



Estudio Experimental para Evaluar un Sistema de Andamio Prefabricado

Para: Coronet Group Suzhou Co., Ltd.

Santiago, 09 de marzo de 2020

Título del Proyecto *Estudio Experimental para Evaluar un Sistema de Andamio Prefabricado*

Datos Mandante

Razón Social Coronet Group Suzhou Co., Ltd.
RUT
Dirección Ascendas Xinsu Square, 5 Xinghan Street, Suzhou, Jiangsu, China

Contraparte técnica

Nombre Lluvia Yang
Cargo Profesional
E-mail lluvia@coronet-scaffold.com

Contrato Dictuc
Orden de Compra LIE-19-147-01
Propuesta LIE-19-147-01. Ticket N° 16355

Jefe de Proyecto Raúl Álvarez Medel
Empresa DICTUC S.A.
RUT 96.691.330-4



Ing. Raúl Álvarez Medel
Gerente Unidad Ingeniería Estructural
Dictuc S.A.

CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 1. Normas Generales..... | 5 |
| 2. Resumen Ejecutivo..... | 6 |
| 3. Introducción..... | 6 |
| 4. Objetivos..... | 6 |
| 5. Alcances..... | 6 |
| 6. Antecedentes..... | 7 |
| 7. Metodología y Resultados..... | 14 |
| 7.1 Ensayos de Flexión a barandas de seguridad..... | 14 |
| 7.1.1 Metodología..... | 14 |
| 7.1.2 Resultados..... | 16 |
| 7.2 Ensayo de Compresión a Pie Derecho..... | 23 |
| 7.2.1 Metodología..... | 23 |
| 7.2.2 Resultados..... | 25 |
| 7.3 Ensayo de compresión axial sobre base regulable..... | 30 |
| 7.3.1 Metodología..... | 30 |
| 7.3.2 Resultados..... | 31 |
| 7.4 Ensayo de flexión a tablón metálico..... | 35 |
| 7.4.1 Metodología..... | 35 |
| 7.4.2 Resultados..... | 37 |
| 7.5 Ensayo de Carga vertical a travesaño..... | 42 |

| | | |
|-------|---|----|
| 7.5.1 | Metodología..... | 42 |
| 7.5.2 | Resultados..... | 43 |
| 7.6 | Ensayo de carga vertical a dos cuerpos de andamio | 47 |
| 7.6.1 | Metodología..... | 47 |
| 7.6.2 | Resultados..... | 50 |
| 8. | VERIFICACION DEL CUMPLIMIENTO DE LA NORMA NCH2501/1. OF. "REQUISITOS GENERALES" | 54 |
| 9. | ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CLASIFICACIÓN SEGÚN NCH 2501/2. OF2000 | 60 |
| 9.1 | Análisis de Flexión de Tablones..... | 60 |
| 10. | Conclusiones y observaciones..... | 63 |
| 11. | Anexo A: Calidad del Acero Utilizado | 65 |
| 12. | Anexo B: Manual de Montaje Andamios..... | 67 |

1. Normas Generales

- El presente informe presenta los resultados finales del estudio “Estudio Experimental para Evaluar un Sistema de Andamio Prefabricado”, desarrollado durante el período enero de 2020.
- El presente informe fue preparado por **Dictuc** a solicitud del **Mandante** para evaluar la resistencia de sus productos, ante algún tipo de sollicitación descrita en el cuerpo del informe, bajo su responsabilidad exclusiva.
- Los alcances de este estudio están definidos explícitamente en la Capítulo 5 del presente informe. Las conclusiones de este informe se limitan a la información disponible para su ejecución.
- Para el desarrollo de este estudio **Dictuc** utilizó la información individualizada en el Capítulo 6. Dicho Capítulo identifica además las fuentes que proporcionaron dichos antecedentes.
- La información contenida en el presente informe no podrá ser reproducida total o parcialmente, para fines publicitarios, sin la autorización previa y por escrito de **Dictuc** mediante un Contrato de Uso de Marca.
- El **Mandante** podrá manifestar y dejar constancia verbal y escrita, frente a terceros, sean estos autoridades judiciales o extrajudiciales, que el trabajo fue preparado por **Dictuc**, y si decide entregar el conocimiento del presente informe de **Dictuc**, a cualquier tercero, deberá hacerlo en forma completa e íntegra, y no partes del mismo.
- El presente informe es propiedad del **Mandante** sin embargo si **Dictuc** recibe la solicitud de una instancia judicial hará entrega de una copia de este documento al tribunal que lo requiera, previa comunicación por escrito al **Mandante**.
- El presente informe es resultado de las metodologías desarrolladas por **Dictuc**, del alcance del informe encomendado y de los antecedentes que el **Mandante** puso a disposición de **Dictuc**. El **Mandante** acepta expresamente que los resultados del presente informe pueden en definitiva, no serles favorables a sus intereses particulares.
- El **Mandante** declara conocer y aceptar los términos y condiciones generales para la prestación de servicios, disponibles para todo el público en su sitio web oficial www.dictuc.cl/tyc.

2. Resumen Ejecutivo

Se realizaron una serie de ensayos de elementos que componen un sistema de andamio prefabricado. Se realizan tres ensayos de: flexión a barandas, compresión de pie derecho, bases regulables, flexión de tablonces, travesaño y tres torres de andamio de dos cuerpos. Además, se realizó la verificación de cumplimiento de la norma 2501/1 of.2000 “Requisitos Generales” y se clasificaron las plataformas según su resistencia y rigidez de acuerdo a la norma NCh 2501/2 of. 2000 “Requisitos Estructurales”.

Respecto a los ensayos realizados, la carga máxima promedio de las barandas fue de 732[kgf], de los pies derechos fue de 10863[kgf], de las bases regulables fue de 11282[kgf], de los tablonces fue de 2185[kgf], de los travesaños fue de 1536[kgf] y de los cuerpos de andamios fue de 9262[kgf].

Según la NCh 2501/1 of.2000 “Requisitos Generales”, el sistema en general cumple con los requisitos estipulados.

Según la NCh 2501/2 of.2000 “Requisitos Estructurales”, el andamio cumple con los requisitos para clasificar en clase 6 (según los tablonces entregados y su longitud).

3. Introducción

El presente informe da a conocer los resultados obtenidos y análisis de ensayos realizados a elementos de andamios metálicos multidireccionales.

Los ensayos fueron realizados en el Laboratorio de Ingeniería Estructural, entre los días 14 y 21 de enero de 2020. Los ensayos fueron ejecutados a petición de la Sr(a) Lluvia Yang en representación de la empresa Coronet Group Suzhou Co., Ltd., bajo aceptación de la propuesta de trabajo LIE-19-147-01, asociado al Ticket 16355.

Los ensayos fueron realizados por los técnicos Jairo Rojas, Daniel Hernandez y Willy Ríos, bajo supervisión de la ingeniera Nathaly Valdebenito, quien además redacta el presente informe.

El informe se divide en: Objetivos, Alcances, Antecedentes, Metodología y Resultados, y Conclusiones.

4. Objetivos

La etapa experimental corresponde principalmente a un conjunto de ensayos destructivos aplicados a diferentes elementos y partes que conforman el sistema de andamio, con el objeto de determinar propiedades mecánicas y comportamientos. Todos los ensayos propuestos son de tipo estático. En dicha etapa está incluido el chequeo de aspectos señalados en la norma NCh2501 Of2000. Con los resultados obtenidos será posible determinar parámetros importantes para el diseño de diferentes configuraciones.

5. Alcances

El presente trabajo descrito en este informe, corresponde exclusivamente a plasmar los resultados del ensayo realizado y no contempla interpretaciones de efectos o soluciones a posibles problemáticas que pueda implicar los resultados obtenidos.

6. Antecedentes

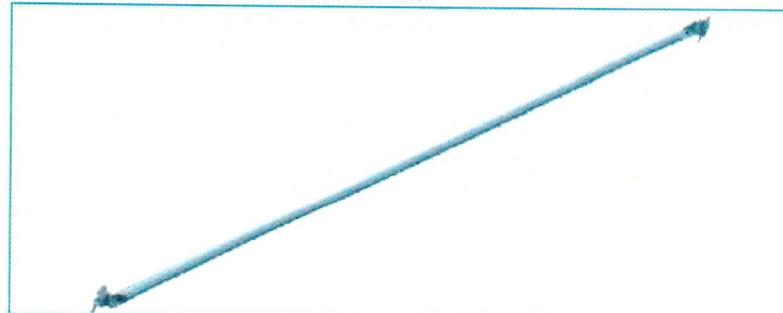
Las probetas sometidas a los ensayos fueron proporcionadas en forma íntegra por el mandante en dependencias del Laboratorio de Ingeniería Estructural de Dictuc S.A. Como antecedente, el mandante hace entrega de los siguientes documentos:

- 320mm Steel Plank(ANSI standard).pdf
- ANSI_SSFI.pdf
- INTI EN12811 certificado.pdf
- SANDEBERG UK EN12811.pdf
- catálogo Andamios Multidireccionales.pdf
- MANUAL DE MONTAJE DEL SISTEMA RINGLOCK.pdf
- certificado de calidad de acero coronet.pdf

Desde la Figura 6.1 hasta la 6.7, se presentan algunas imágenes con las características físicas y propiedades de los materiales, proporcionados por el mandante, a través del documento “Catalogo Andamios Multidireccionales.pdf”, de cada uno de los elementos a ensayar y/o analizar. En cada una de las imágenes, se encuentra en un recuadro negro, la tipología de los materiales enviados para la realización de los diferentes ensayos.

Diagonal

Ringlock Diagonal aumenta la rigidez vertical del andamio.
 Tamaño del tubo: OD48.3x2.5mm, Tipo de Acero: Q235
 Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente.



| Ref No. | Descripción | Peso (kgs) |
|---------|---------------------|------------|
| RDB073 | 0.73m x 2m Diagonal | 8.03 |
| RDB109 | 1.09m x 2m Diagonal | 8.41 |
| RDB140 | 1.40m x 2m Diagonal | 8.86 |
| RDB157 | 1.57m x 2m Diagonal | 9.14 |
| RDB207 | 2.07m x 2m Diagonal | 10.10 |
| RDB257 | 2.57m x 2m Diagonal | 11.20 |
| RDB307 | 3.07m x 2m Diagonal | 12.40 |

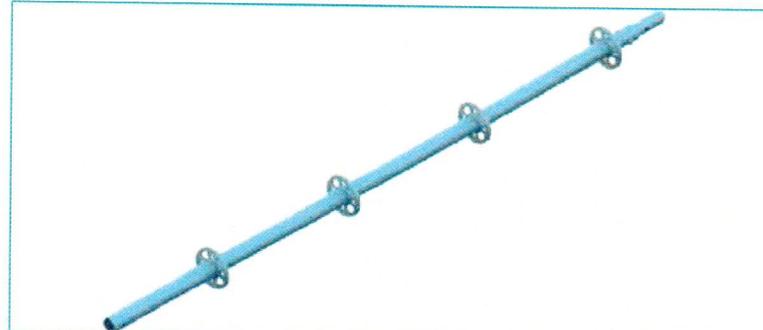
Figura 6.1: Diagonal utilizada en el armado de torre para los ensayos, se encuentra dentro del cuadro negro.

Vertical

Son tubos de acero galvanizado en caliente con rosetas a intervalos de 500mm con múltiples agujeros para el ensamble de horizontales o diagonales en cualquier ángulo aportando una mayor modularidad.

Tamaño del tubo: OD48.3x3.2mm, Tipo de Acero: Q235 or Q345.

Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente.



| Ref. No. | Descripción | Peso (kgs) |
|----------|-------------------------------------|------------|
| RV131 | Vertical 4.0m con Espiga (8 Roseta) | 19.36 |
| RV910 | Vertical 3.0m con Espiga (6 Roseta) | 14.73 |
| RV82 | Vertical 2.5m con Espiga (5 Roseta) | 12.41 |
| RV66 | Vertical 2.0m con Espiga (4 Roseta) | 10.09 |
| RV411 | Vertical 1.5m con Espiga (3 Roseta) | 7.78 |
| RV33 | Vertical 1.0m con Espiga (2 Roseta) | 5.46 |
| RV18 | Vertical 0.5m con Espiga (1 Roseta) | 2.88 |

Figura 6.2: Pie derecho tipo. El utilizado en los ensayos, se encuentra dentro del cuadro negro.

Nivelador Fijo con Base

Ringlock Husillo Nivelador es utilizado para nivelar los verticales de andamio al mismo nivel.

OD: 38.1x4.5mm. Base: 150x150x6mm.

Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente o Electrochapado.

