

INFORME N° **5 2 6 1 6 3**

**ENSAYOS ESTRUCTURALES
ANDAMIOS FRONT**

Para
ANDECORP - MANUMETAL

Preparado por
DICTUC S.A.
Laboratorio de Ingeniería Estructural

"La información contenida en el presente informe o certificado constituye el resultado de un ensayo, calibración o inspección técnica especificada acotado únicamente a las piezas, partes, instrumentos o patrones o procesos analizados, lo que en ningún caso permite al solicitante afirmar que sus productos han sido "certificados por DICTUC", ni reproducir en ninguna forma el logo, nombre o marca registrada de DICTUC, salvo que exista una autorización previa y por escrito de DICTUC".

Santiago, 04 de Marzo de 2005

INDICE

1.	Introducción	3
2.	Antecedentes	3
2.1	Plataforma	4
2.2	Marcos Transversales	5
2.3	Diagonales Longitudinales	5
2.4	Baranda	5
2.5	Apoyo	6
3.	Ensayos Realizados y Resultados Obtenidos	6
3.1	Ensayo de Flexión de Tablones Metálicos	6
3.2	Ensayo de Flexión de Plataforma de Madera	7
3.3	Ensayo de Carga Vertical en Marcos Transversales	8
3.4	Ensayo de Carga Horizontal de los Marcos Transversales del Andamio	9
3.5	Ensayo de Carga Horizontal según la dirección Longitudinal del Andamio	10
3.6	Ensayo de Flexión de Barandas	11
3.7	Ensayo de Carga Vertical a Pie Derecho de Marco transversal	12
3.8	Ensayo de Carga Vertical en Tres Cuerpos de Andamios	13
4.	Clasificación de Plataforma según NCh2501/2.Of2000	14
5.	Conclusiones y Observaciones	16
	Anexo A: Figuras	18
	Anexo B: Fotos	31
	Anexo C: Gráficos	38
	Anexo D: Antecedentes de Materiales	50

INFORME Nº 5 2 6 1 6 3

SOLICITANTE : **ANDECORP-MANUMETAL**
RUT : 96.655.060-0 / 79.561.860-0
DIRECCION : Senador Jaime Guzmán 141 Quilicura / Sótero del Río 341, la Florida.
RUT : 603-6411 / 281-0137
ATENCION : **Sr. Cristian Julio / Jaime Gómez**
NORMA : NCh 2501/1 y NCh 2501/2 Of. 2000 Andamios Metálicos Modulares Prefabricados - Requisitos Generales y Requisitos Estructurales.
TRABAJO SOLICITADO : Pruebas varias a Andamios FRONT.

1.- INTRODUCCIÓN

El presente informe da a conocer los resultados obtenidos de ensayos realizados a un tipo de andamio metálico fabricado por las empresas ANDECORP - MANUMETAL., denominado FRONT. Se informan ensayos de flexión realizados a tablonces metálicos y plataforma de madera, ensayos de carga vertical a marco transversal, ensayos de carga horizontal a arriostramientos longitudinales y marco transversal, ensayos de flexión a barandas, ensayos de compresión a pie derechos de marco transversal y ensayos de compresión a un conjunto de tres cuerpos de andamios metálicos.

Los ensayos fueron ejecutados a petición de los señores Cristian Julio Orrego (Andecorp) y Jaime Gómez Reyes (Manumetal), realizándose en las dependencias del Laboratorio de Ingeniería Estructural de DICTUC S.A., filial de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

El informe se divide en: Antecedentes, Ensayos realizados y Resultados obtenidos, Clasificación plataforma y Conclusiones y observaciones.

2.- ANTECEDENTES

A continuación se presentan algunos de los antecedentes relevantes proporcionados por el mandante en relación a los andamios ensayados, donde se describen someramente las características geométricas y mecánicas de los componentes principales de dichos andamios. Todas las dimensiones de los elementos que conforman el andamio fueron obtenidas en el Laboratorio.

En general, los andamios están conformados por marcos transversales metálicos de sección tubular con conexión de momento unidos entre sí por diagonales, tablonces metálicos o plataformas de madera y barandas tubulares dispuestas longitudinalmente al andamio. Los tubos que conforman los pies derechos de los marcos poseen diferente diámetro en uno de sus extremos con el objeto de unirse en vertical con un siguiente marco y de esta forma disponer de varios cuerpos en su altura. Según el mandante, todos los elementos estructurales metálicos tubulares del andamio FRONT son de CINTAC. Además, según el mandante, los elementos tubulares estructurales son del tipo ASTM A-53 serie liviana II grado A y B con recubrimiento negro que obedecen a la norma ISO 65, el anexo D se presenta mayor información de los materiales componentes proporcionada por el mandante. En las Fotografías 1 a 9 (Anexo B) se pueden apreciar diferentes vistas de los andamios y detalles de sus uniones.

