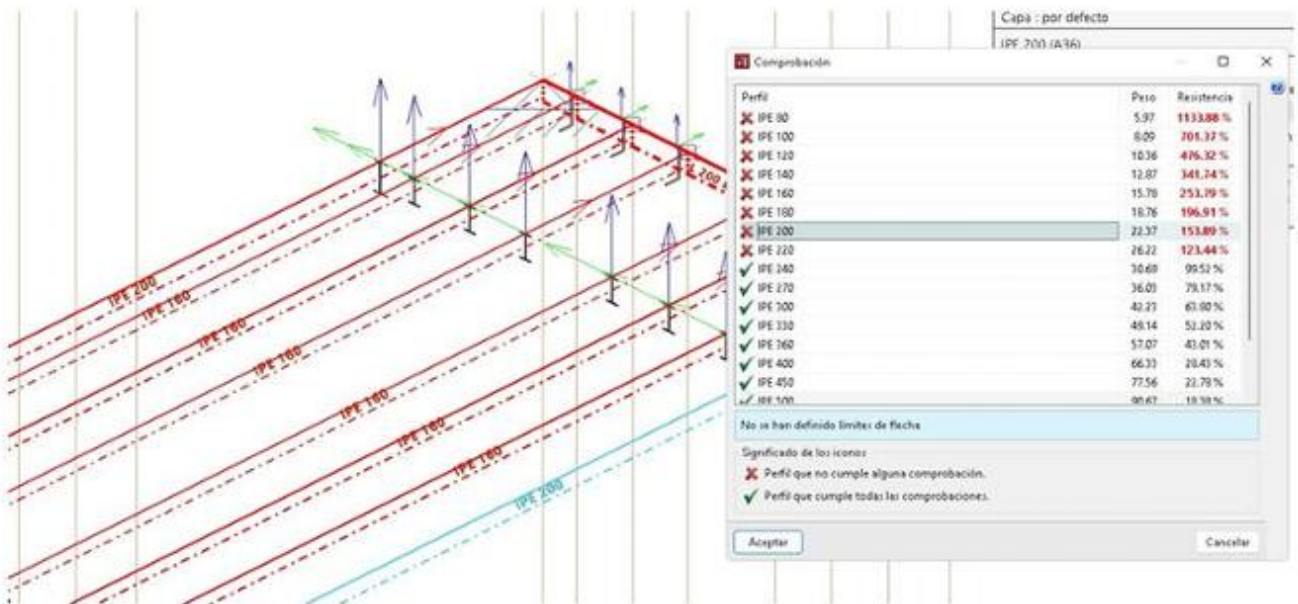


Se puede observar que el perfil adoptado no cumple con los requisitos de resistencia.



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

Verificación del perfil interno IPE200



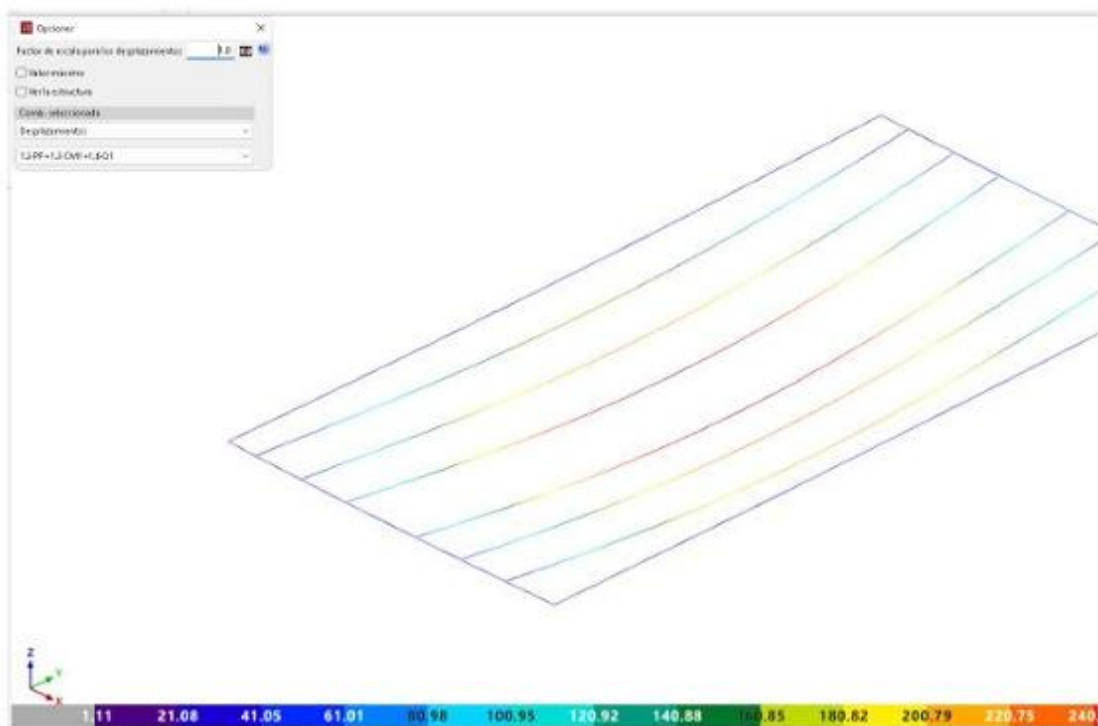
En el anexo se presenta el reporte de los resultados obtenidos.

Se puede observar que el perfil adoptado IPE 200 no cumple con los requisitos de resistencia.



OSCAR ALBERTO CAICEDO
Ingeniero Civil - Universidad del Cauca
Especialista en Estructuras

CHEQUEO DE LAS DEFORMACIONES



Deformaciones que se presentarían a la combinación de cargas
CARGA MUERTA + PESO PROPIO + CARGA VIVA = 24cm

Deflexión máxima permitida = $L/240 = 600\text{cm}/240 = 2.5\text{cm}$, NO CUMPLE

3. Fotografías del elemento
○ *Estructura de acero*



(Autor)

b. estructura de concreto en proceso de demolición



(Autor)