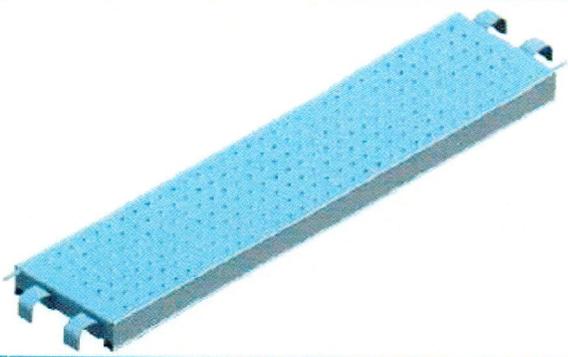


| Ref. No. | Descripción | Peso (kgs) |
|----------|-------------------------------|------------|
| CSJB | 610mm Nivelador Fijo con Base | 3.9 |

Figura 6.3: Base Reglable utilizada en los ensayos

Plataforma Metálica de 320MM de Ancho

Ringlock O-Plataforma Metálica, Anchura:320mm, Altura:76mm, Espesor:1.5mm.
 Q235 Chapa de Acero, Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente

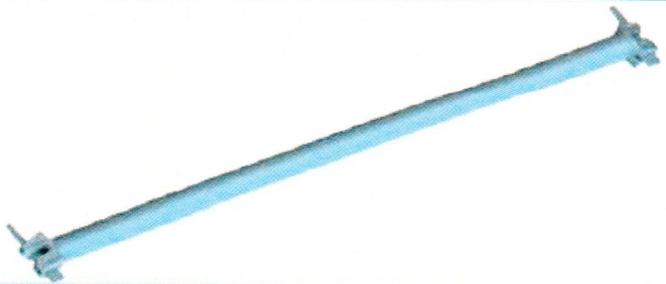


| Ref No. | Descripción | Peso (kgs) |
|-----------|---------------------------|------------|
| ROSP32073 | 0.73m Plataforma Metálica | 7.00 |
| ROSP32109 | 1.09m Plataforma Metálica | 9.40 |
| ROSP32140 | 1.40m Plataforma Metálica | 10.80 |
| ROSP32157 | 1.57m Plataforma Metálica | 12.00 |
| ROSP32207 | 2.07m Plataforma Metálica | 16.00 |
| ROSP32257 | 2.57m Plataforma Metálica | 19.20 |
| ROSP32307 | 3.07m Plataforma Metálica | 22.50 |

Figura 6.4: Tablón tipo. El utilizado en los ensayos, se encuentra dentro del cuadro negro

Horizontal

Ringlock Horizontal.Tamaño del tubo: OD48.3x3.2mm, Tipo de Acero: Q235 or Q345. Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente. Horizontal también se puede utilizar como barandilla.



| Ref No. | Descripción | Peso (kgs) |
|---------|------------------|------------|
| RH042 | 0.42m Horizontal | 2.13 |
| RH073 | 0.73m Horizontal | 3.24 |
| RH109 | 1.09m Horizontal | 4.53 |
| RH140 | 1.40m Horizontal | 5.63 |
| RH157 | 1.57m Horizontal | 6.24 |
| RH207 | 2.07m Horizontal | 8.02 |
| RH257 | 2.57m Horizontal | 9.81 |
| RH307 | 3.07m Horizontal | 11.59 |

Figura 6.5: Travesaño tipo utilizado en los ensayos RH157. Baranda tipo utilizada en los ensayos RH207.

Collarín

Ringlock Collarín con una sola roseta, se coloca sobre el husillo nivelador en el inicio de montaje de verticales. Tamaño del tubo Principal: 48.3x3.2mm & 57x2.5mm.

Tratamiento de Superficie: Galvanizado en Caliente.



Figura 6.6: Collarín tipo. El utilizado en los ensayos, se encuentra dentro del cuadro negro.

Rodapié de Acero

Ringlock Rodapié de Acero usando tornillo, Altura:150mm, Pre-galvanizado.

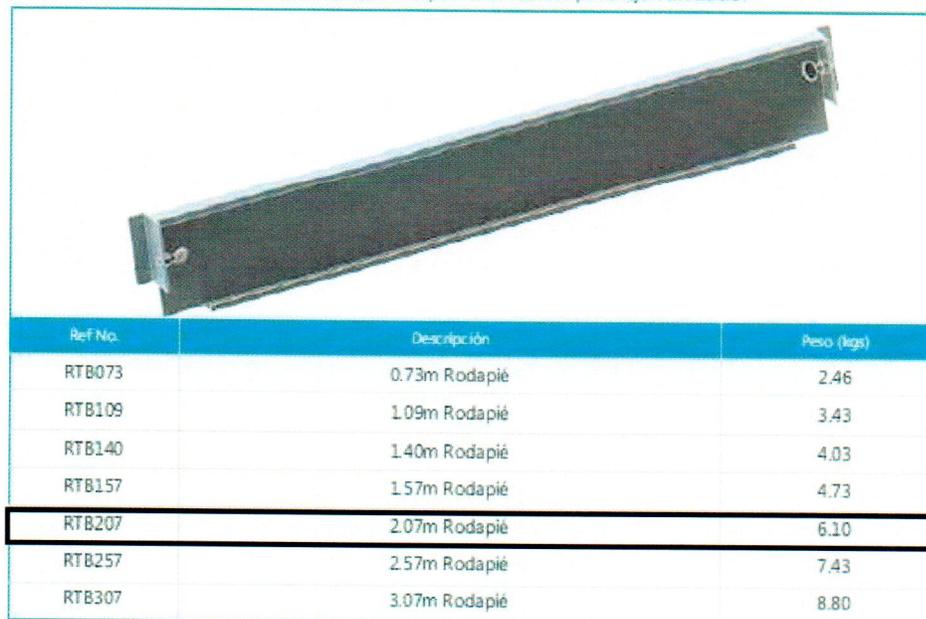


Figura 6.7: Rodapié de acero tipo. El utilizado en los ensayos, se encuentra dentro del cuadro negro.

Es de importancia mencionar que en el catálogo enviado por el mandante las piezas que componen los andamios están denominadas según su posición dentro de un cuerpo de andamio, por ejemplo, los travesaños, en el catálogo están denominados como horizontal, las barandas como diagonales, etc. Dado lo anterior, la Tabla 6.1, relaciona el nombre del elemento utilizado en catálogo con la funcionalidad de estos elementos en los ensayos. (nombre del elemento para efectos de ensayo).

Tabla 6.1: Denominación de los elementos en los ensayos

| Denominación general según catálogo | Denominación del elemento en los ensayos |
|-------------------------------------|--|
| Horizontal RH207 | Baranda |
| Vertical RV66 | Pie derecho |
| Nivelador fijo con base CSJB | Base regulable |
| Plataforma metálica ROSP32307 | Tablón |
| Horizontal RH157 | Travesaño |
| Collarín RSC-L | Collarín |
| Rodapié de acero RTB207 | Rodapié |
| Diagonal RDB207 | Diagonal |

Desde la Fotografía 6.1 hasta la 6.10, se muestran los elementos del sistema de andamio multidireccional



Fotografía 6.1: Vista general baranda.



Fotografía 6.2: Detalle de un extremo de barandas.



Fotografía 6.3: Vista general Pie derecho (Vertical).



Fotografía 6.4: Detalle de roseta.



Fotografía 6.5: Vista General de base regulable con nivelador en su altura en su posición mínima.



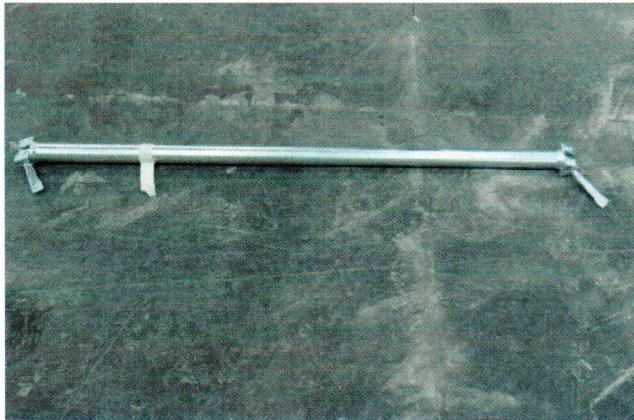
Fotografía 6.6: Vista general de base regulable, con nivelador en su altura máxima (tope soldadura en hilo).



Fotografía 6.7: Vista general tablón (Plataforma metálica).



Fotografía 6.8: Detalle de uno de los extremos del tablón.



Fotografía 6.9: Vista General travesaño.



Fotografía 6.10: Detalle de uno de los extremos del travesaño.

Con el objeto de identificar cada una de las probetas ensayadas en cada uno de los ensayos, se presenta en la Figura 6.8 la nomenclatura utilizada en el presente informe.

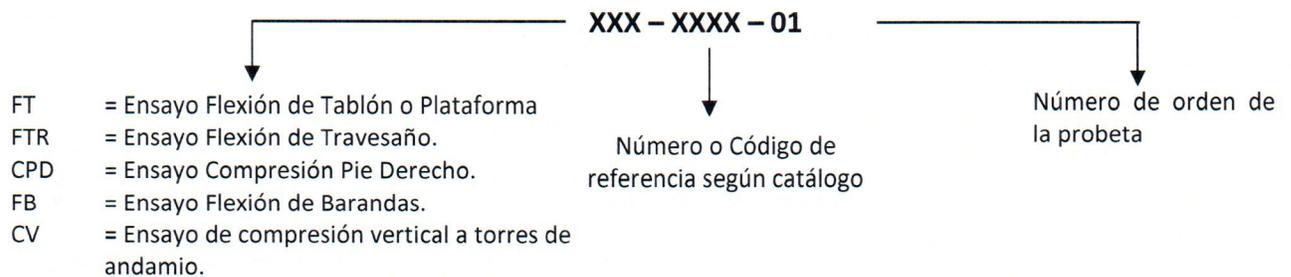


Figura 6.8: Nomenclatura utilizada

7. Metodología y Resultados

7.1 Ensayos de Flexión a barandas de seguridad

7.1.1 Metodología

Las probetas se apoyaron en sus extremos, reproduciendo la forma de montaje que se realiza habitualmente en el andamio, para lo cual se hace uso de pies derechos y travesaños propios del andamio como apoyo, no obstante, dado que la carga es aplicada de manera horizontal en la realidad, se procedió a voltear el cuerpo de andamio para facilitar la ejecución del ensayo. La función de baranda es cumplida por la disposición de una horizontal en la configuración del andamio.

En el ensayo, la carga fue aplicada en el punto central de la luz de la baranda (el cual corresponde al punto más desfavorable), mediante el uso de un gato hidráulico de 5 toneladas de capacidad. Entre el gato hidráulico y la baranda se dispuso una pieza de madera, que tiene la particularidad de un rebaje semicircular de forma tal que permite un ajuste perfecto con la geometría tubular de la baranda. De esta manera la carga aplicada en los ensayos es uniforme en un área de contacto con el perfil y no en un punto, evitando posibles fallas locales que no son representativas de la sollicitación deseada.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia, la falla de algún elemento de la baranda o una deformación excesiva de alguna de sus partes. La deformación se midió mediante tres transductores, uno central y dos laterales ubicados uno a cada extremo de la baranda.

La Figura 7.1.1.1 muestra un esquema explicativo del montaje del ensayo y la Figura 7.1.1.2, muestra un esquema de la instrumentación del ensayo

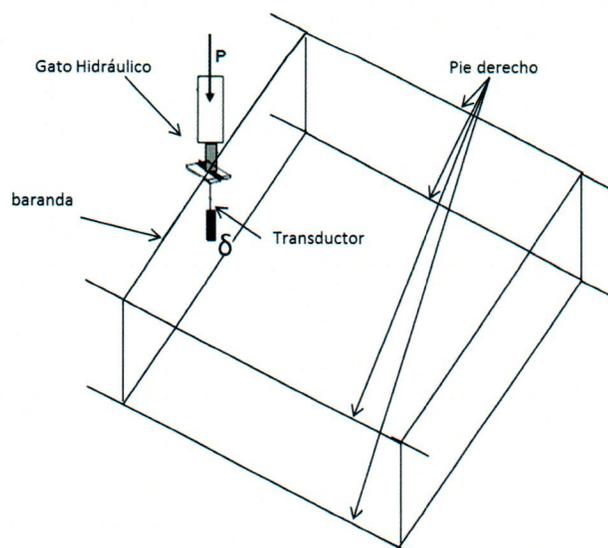


Figura 7.1.1.1: Esquema general del montaje del ensayo.