Con el objeto de identificar cada una de las probetas ensayadas en cada uno de los ensayos, en la Figura 1 (Anexo A) se presenta la nomenclatura utilizada en el presente informe.

2.1.- Plataforma.

2.1.1.- Tablones Metálicos.

Los tablones metálicos sometidos a ensayo poseen una sección canal con apoyos tipo gancho en sus extremos. En la Figura 2 a) se muestra un detalle del tablón ensayado.

La sección de los tablones está conformada por un perfil canal de 300mm de alma, alas de 55mm con reforzamiento de 17mm y espesor 2mm. Cada tablón posee 2 perfiles sección cajón en ambos extremos de 20x50x1,5mm y dos pletinas intermedias en el sentido transversal de 20x3mm. El tablón lleva soldados 2 ganchos en cada extremo, que consisten en planchas dobladas de 45mm de ancho y 5mm de espesor con un nervio central de refuerzo. Más características geométricas de los tablones se pueden apreciar en la Figura 2 a). En la Fotografías 7 y 8 se muestran vistas de los tablones como parte integrante de los andamios.

En la Tabla 2.1 que se presenta a continuación, se muestran algunas características de los tablones que fueron sometidos al ensayo de flexión simple.

Tabla 2.1
Propiedades de los tablones sometidos al ensayo de flexión simple

Probeta	Largo (mm)	Ancho (mm)	Alto (mm)	Espesor (mm)	Peso (kg)
FTB-FRONT-AG-01	2220	30	55	2	15,4
FTB-FRONT-AG-02	2220	30	55	2	15,7

2.1.2.- Plataforma de Madera.

La plataforma de madera sometida a ensayo posee un marco metálico exterior compuesto por perfiles tipo cajón de 30x42x1,5mm con un saliente de tope de 8x10mm; en el sentido transversal el marco está reforzado por 3 perfiles tipo cajón de 15x25mm espaciados aproximadamente 50cm. La plataforma como tal está compuesta por madera de Terciado Marino de 57x219cm y 18mm de espesor dividido en dos partes (una de 150cm de longitud y la otra de 69cm de longitud) unidas por medio de dos bisagras de 3"x3". Adicionalmente la plataforma de madera contiene una escalera metálica plegable constituida por dos perfiles de 15x25x1,5mm y 8 peldaños tubulares de 19mm de diámetro. En la Figura 2 b) se muestra un detalle de la plataforma de madera ensayada. Ver Fotografía 9.

2.2- Marcos Transversales.

Los marcos están compuestos por dos perfiles verticales metálicos tubulares (pie derechos) de 48mm de diámetro exterior y 3mm de espesor, unidos en su parte superior por un travesaño tubular de 48mm de diámetro que a su vez está soportado por un perfil tubular doblado en forma de "A" de 26mm de diámetro y 2mm de espesor. EL extremo inferior de ambos pies derechos se encuentra unido mediante un perfil tipo cajón de 15x35mm y 2mm de espesor. Las dimensiones de los marcos metálicos fueron medidas en el laboratorio. Según el mandante, los marcos están compuestos por perfiles CINTAC. La Figura 3 muestra un esquema de las dimensiones nominales de los marcos transversales.

En la Fotografía 8 se aprecia un detalle del marco transversal.

En la Tabla 2.2 que se presenta a continuación, se muestran a modo de referencia algunas características de los marcos metálicos que fueron sometidos a carga vertical.

Tabla 2.2

Propiedades de los marcos metálicos transversales sometidos a carga vertical

Probeta	Ancho total (mm)	Alto Total (mm)	Diámetro exterior pie derecho (mm)	Peso (kg)
VMT-FRONT-01	750	2000	48	16,0
VMT-FRONT-02	750	2000	48	16,0

2.3- Diagonales Longitudinales

Las diagonales longitudinales están compuestas por perfiles metálicos tubulares de 38mm de diámetro exterior y 2 mm de espesor. En ambos extremos las diagonales presentan un aplastamiento de su sección y una perforación de 16mm con objeto de servir de unión con los elementos verticales que conforman los marcos de los andamios. Dicha unión se realiza mediante un pasador de 14mm de diámetro y 48mm de largo útil soldado superficialmente al marco transversal. En las Fotografías 3 y 4 se aprecia un detalle de la unión de las diagonales al marco transversal. Según el mandante, las diagonales longitudinales son perfiles CINTAC.

2.4- Barandas

Para el presente informe se consideraron dos tipos de barandas, la primera consiste en un perfil tubular de 38mm de diámetro, 2mm de espesor y una longitud total de 237cm. En ambos extremos posee aplastamientos de 55x95mm aproximadamente donde se ubican las perforaciones de 16mm de diámetro; la distancia entre perforaciones es de 230cm; a ésta baranda la denominaremos "Baranda Simple". El segundo tipo de baranda está formada por dos perfiles tubulares de 38mm de diámetro, 2mm de espesor y una longitud total de 237cm que se encuentran unidos por 3 perfiles tubulares de 26mm de diámetro a manera de escalera y espaciadas 59cm a partir del centro de la luz de la baranda; a este tipo de baranda la denominaremos "Baranda Doble". Las Fotografías 10 a 13 muestran detalles de los dos tipos de barandas. La Figura 4 muestra un esquema de las barandas sometidas a ensayo con sus respectivas dimensiones.

2.5- Apoyo.

Los apoyos están compuestos por un tubo metálico de 35mm de diámetro y 610mm de largo. Uno de sus extremos va soldado a una placa metálica de 138x134mm y 6mm de espesor. En la Fotografía 6 se aprecia un detalle del apoyo en cuestión.

3.- ENSAYOS REALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS

Se realizaron los siguientes ensayos de los elementos que componen el andamio metálico en estudio.

3.1- Ensayo de flexión de tablonces metálicos

La probeta se apoyó en sus extremos, reproduciendo la forma de montaje que se realiza habitualmente en el andamio. En los ensayos de tablonces la carga fue aplicada en dos puntos ubicados a una distancia de $\frac{1}{4}$ de la luz libre mediante dos gatos hidráulicos de 5 toneladas de capacidad apoyados en unas placas de acero rígidas que a su vez se apoyaban sobre polines de acero de 25mm de diámetro que estaban en contacto con el tablón propiamente tal. En la Fotografía 14 se puede apreciar una vista general del ensayo.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla del tablón. La deformación se midió mediante un transductor ubicado al centro de la luz libre de la probeta. El esquema del ensayo de las probetas sometidas a flexión simple se muestra en la Figura 5 a).

Durante el ensayo se registró la carga aplicada al tablón y su deformación mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotografía 12 una de las probetas durante el ensayo de flexión momentos antes de la falla.

Una vez finalizado el ensayo de flexión simple, se procedió a dibujar las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación al centro del tablón en milímetros. En los Gráficos 1 y 2 del Anexo C se muestran las curvas obtenidas para cada ensayo.

A continuación se muestra la Tabla 3.1, donde aparece un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de flexión simple. En dicha tabla se presenta además la rigidez secante determinada con el criterio del 50% de la carga máxima.

Tabla 3.1
Resultados de los ensayos de flexión simple a tablonés metálicos.

Probeta	Distancia entre apoyos (mm)	Deformación asociada al 50% de la carga máxima (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima (suma de dos gatos) (kg/mm)	Carga máxima (suma de dos gatos) (kg)
FTB-FRONT-AG-01	2.220	17,65	31,6	1.115
FTB-FRONT-AG-02	2.220	17,19	25,4	950
Promedio		17,42	28,5	1.033

Los tablonés fallaron por pandeo de la zona comprimida por flexión, sin que se observaran problemas en las zonas extremas de apoyo.

3.2- Ensayo de flexión de Plataforma de Madera

La probeta se apoyó en sus extremos, reproduciendo la forma de montaje que se realiza habitualmente en el andamio. En el ensayo de plataforma de madera la carga fue aplicada en dos puntos ubicados a una distancia de $\frac{1}{4}$ de la luz libre mediante dos gatos hidráulicos de 5 toneladas de capacidad apoyados en unas placas de acero rígidas que a su vez se apoyaban sobre polines de acero de 25mm de diámetro que estaban en contacto con la plataforma propiamente tal. En la Fotografía 14 se puede apreciar una vista general del ensayo.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla de la plataforma de madera. La deformación se midió mediante un transductor ubicado al centro de la luz libre de la probeta. El esquema del ensayo de la probeta sometida a flexión simple se muestra en la Figura 5 b).