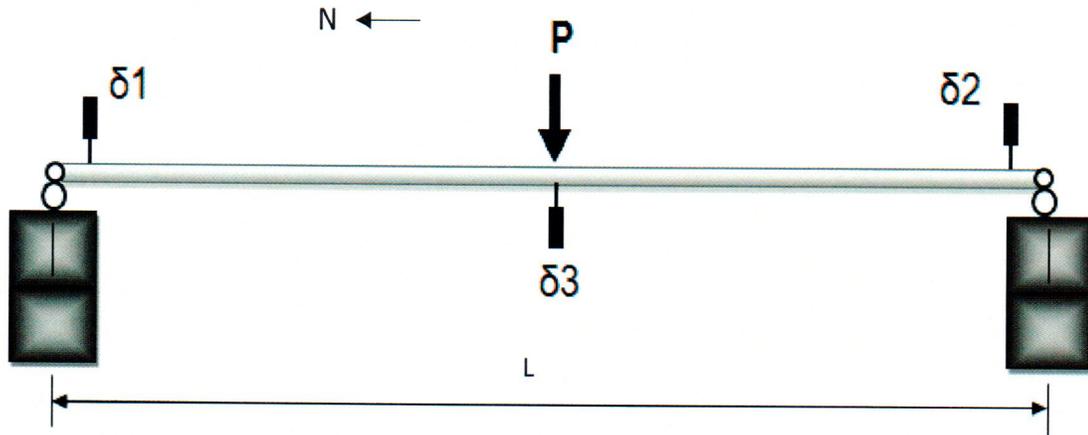
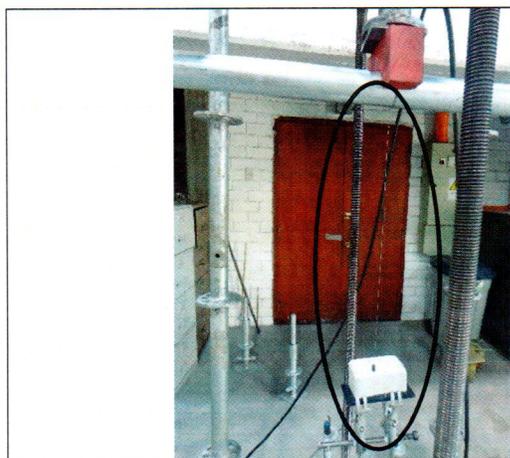


Figura 7.1.1.2: Esquema general de la instrumentación del ensayo.

La Fotografía 7.1.1.1 presenta una vista general del montaje del ensayo, mientras que en la Fotografía 7.1.1.2 se puede observar el detalle del apoyo del gato hidráulico al centro de la baranda. Las Fotografías 7.1.1.3 y 7.1.1.4, muestran los sensores de deformación utilizados.

| | |
|---|---|
|  |  |
| <p>Fotografía 7.1.1.1: Vista General del montaje del ensayo</p> | <p>Fotografía 7.1.1.2: Detalle del apoyo del gato hidráulico ubicado al centro de la baranda.</p> |



Fotografía 7.1.1.3: Transductor utilizado para medir deformación al centro de la baranda (δ_3)



Fotografía 7.1.1.4: Detalle de uno de los transductores utilizados en los extremos de la baranda, se muestra δ_1 .

Durante el ensayo se registró la carga aplicada y la deformación de los sensores instalados mediante un equipo de adquisición de datos marca HBM, modelo QuantumX MX840A (n° de serie 0009E5002703/102), bajo una frecuencia de muestreo de 2 Hz. En la Tabla 7.1.1.1 se detallan los elementos utilizados en el ensayo.

Tabla 7.1.1.1: Descripción de la instrumentación utilizada

| Parámetro | Descripción | Instrumento | Modelo | N° de serie | Capacidad Nominal |
|------------|---------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| P | Medición de carga | Strain Gages Full bridge | KYOWA | 72634001 | 5 ton |
| δ_1 | Deformación Norte | Potenciómetro | Novotechnik | 092797/05 | 100 mm |
| δ_2 | Deformación Sur | Potenciómetro | Novotechnik | 092797/06 | 100 mm |
| δ_3 | Deformación central | Potenciómetro | SLC | B2862114 | 1200mm |

7.1.2 Resultados

La Tabla 7.1.2.1, muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de flexión a barandas. La Tabla presenta la rigidez elástica, las deformaciones absolutas asociadas a los límites de carga que establece la norma, la carga correspondiente al límite elástico, la carga máxima obtenida, la carga sugerida admisible y observaciones.

Respecto a la carga sugerida admisible, se obtiene utilizando un factor de seguridad acorde a la ductilidad observada en las gráficas (probeta FB-RDB207-01 $\mu=3.8$, probeta FB-RDB207-02 $\mu=3.1$ y probeta FB-RDB207-03 $\mu=3.6$). Dado que para todos los casos $\mu > 3$, se evaluará el menor valor entre $P_{max}/2$ y $P_e/1.6$.

Tabla 7.1.2.1: Resumen de resultados

| Probeta | Rigidez asociada al rango elástico de la probeta [kgf/mm] | | Deformación absoluta [mm], bajo una carga de: | | Carga límite elástico Pe [kgf] | Carga máxima del ensayo P _{max} [kgf] | Carga admisible sugerida [kgf] | Observaciones |
|-----------------|---|-------------|---|------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|
| | Absoluta | Relativa | 0.3 KN | 1.25 KN | | | | |
| FB RDB207 01 | 13.4 | 14.8 | 2.0 | 8.9 | 509 | 683 | 318 | <ul style="list-style-type: none"> Se obtuvieron grandes deformaciones durante el ensayo (ver Fotografía 7.1.2.1) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.1.2.2) Cumple con los límites exigidos por la norma (ver Gráfico 7.1.2.1) |
| FB RDB207 02 | 13.5 | 15.3 | 2.1 | 8.9 | 630 | 770 | 385 | <ul style="list-style-type: none"> Se obtuvieron grandes deformaciones durante el ensayo (ver Fotografía 7.1.2.3) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.1.2.4) Cumple con los límites exigidos por la norma (ver Gráfico 7.1.2.3) |
| FB RDB207 03 | 13.5 | 15.2 | 2.0 | 9.1 | 555 | 744 | 347 | <ul style="list-style-type: none"> Se obtuvieron grandes deformaciones durante el ensayo (ver Fotografía 7.1.2.5) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.1.2.6) Cumple con los límites exigidos por la norma (ver Gráfico 7.1.2.5) |
| Promedio | 13.5 | 15.1 | 2.1 | 9.0 | 565 | 732 | 350 | <ul style="list-style-type: none"> Las barandas ensayadas satisfacen los requerimientos señalados en la norma NCh2501/2, sección 5.4, puesto que la flecha elástica es menor a 35 mm para una carga puntual de 0.3 kN (≈30 kgf) y para una carga puntual de 1.25 kN (≈125 kgf) no se apreció ni rotura o desmontaje de ella ni se produjo desplazamiento en cualquier punto mayor a 200 mm con relación a la posición original. |
| Desv. Est. | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 61 | 45 | 34 | |

Los Gráficos 7.1.2.1, 7.1.2.3 y 7.1.2.5, muestran las curvas de comportamiento de las probetas ensayas, en dichos Gráficos se presentan las curvas de carga aplicada vs deformación central absoluta y relativa, las curvas elásticas y la recta correspondiente al límite elástico para la deformación relativa. Además, se presentan rectas horizontales correspondientes a los límites impuestos por la norma NCh2501/2, como puntos de control para el cumplimiento del elemento baranda.

Los Gráficos 7.1.2.2, 7.1.2.4 y 7.1.2.6, muestran las curvas carga aplicada vs deformación en los apoyos.

Notar que la deformación relativa final entrega la deformación residual de la baranda sin contar los efectos de la plastificación de las pletinas de fijación. La Figura 7.1.2.1 presenta un esquema del funcionamiento de estas variables.

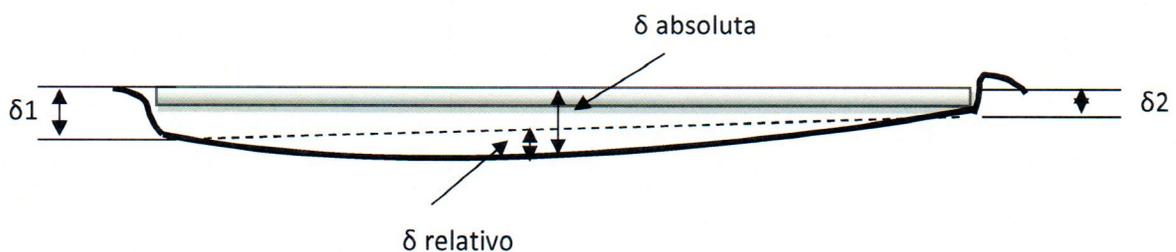


Figura 7.1.2.1 Deformaciones relativas a los bordes y absolutas para la baranda ensayada a flexión.