Durante el ensayo se registró la carga aplicada a la plataforma y su deformación mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotografía 12 una de las probetas durante el ensayo de flexión momentos antes de la falla.

Una vez finalizado el ensayo de flexión simple, se procedió a dibujar las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación al centro del tablón en milímetros. En el Gráfico 3 del Anexo C se muestra la curva obtenida para cada ensayo.

A continuación se muestra la Tabla 3.2, donde aparece un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de flexión simple. En dicha tabla se presenta además la rigidez secante determinada con el criterio del 50% de la carga máxima.

Tabla 3.2
Resultados de los ensayos de flexión simple a plataforma de madera.

Probeta	Distancia entre apoyos (mm)	Deformación asociada al 50% de la carga máxima (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima (suma de dos gatos) (kg/mm)	Carga máxima (suma de dos gatos) (kg)
FPM-FRONT-AG-01	2.220	31,3	17,3	977

La Plataforma de madera falló por pandeo de la zona comprimida por flexión, sin que se observaran problemas en las zonas extremas de apoyo.

3.3- Ensayo de carga vertical en marcos transversales.

Para el ensayo de carga vertical en marcos transversales, se armó un cuerpo de andamio completamente, tal como lo señala el mandante, de manera de reproducir su estructura real al ser utilizados en obra. Las Fotografías 15, 16 y 17 muestran diferentes detalles de los marcos ensayados, formando parte del andamio.

La carga fue aplicada sobre el punto central del perfil tubular horizontal superior del marco transversal, utilizando un gato de 25ton. El gato reaccionaba contra una viga de hormigón de 40 cm x 50 cm y 220 cm de largo, que a su vez se apoyaba en un marco de reacción.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla del marco. La deformación se midió mediante un transductor que se colocó bajo el punto de aplicación de la carga, midiendo la deformación vertical del travesaño. El esquema del ensayo de las probetas sometidas a carga vertical se muestra en la Figura 6. La Fotografía 18 muestra el sistema de carga y medición empleado en el ensayo de carga vertical de un marco transversal del andamio.

Durante el ensayo se registraron los datos obtenidos (carga y deformación) mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotografía 19 se aprecia una de las probetas una vez finalizado el ensayo.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación vertical en milímetros. Los Gráficos 4 y 5 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo.

La Tabla 3.3 muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de carga vertical de los marcos transversales.

Tabla 3.3
Resultados de los ensayos de carga vertical en marcos transversales.

Probeta	Deformación asociada al 50% de la carga máxima del marco (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima del marco (kg/mm)	Carga máxima (kg)
VMT-FRONT-01	4,75	263,2	2.500
VMT-FRONT-02	4,80	278,0	2.670
Promedio	4,78	270,6	2.585

Los marcos experimentaron una deformación combinada por flexión del perfil horizontal superior y flexo-compresión de los perfiles verticales (pies derechos).

3.4- Ensayo de carga horizontal de los marcos Transversales del andamio.

Para el ensayo de carga horizontal de los marcos del andamio, se dispuso el marco en el sentido de aplicación de la carga horizontal como se muestra en la Figura 7 y en la Fotografía 20.

Con el objeto de que el marco no se deslizara horizontalmente durante el ensayo se dispuso de un tope inferior en el extremo opuesto del lugar donde se aplicó la carga. Adicionalmente, para evitar el volcamiento del marco durante el ensayo, se dispuso de un tensor vertical al costado del gato horizontal. En la Fotografía 21 se puede apreciar dicho tensor. En la Figura 7 se puede apreciar un esquema donde se muestra la disposición del tope y del tensor.

La carga fue aplicada horizontalmente (en sentido paralelo al marco transversal del andamio), en la intersección de la pata vertical del marco transversal y la viga metálica de perfil tubular horizontal superior de dicho marco (que sirve de apoyo a los tablonos), utilizando un gato de 25 toneladas, como se aprecia en las Fotografías 20 y 21.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla del marco. La deformación se midió mediante 4 transductores, el denominado N°2 dispuesto en la dirección de aplicación de la carga, el N°3 midiendo la deformación horizontal en la pata opuesta a la de aplicación de carga y el N°4 y N°5 midiendo el giro de la base del marco de andamio (El N°1 se dispuso para registrar la carga). La Fotografía 22 muestra el sistema de medición empleado en el ensayo descrito.