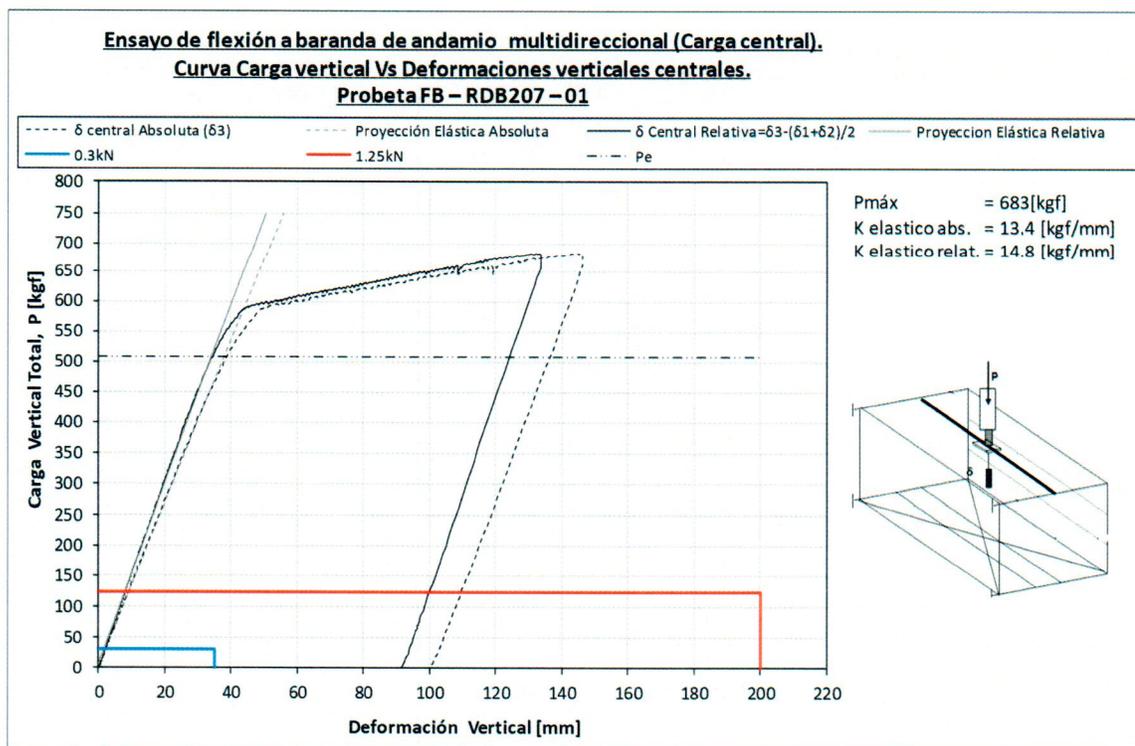


Gráfico 7.1.2.1

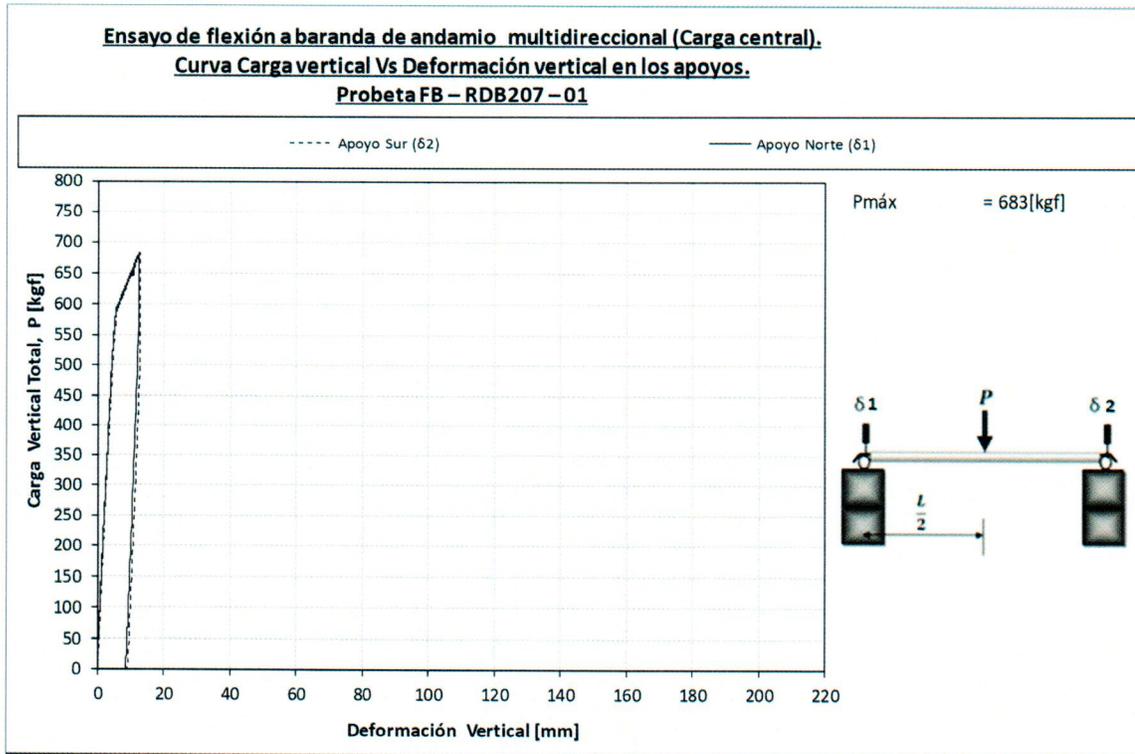


Grafico 7.1.2.2

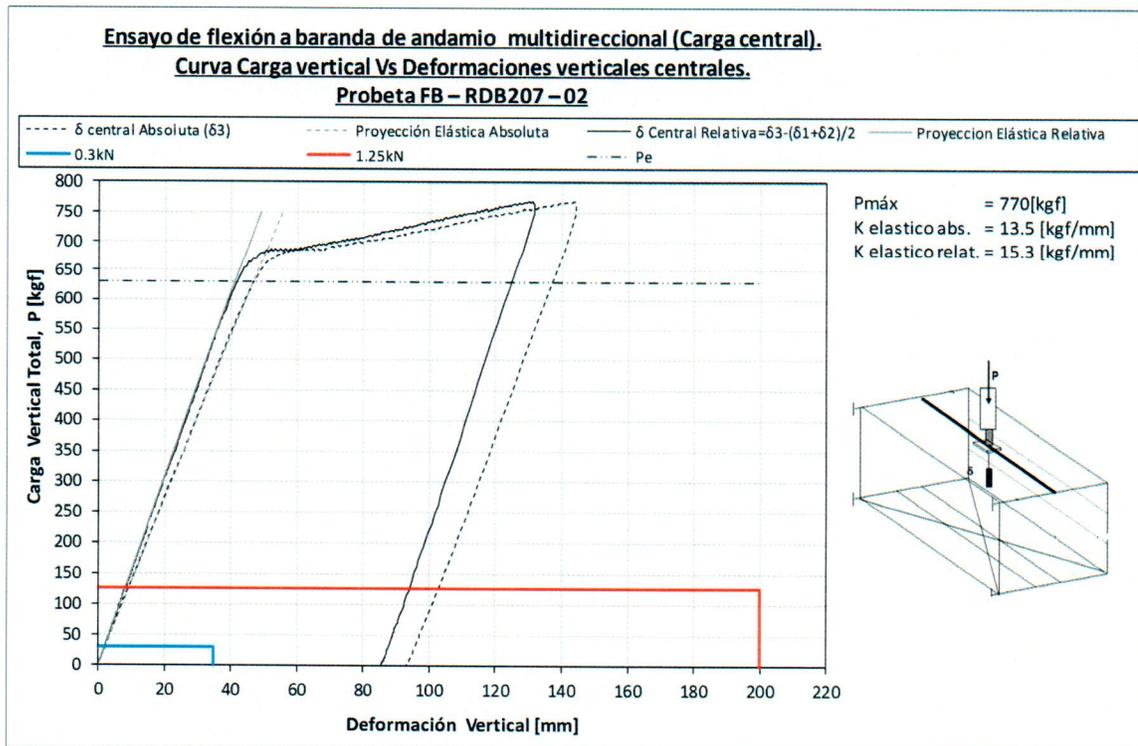


Grafico 7.1.2.3

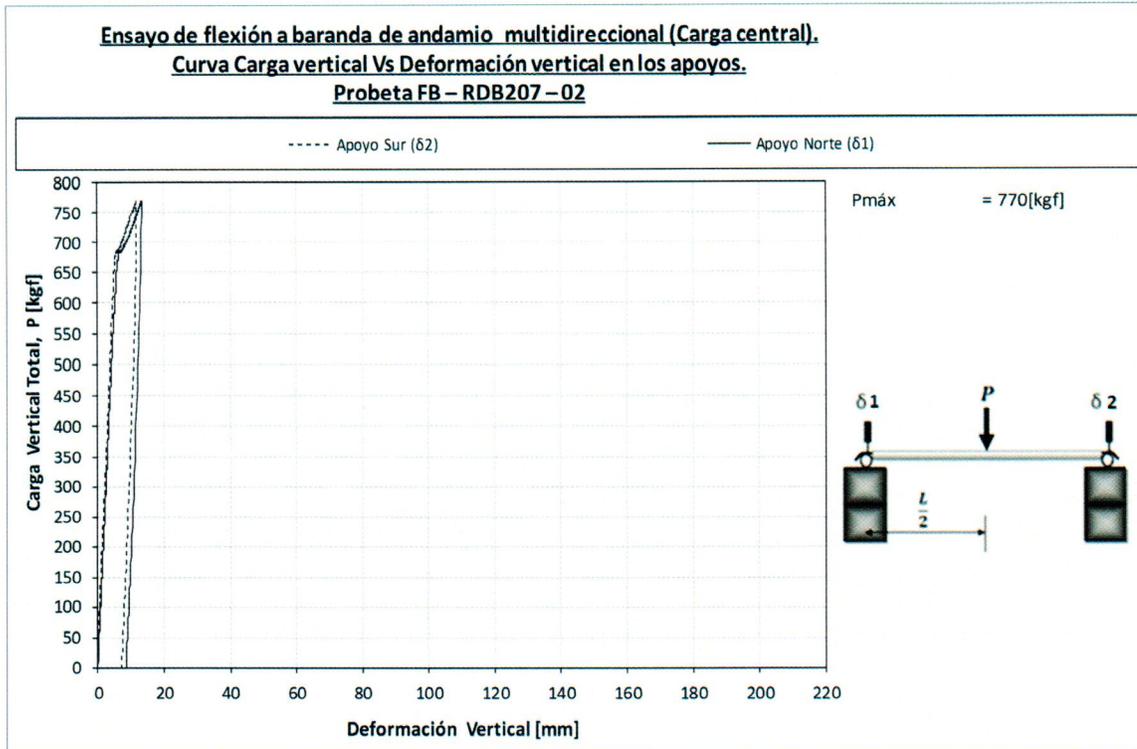


Grafico 7.1.2.4

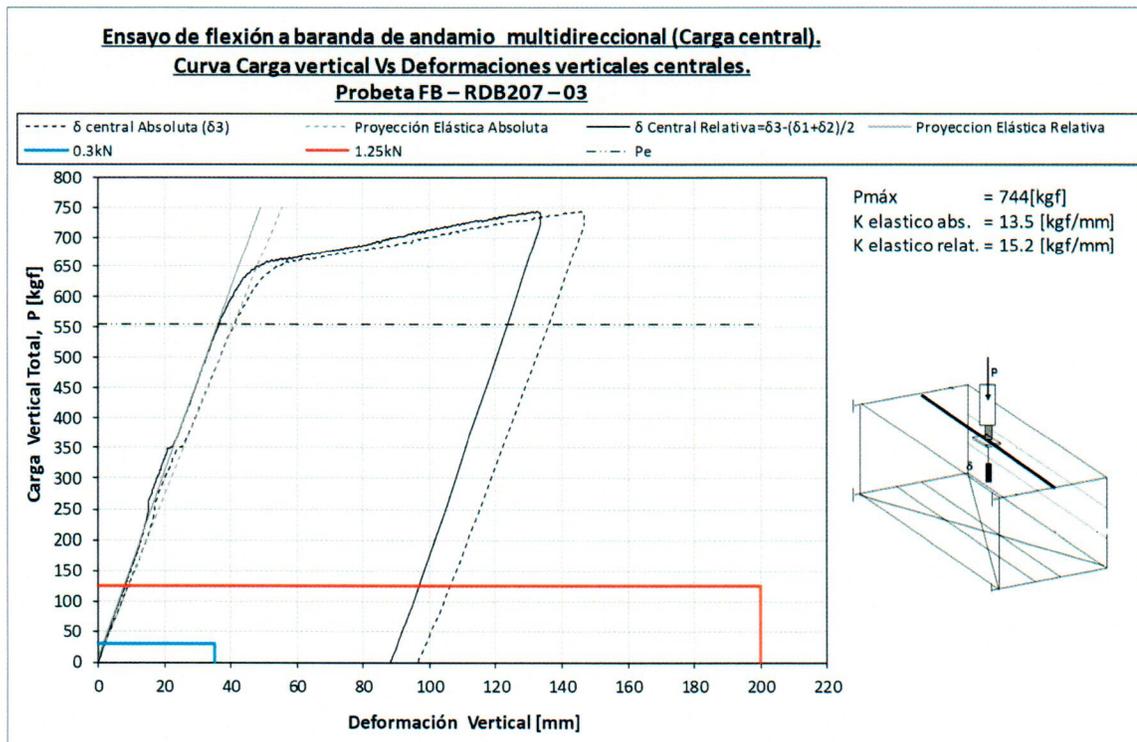


Grafico 7.1.2.5

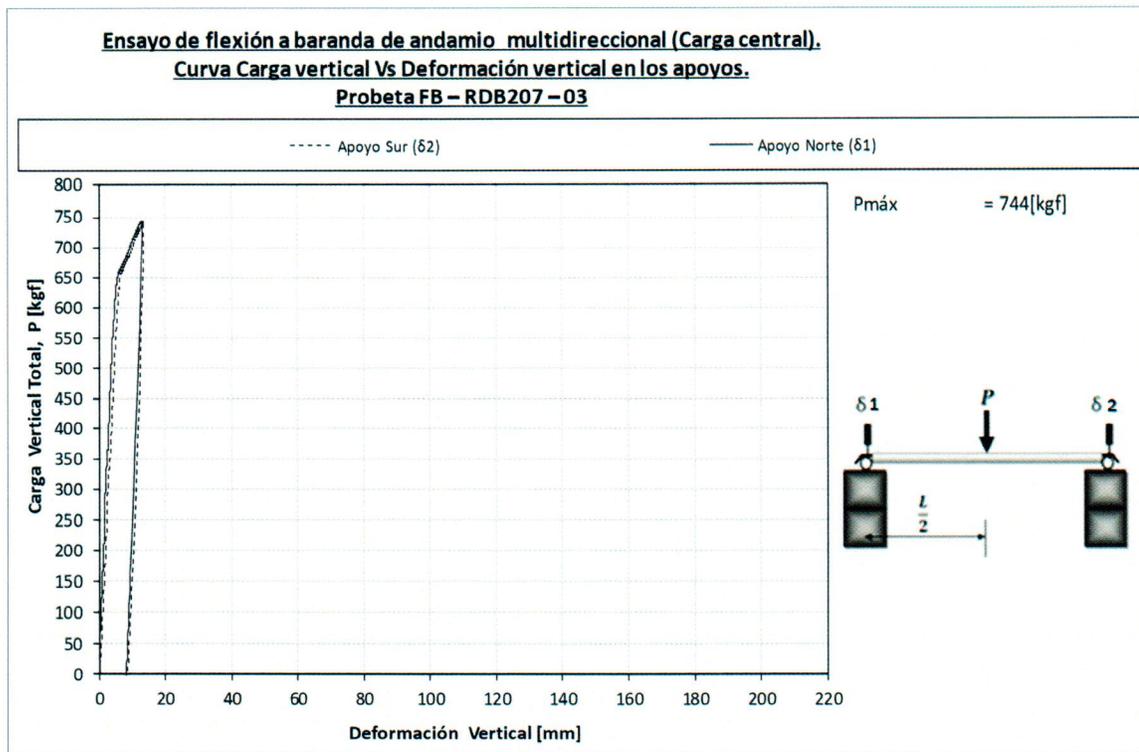
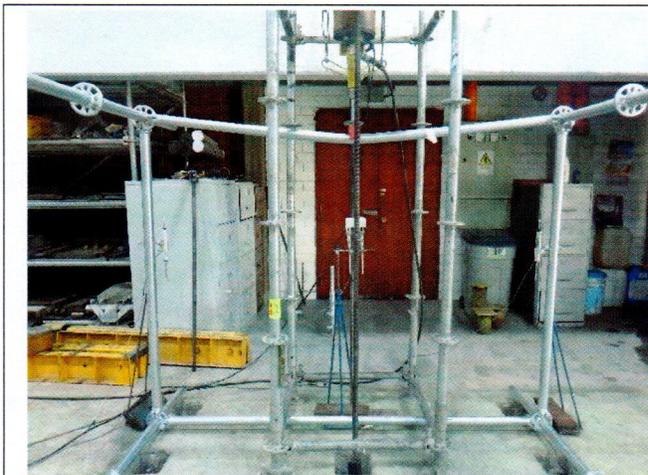


Grafico 7.1.2.6

Desde la Fotografía 7.1.2.1 hasta la 7.1.2.6, se muestran imágenes de las probetas durante el ensayo y una vez terminado el ensayo, en las fotografías se puede apreciar las grandes deformaciones alcanzadas durante los ensayos y la plastificación de las probetas.



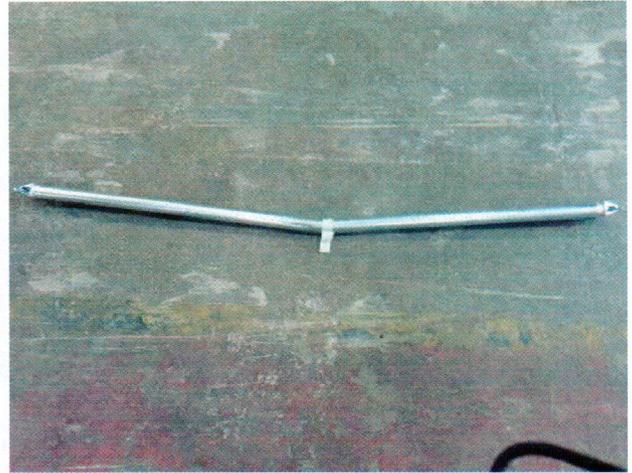
Fotografía 7.1.2.1: Probeta FB-RDB207-01 durante el ensayo



Fotografía 7.1.2.2: Plastificación probeta FB-RDB207-01



Fotografía 7.1.2.3: Probeta FB-RDB207-02 durante el ensayo



Fotografía 7.1.2.4: Plastificación probeta FB-RDB207-02



Fotografía 7.1.2.5: Probeta FB-RDB207-03 durante el ensayo



Fotografía 7.1.2.6: Plastificación probeta FB-RDB207-03

7.2 Ensayo de Compresión a Pie Derecho

7.2.1 Metodología

Las tres probetas de 2 metros de longitud, fueron ensayados a compresión axial. Durante el ensayo, se incrementa la carga axial en forma monótonica creciente hasta alcanzar la falla. La carga es aplicada mediante un gato hidráulico de 25 toneladas de capacidad, dentro de un marco de reacción.

Se midieron las deformaciones experimentadas para distintos niveles de carga mediante 4 sensores de deformación, los cuales se disponen de la siguiente forma:

- 2 transductores a ambos lados de la altura del pie derecho, midiendo la deformación axial (δ_3 y δ_4) en la longitud total
- 2 transductores horizontales (δ_1 y δ_2), situados a la mitad de altura, para medir deformaciones de pandeo del pie derecho según dos direcciones ortogonales entre sí, como se muestra en la Figura 7.2.1.1

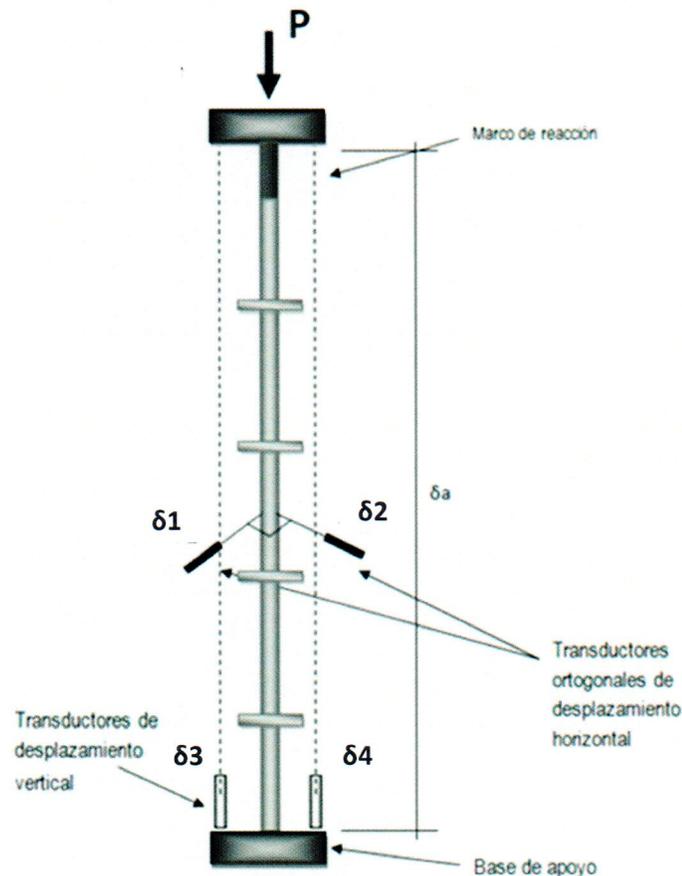
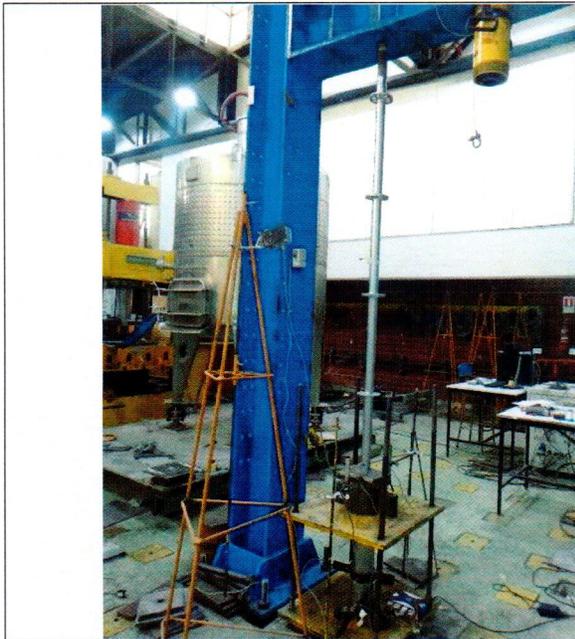


Figura 7.2.1.1: Esquema general del montaje e instrumentación del ensayo

La Fotografía 7.2.1.1, presenta una vista general del montaje e instrumentación del ensayo, la Fotografía 7.2.1.2, muestra el gato hidráulico utilizado y las Fotografías 7.2.1.3 y 7.2.1.4 muestran imágenes de los sensores utilizados para medir deformación axial y pandeo.



Fotografía 7.2.1.1: Vista General del montaje del ensayo



Fotografía 7.2.1.2: Detalle del apoyo del gato hidráulico



Fotografía 7.2.1.3: Sensores de deformación axial



Fotografía 7.2.1.4: Sensores de pandeo

Durante el ensayo se registró la carga aplicada y la deformación de los transductores instalados mediante un equipo de adquisición de datos marca HBM, modelo QuantumX MX840A (n° de serie 0009E5002703/102), bajo una frecuencia de muestreo de 2 Hz. En la Tabla 7.1.1.1 se detallan los elementos utilizados en el ensayo.

Tabla 7.1.1.1: Descripción de la instrumentación utilizada

| Parámetro | Descripción | Instrumento | Modelo | N° de serie | Capacidad Nominal |
|------------|---------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| P | Medición de carga | Strain Gages Full bridge | KYOWA | 72635001 | 20 ton |
| δ_1 | Def. pandeo sur | Potenciómetro | SLC | B2861541 | 500mm |
| δ_2 | Def. pandeo oriente | Potenciómetro | SLC | B2862115 | 1200mm |
| δ_3 | Def. axial oriente | Potenciómetro | Novotechnik | 023264/02 | 100 mm |
| δ_4 | Def. axial poniente | Potenciómetro | Novotechnik | 033254/03 | 100 mm |

7.2.2 Resultados

La Tabla 7.2.2.1, muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de compresión a pie derecho. La Tabla presenta la rigidez elástica, la deformación axial asociada a la carga máxima, la carga correspondiente al límite elástico, la carga máxima alcanzada, la carga sugerida admisible y observaciones.

Respecto a la carga sugerida admisible, se obtiene utilizando un factor de seguridad acorde a la ductilidad observada en las gráficas (probeta CPD-RD66-01 $\mu=1.1$, probeta CPD-RD66-02 $\mu=1.1$ y probeta CPD-RD66-03 $\mu=1.1$). Dado que $\mu < 2$ y el comportamiento axial es frágil, se evaluará el menor valor entre $P_{max}/3$ y $P_e/2$ (P_e = carga elástica).

Tabla 7.2.2.1: Resumen de resultados

| Probeta | Rigidez axial elástica [kgf/mm] | Deformación axial [mm], asociada a P_{max} | Carga límite elástico P_e [kgf] | Carga máxima del ensayo P_{max} [kgf] | Carga admisible sugerida [kgf] | Observaciones |
|-----------------|---------------------------------|--|-----------------------------------|---|--------------------------------|--|
| CPD-RD66-01 | 2057.4 | 5.8 | 10908 | 11076 | 3692 | <ul style="list-style-type: none"> Falla Frágil de Pandeo (ver Fotografía 7.2.2.1) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.2.2.2) |
| CPD-RD66-02 | 2222.2 | 5.6 | 11492 | 11623 | 3874 | <ul style="list-style-type: none"> Falla Frágil de Pandeo (ver Fotografía 7.2.2.3) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.2.2.4) |
| CPD-RD66-03 | 1647.8 | 6.5 | 9748 | 9890 | 3297 | <ul style="list-style-type: none"> Falla Frágil de Pandeo (ver Fotografía 7.2.2.5) Plastificación de la probeta (ver Fotografía 7.2.2.6) |
| Promedio | 1975.8 | 6.0 | 10716 | 10863 | 3621 | <ul style="list-style-type: none"> Se observa el mismo comportamiento en las tres probetas ensayadas |
| Desv. Est. | 295.8 | 0.5 | 888 | 886 | 295 | |

Los Gráficos 7.2.2.1, 7.2.2.2 y 7.2.2.3, muestran las curvas de comportamiento de las probetas ensayadas, en dichos Gráficos se presentan las curvas de carga aplicada vs deformación axial y lateral (pandeo), la pendiente elástica obtenida con la rigidez en la zona elástica lineal y la recta correspondiente al límite elástico

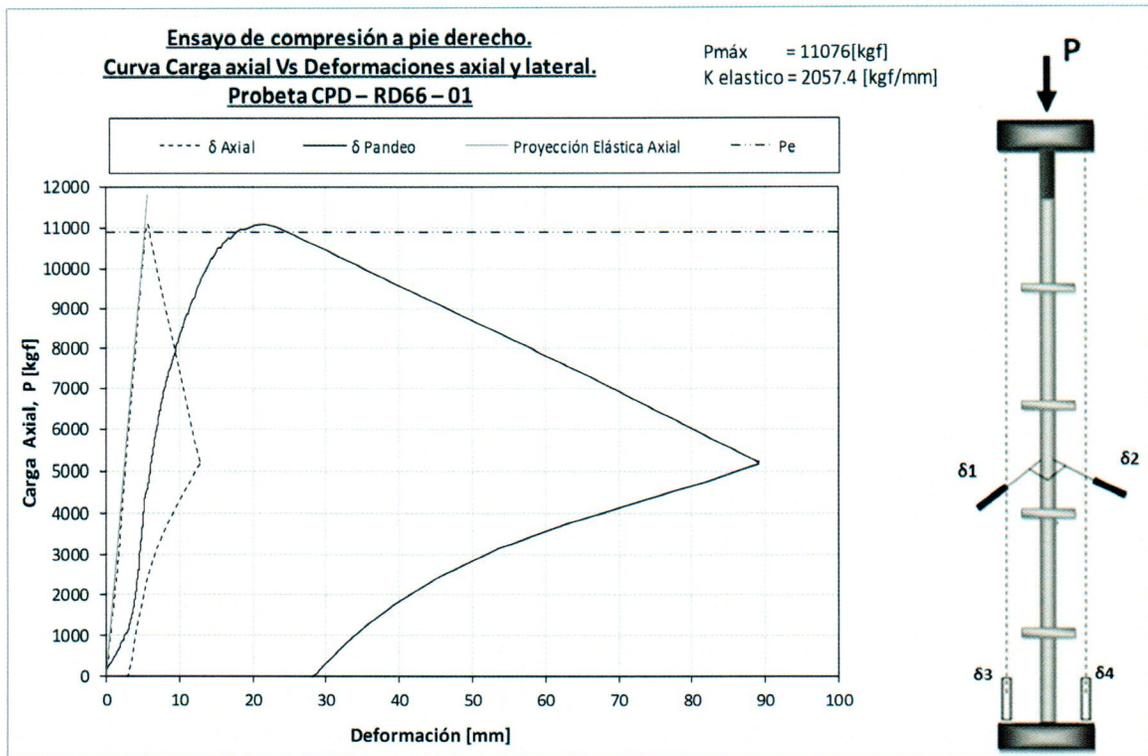


Grafico 7.2.2.1

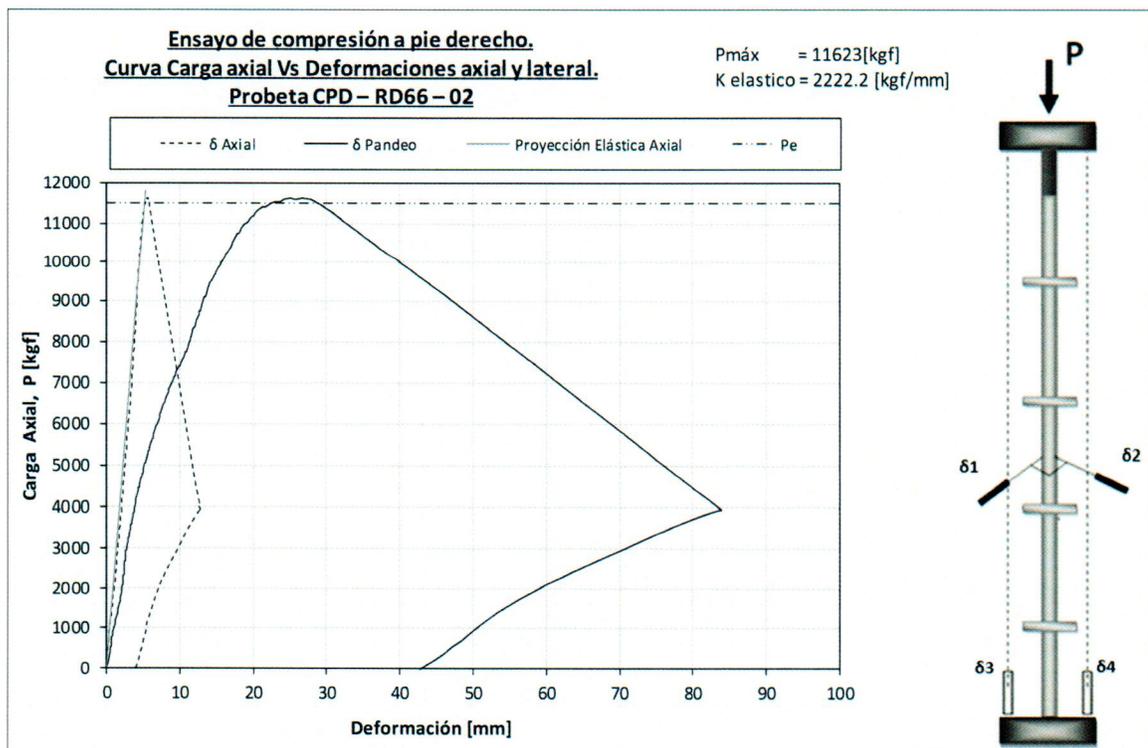


Grafico 7.2.2.2

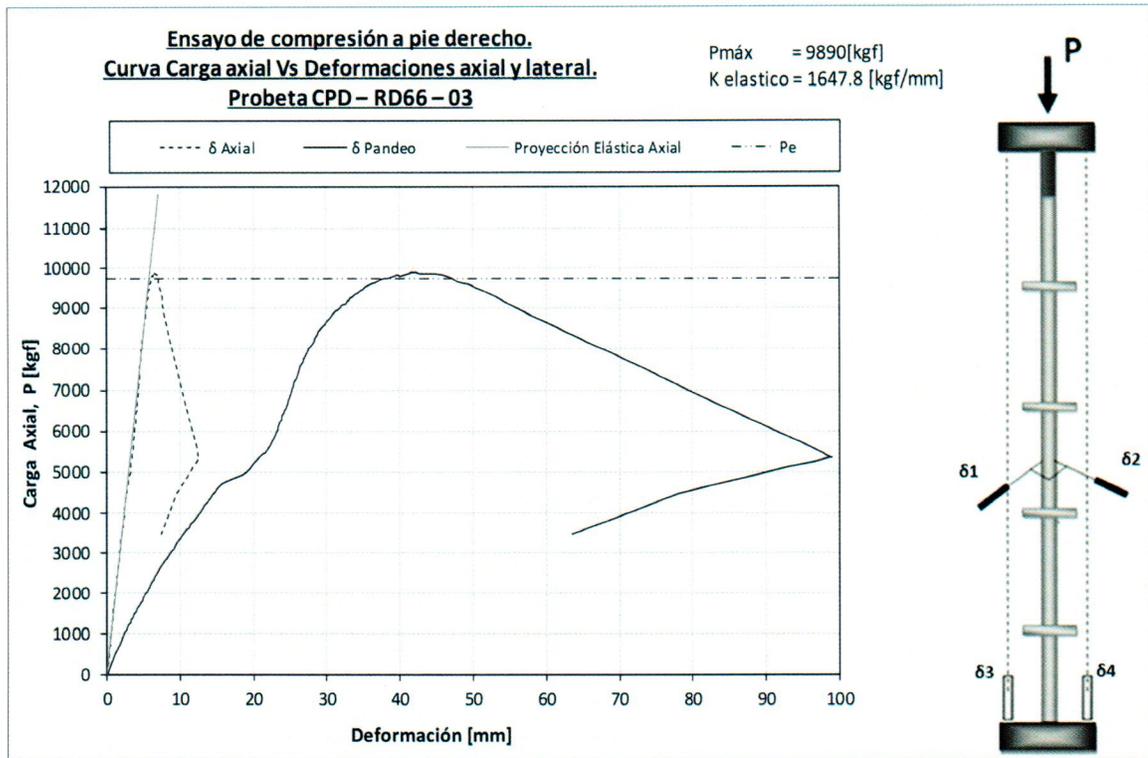
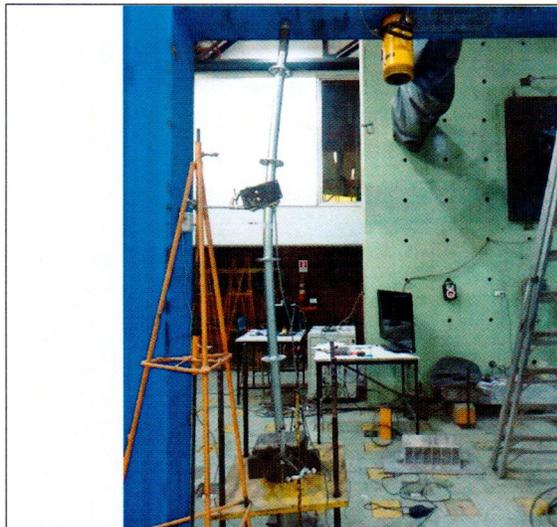


Grafico 7.2.2.3

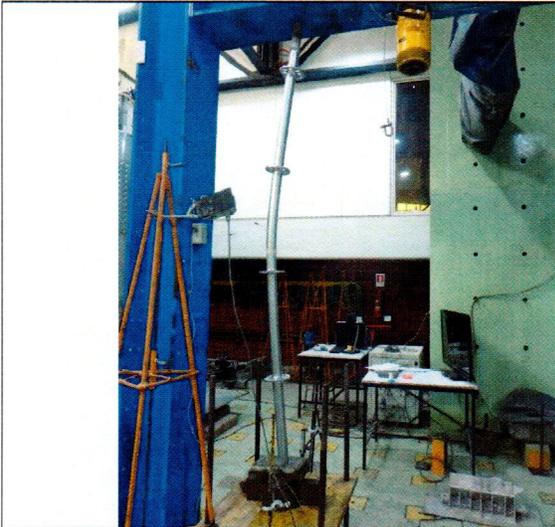
Desde la Fotografía 7.2.2.1 hasta la 7.2.2.6, se muestran imágenes de las probetas durante el ensayo y una vez terminado el ensayo, en las fotografías se puede apreciar la falla por pandeo y plastificación de las probetas.



Fotografía 7.2.2.1: Probeta CPD-RD66-01 durante el ensayo



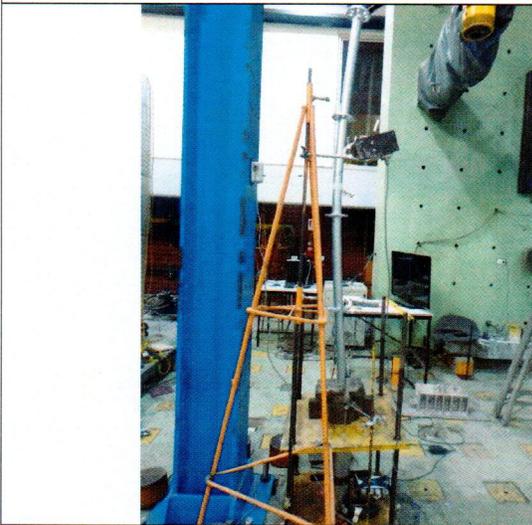
Fotografía 7.2.2.2: Plastificación probeta CPD-RD66-01



Fotografía 7.2.2.3: Probeta CPD-RD66-02 durante el ensayo



Fotografía 7.2.2.4: Plastificación probeta CPD-RD66-02



Fotografía 7.2.2.5: Probeta CPD-RD66-03 durante el ensayo



Fotografía 7.2.2.6: Plastificación probeta CPD-RD66-03

7.3 Ensayo de compresión axial sobre base regulable

7.3.1 Metodología

Las bases regulables fueron ensayadas a compresión axial, utilizando un trozo de perfil tubular, en su parte superior, para simular el traspaso de tensiones normal que sufre este elemento durante su utilización. Para los ensayos, se ubicó la tuerca niveladora a la altura máxima (condición más desfavorable). El trozo tubular fue cortado perfectamente recto y ortogonal al eje del perfil, apoyado directamente sobre la superficie de carga, sin uso de bases extra.

La carga fue aplicada mediante un actuador Enerpac de 150ton de capacidad. La carga fue registrada mediante el control de presión hidráulica y un gato auxiliar de 5 ton sobre una celda. Durante el ensayo se registró la deformación axial poniendo dos transductores (δ_1 y δ_2), uno en cada mango de la tuerca con hilo. La Figura 7.3.1.1., muestra un esquema general del ensayo.

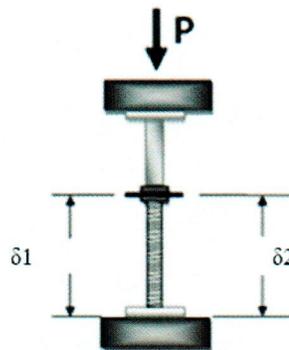


Figura 7.3.1.1. Esquema ensayo compresión axial a base regulable.

La Fotografía 7.3.1.1, presenta una vista general del montaje e instrumentación del ensayo, y la Fotografía 7.3.1.2, muestra los sensores de deformación utilizados en el ensayo.



Fotografía 7.3.1.1: Vista General del montaje del ensayo



Fotografía 7.3.1.2: Sensores de deformación utilizados

Durante el ensayo se registró la carga aplicada y la deformación de los transductores instalados mediante un equipo de adquisición de datos marca HBM, modelo QuantumX MX840A (n° de serie 0009E5002703/102), bajo una frecuencia de muestreo de 50 Hz. La Tabla 7.3.1.1, muestra los elementos utilizados en el ensayo.

Tabla 7.3.1.1: Descripción de la instrumentación utilizada

| Parámetro | Descripción | Instrumento | Modelo | N° de serie | Capacidad Nominal |
|------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| P | Medición de carga | Strain Gages Full bridge | HBM C2 | FNB28140 | 5 ton |
| δ_1 | Def. axial 1 | Potenciómetro | Novotechnik | 023264/02 | 100 mm |
| δ_2 | Def. axial 2 | Potenciómetro | Novotechnik | 033264/03 | 100 mm |

7.3.2 Resultados

La Tabla 7.3.2.1, muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos compresión a base regulable. La Tabla presenta la rigidez elástica, la deformación axial asociada a la carga máxima, la carga correspondiente al límite elástico, la carga máxima alcanzada, la carga sugerida admisible y observaciones.

Respecto a la carga sugerida admisible, se obtiene utilizando un factor de seguridad acorde a la ductilidad observada en las gráficas (probeta EBR-CSJB-01 $\mu=2.0$, probeta EBR-CSJB -02 $\mu=1.5$ y probeta EBR-CSJB -03 $\mu=1.6$), dado que en todos los casos la ductilidad de las probetas es menor o igual a 2, se trata de probetas frágiles, por lo cual se utiliza un factor de seguridad igual a 3 (FS=3).

Tabla 7.3.2.1: Resumen de resultados

| Probeta | Rigidez axial elástica [kgf/mm] | Deformación axial [mm], asociada a Pmax | Carga límite elástico Pe [kgf] | Carga máxima del ensayo Pmax [kgf] | Carga admisible sugerida [kgf] | Observaciones |
|-----------------|---------------------------------|---|--------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| EBR-CSJB-01 | 9473.7 | 1.9 | 8888 | 10878 | 3626 | <ul style="list-style-type: none"> Pandeo inelástico (ver Fotografía 7.3.2.2) no se observó ningún tipo de daño local en la tuerca reguladora |
| EBR-CSJB-02 | 9090.9 | 1.6 | 9153 | 10716 | 3572 | <ul style="list-style-type: none"> Pandeo inelástico (ver Fotografía 7.3.2.4) no se observó ningún tipo de daño local en la tuerca reguladora |
| EBR-CSJB-03 | 9708.7 | 1.8 | 9963 | 12252 | 4084 | <ul style="list-style-type: none"> Pandeo inelástico (ver Fotografía 7.3.2.6) no se observó ningún tipo de daño local en la tuerca reguladora |
| Promedio | 9424.4 | 1.8 | 9335 | 11282 | 3761 | <ul style="list-style-type: none"> Se observa el mismo comportamiento en las tres probetas ensayadas |
| Desv. Est. | 311.8 | 0.2 | 560 | 844 | 281 | |

Los Gráficos 7.3.2.1, 7.3.2.2 y 7.3.2.3, muestran las curvas de comportamiento de las probetas ensayadas, en ellos se presentan las curvas de carga aplicada vs deformación axial, la pendiente elástica obtenida con la rigidez en la zona elástica lineal y la recta correspondiente al límite elástico

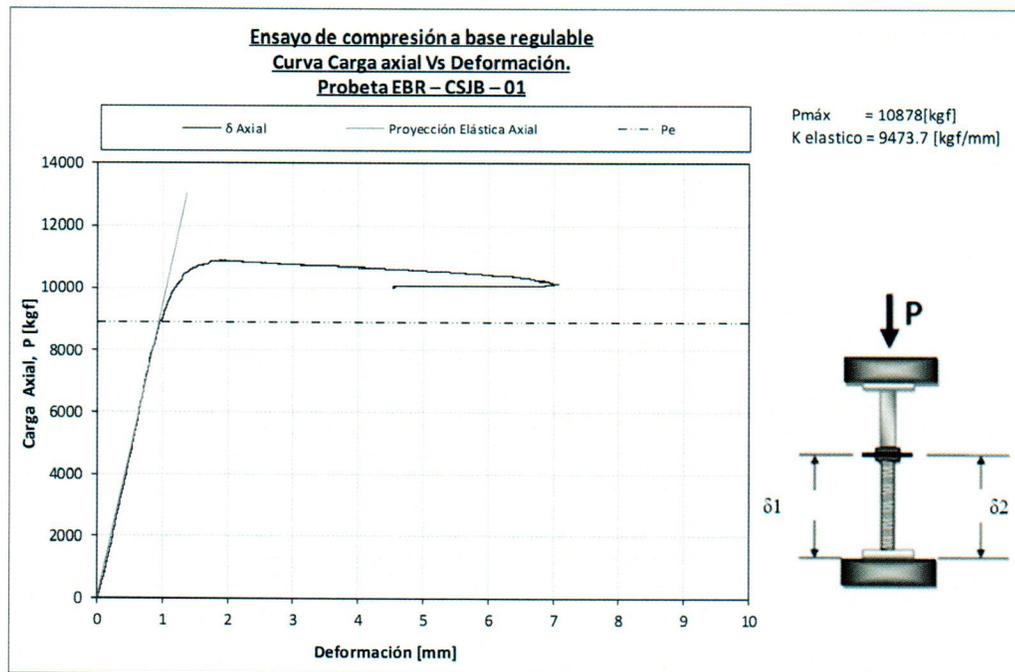


Grafico 7.3.2.1

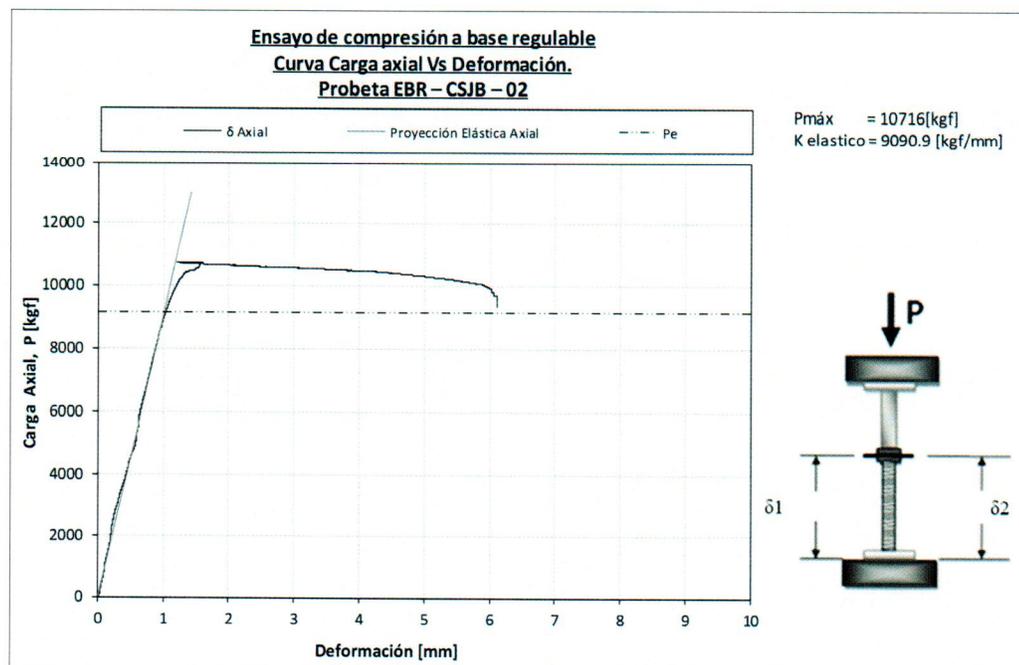


Grafico 7.3.2.2

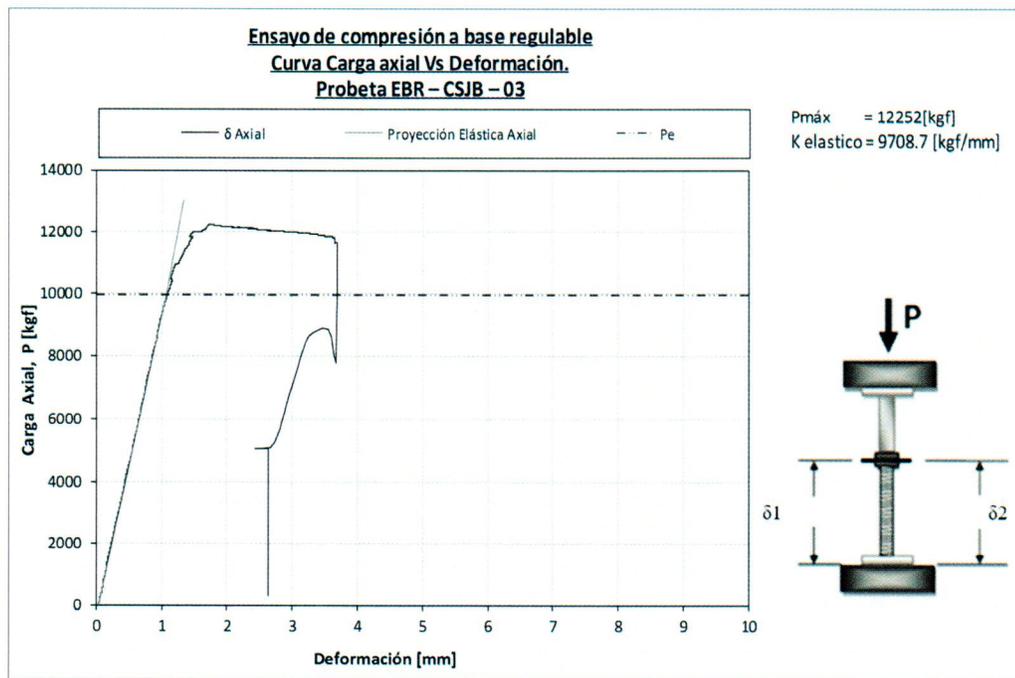
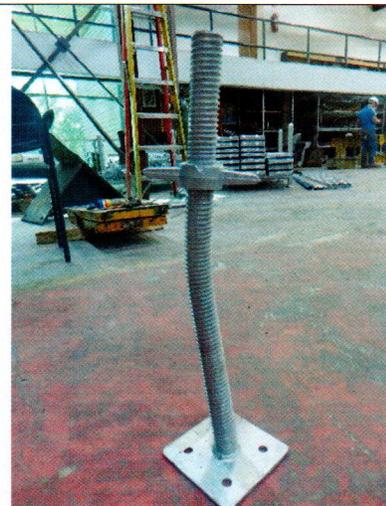


Grafico 7.3.2.3

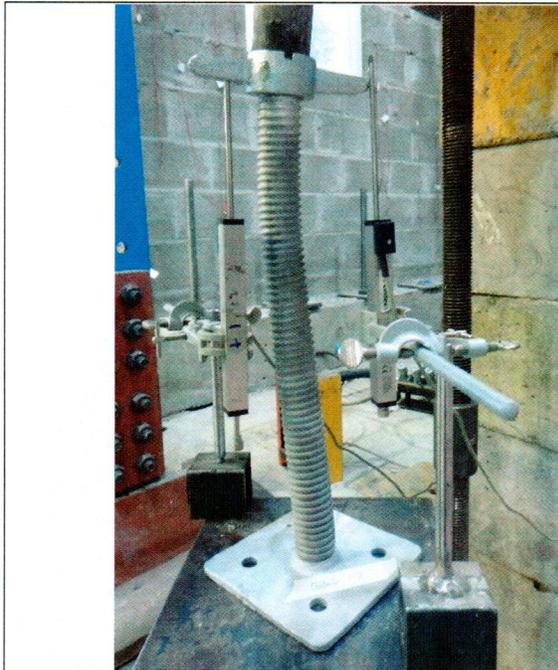
Desde la Fotografía 7.3.2.1 hasta la 7.3.2.6, se muestran imágenes de las probetas durante el ensayo y una vez terminado el ensayo, en las fotografías se puede apreciar la falla y plastificación de las probetas.



Fotografía 7.3.2.1: Probeta EBR-CSJB-01 durante el ensayo



Fotografía 7.3.2.2: Plastificación probeta EBR-CSJB-01



Fotografía 7.3.2.3: Probeta EBR-CSJB-02 durante el ensayo



Fotografía 7.3.2.4: Plastificación probeta EBR-CSJB-02



Fotografía 7.3.2.5: Probeta EBR-CSJB-03 durante el ensayo



Fotografía 7.3.2.6: Plastificación probeta EBR-CSJB-03

7.4 Ensayo de flexión a tablón metálico

7.4.1 Metodología

Las probetas se apoyaron en sus extremos, reproduciendo la forma de montaje que se realiza habitualmente en los andamios. En los ensayos, la carga fue aplicada en los cuartos de la luz libre, mediante el uso de dos gatos hidráulicos de 5 toneladas de capacidad. Para distribuir la carga en todo el ancho del tablón y evitar concentración de tensiones debido a la irregularidad de la superficie se utiliza en cada punto de aplicación una placa de acero y una placa de poliestireno de alta densidad, estos últimos orientados transversalmente.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla del tablón. La deformación se midió mediante dos sensores de deformación, ubicados al centro de la probeta y dos ubicados en cada extremo del tablón con el objeto de poder obtener la deformación neta del punto central del mismo. El esquema del ensayo de las probetas sometidas a flexión simple se muestra en la Figura 7.4.1.1.

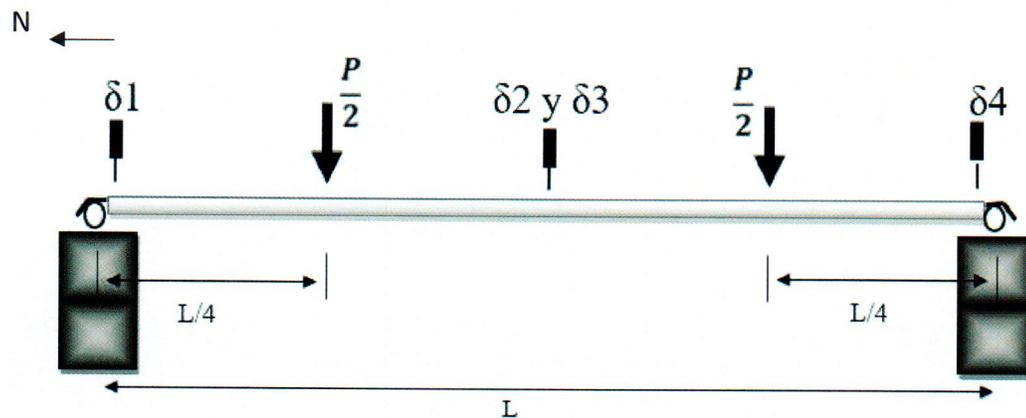
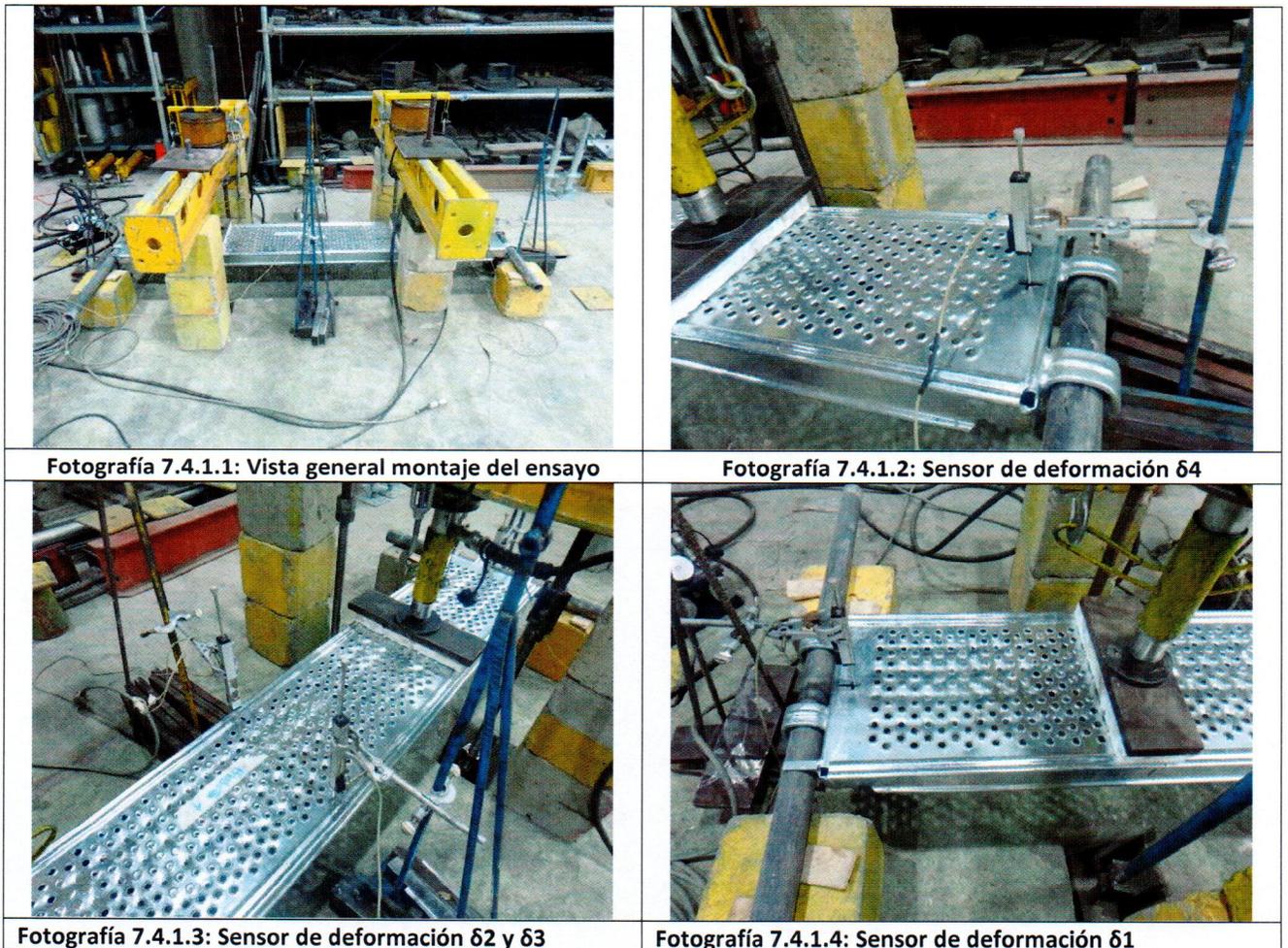


Figura 7.4.1.1. Esquema ensayo a flexión de tablon.

Desde la Fotografía 7.4.1.1 hasta la 7.4.1.4, se muestran imágenes del montaje del ensayo y de la instrumentación utilizada.



Tanto los desplazamientos como la carga fueron registrados mediante un equipo de adquisición de datos digital, marca HBM, modelo QuantumX MX840A (n° de serie 0009E5002703/102), bajo una frecuencia de muestreo de 2Hz. La Tabla 7.4.1.1, muestra los elementos utilizados en el ensayo.

Tabla 7.4.1.1: Descripción de la instrumentación utilizada

| Parámetro | Descripción | Instrumento | Modelo | N° de serie | Capacidad Nominal |
|------------|-------------------|--------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| P | Medición de carga | Strain Gages Full bridge | KYOWA | 72634001 | 5 ton |
| δ_1 | Apoyo norte | Potenciómetro | Novotechnik | 107759/06 | 50 mm |
| δ_2 | Centro oriente | Potenciómetro | Novotechnik | 023264/03 | 100 mm |
| δ_3 | Centro poniente | Potenciómetro | Novotechnik | 023264/02 | 100 mm |
| δ_4 | Apoyo sur | Potenciómetro | Novotechnik | 107759/08 | 50 mm |

7.4.2 Resultados

La Tabla 7.4.2.1, muestra un resumen de los resultados obtenidos de los ensayos de flexión a tablón. La Tabla presenta la rigidez elástica absoluta y relativa, la carga correspondiente al límite elástico, la carga máxima obtenida, la carga sugerida admisible y observaciones.

Respecto a la carga sugerida admisible, se obtiene utilizando un factor de seguridad acorde a la ductilidad observada en las gráficas (probeta FT-ROSP32207-01 $\mu=1.8$, probeta FT-ROSP32207-02 $\mu=1.9$ y probeta FT-ROSP32207-03 $\mu=2.2$), donde se evaluará el menor valor entre $P_{max}/3$ y $P_e/2$ (P_e = carga elástica).

Tabla 7.4.2.1: Resumen de resultados

| Probeta | Rigidez asociada al rango elástico de la probeta [kgf/mm] | | Carga límite elástico P_e [kgf] | Carga máxima del ensayo P_{max} [kgf] | Carga admisible sugerida [kgf] | Observaciones |
|-----------------|---|----------|-----------------------------------|---|--------------------------------|---|
| | Absoluta | Relativa | | | | |
| FT-ROSP32207-01 | 68.2 | 84.2 | 1707 | 2197 | 732 | • Pandeo inelástico local de la placa superior (ver Fotografía 7.4.2.2) |
| FT-ROSP32207-02 | 70.0 | 85.9 | 1692 | 2205 | 735 | • Pandeo inelástico local de la placa superior (ver Fotografía 7.4.2.4) |
| FT-ROSP32207-03 | 65.8 | 79.4 | 1528 | 2154 | 718 | • Pandeo inelástico local de la placa superior (ver Fotografía 7.4.2.6) |
| Promedio | 68.0 | 83.2 | 1642 | 2185 | 728 | • Se observa el mismo comportamiento en las tres probetas ensayadas |
| Desv. Est. | 2.1 | 3.4 | 99 | 27 | 9 | |

Los Gráficos 7.4.2.1, 7.4.2.3 y 7.4.2.5, muestran las curvas de comportamiento de las probetas ensayas, en dichos Gráficos se presentan las curvas de carga aplicada vs deformación central absoluta y relativa, las curvas elásticas y la recta correspondiente al límite elástico para la deformación relativa.

Los Gráficos 7.4.2.2, 7.4.2.4 y 7.4.2.6, muestran las curvas carga aplicada vs deformación en los apoyos.

Notar que la deformación relativa entrega la deformación residual del tablón sin contar los efectos de la plastificación de las pletinas de fijación. La Figura 7.4.2.1 presenta un esquema del funcionamiento de estas variables.

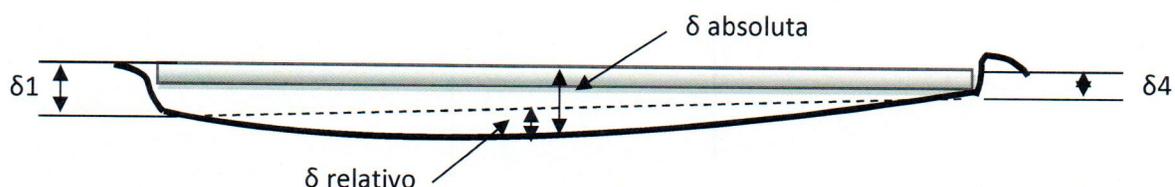


Figura 7.4.2.1 Deformaciones relativas a los bordes y absolutas para el tablón ensayado a flexión.

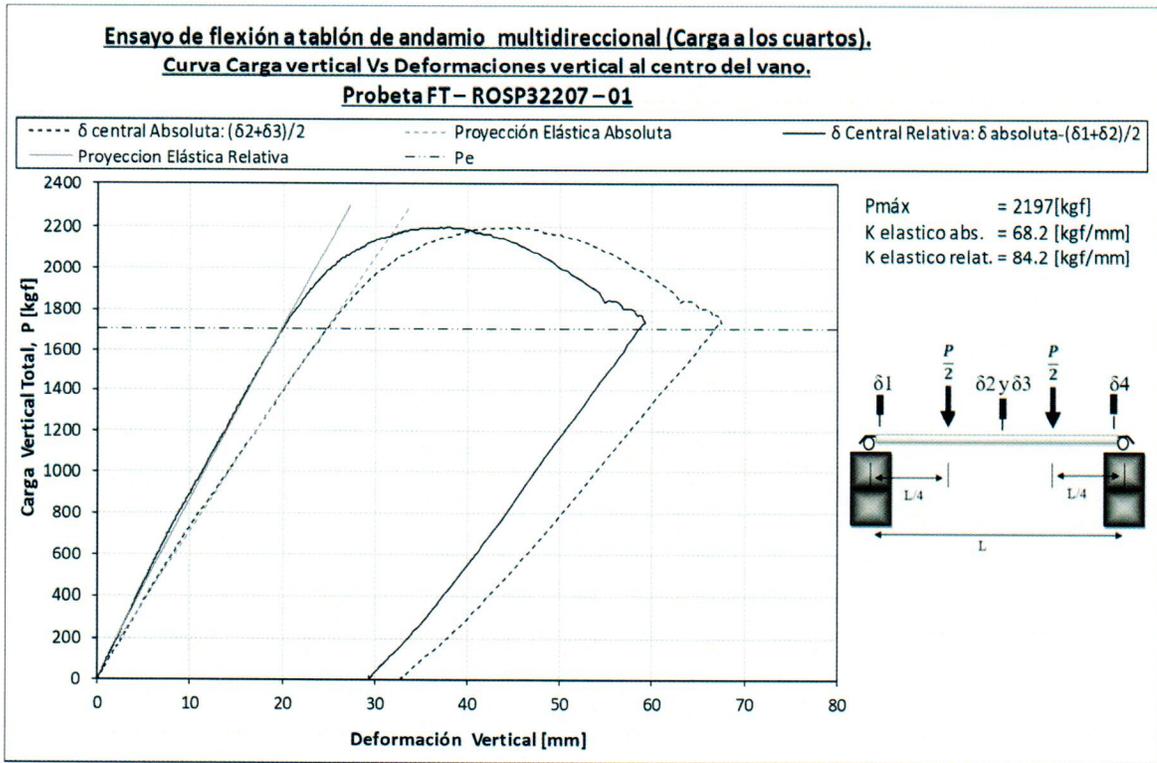


Grafico 7.4.2.1

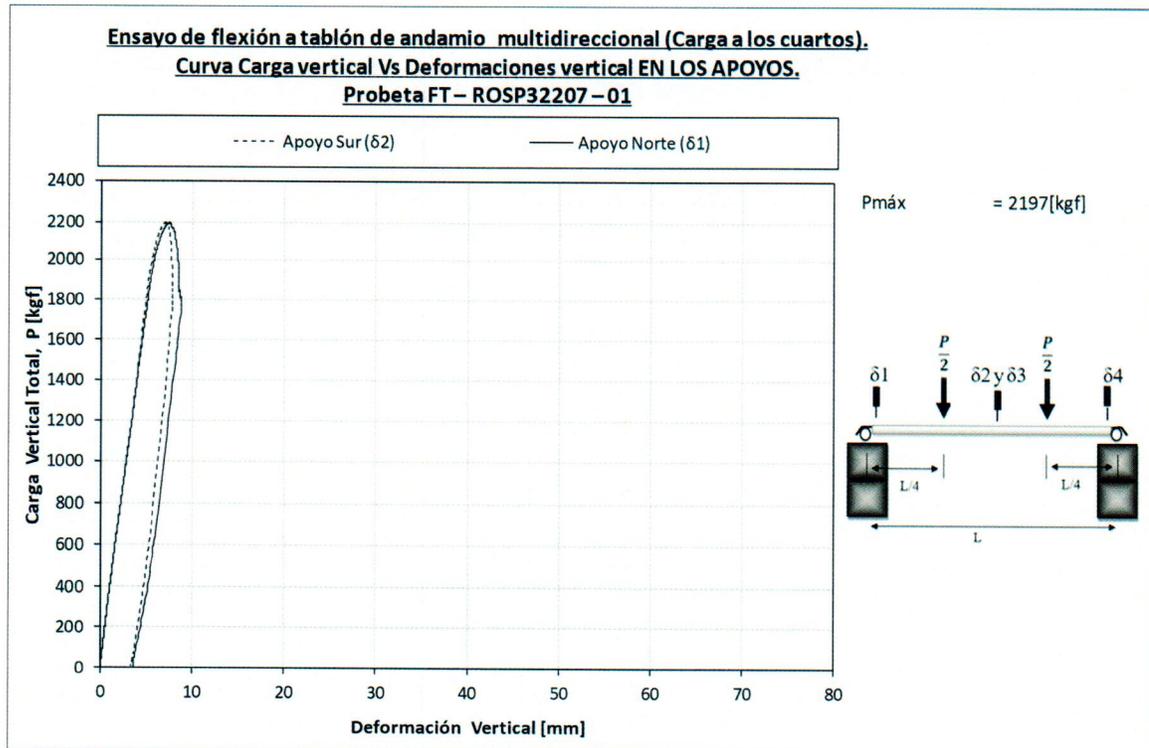


Grafico 7.4.2.2