Se realizaron dos ensayos de marco, sometido a carga horizontal contenido en su plano. Durante los ensayos se registraron los datos obtenidos (carga y deformación) mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotografía 23 se aprecia una de las probetas una vez finalizado el ensayo donde se aprecia la deformación del marco.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación en milímetros del marco en el sentido de aplicación de la carga. Los Gráficos 6 y 7 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo.

En la Tabla 3.4 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de carga horizontal del marco transversal del andamio.

Tabla 3.4
Resultados de los ensayos de carga horizontal del marco transversal.

Probeta	Deformación asociada al 50% de la carga máxima del marco (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima el marco (kg/mm)	Carga máxima (kg)	Observaciones
HMT-FRONT-01	48,9	4,7	445	Falla por flexión en los elementos verticales (pies derechos)
HMT-FRONT-02	47,0	5,3	496	
Promedio:		5,0	470,5	

El marco transversal falló por flexión en los elementos verticales (pies derechos).

3.5- Ensayo de carga horizontal según la dirección longitudinal del andamio.

Para el ensayo de carga horizontal según la dirección longitudinal del andamio, se armó un cuerpo completo, con sus respectivas diagonales y tablonés longitudinales, de manera de reproducir su estructuración real. La Fotografía 24 muestra la diagonal de uno de los andamios ensayados.

Con el objeto de que el andamio no se deslizara horizontalmente, durante el ensayo se dispuso de un tope inferior en el extremo opuesto del lugar donde se aplicó la carga. Para evitar el volcamiento del andamio durante el ensayo, se dispuso de un tensor al costado del gato horizontal, donde se aplicó la carga. En la Fotografía 26 se puede apreciar dicho tensor. En la Figura 8 se aprecia un esquema donde se muestra la disposición del tope y del tensor.

La carga fue aplicada horizontalmente (en el sentido longitudinal del andamio), en la intersección de la pata vertical del marco transversal y la viga horizontal superior de dicho marco (que sirve de apoyo a los tablonés), utilizando un gato de 5 toneladas, como se aprecia en las Fotografías 24 y 26.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la resistencia de fluencia o la falla abrupta de la diagonal ó pasador (que une la diagonal con la pata vertical del marco transversal). La deformación se midió mediante 4 transductores, el denominado N°2 dispuesto en la dirección de aplicación de la carga, el N°3 midiendo la deformación horizontal en el pie derecho opuesto a la de aplicación de carga y el N°4 y N°5 midiendo el giro de la base del marco de andamio (con el N°1 se registró la carga aplicada). El esquema del ensayo de las diagonales sometidas a ensayo se muestra en la Figura 8. Las Fotografías 24 y 25 muestran el sistema de carga y medición empleado en el ensayo descrito.

Durante el ensayo se registraron los datos obtenidos (carga y deformación) mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotografía 27 se aprecia una de las probetas durante el ensayo de carga horizontal.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación en milímetros del marco. Los Gráficos 8 y 9 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo. En la Tabla 3.5 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de carga horizontal del andamio en dirección longitudinal.

Tabla 3.5
Resultados de los ensayos de carga horizontal al marco en sentido longitudinal.

Probeta	Deformación horizontal del marco asociada al 50% de la carga máxima (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima (kg/mm)	Carga máxima (kg)	Observaciones
HML-FRONT-PSS-01	2,83	147,6	836	Falla por pandeo de diagonal.
HML-FRONT-PSS-02	3,42 (*)	148,4 (*)	724	
Promedio		148,0	780	

(*) Para obtener estos valores no se usó el criterio del 50% de la carga máxima sino se usó la pendiente que mejor representa el comportamiento de la probeta debido a los valores espúreos que se observan al inicio de la curva.

Se observó inicio de pandeo de la diagonal en ambos casos.

3.6- Ensayo de Flexión de Barandas.

Para el ensayo de flexión de barandas, se armó un cuerpo de andamio y se instaló la baranda a ser ensayada en el cuerpo de andamio reproduciendo su estructuración real. La Fotografía 28 muestra el sistema dispuesto para el ensayo de flexión de la baranda simple.

Todo el cuerpo de andamio fue emplazado con la cara donde se encuentra la baranda hacia abajo y la carga fue aplicada verticalmente mediante 1 gato de 5 toneladas de capacidad que hacía fuerza directamente sobre el elemento horizontal de la baranda a una distancia de los apoyos de 1/2 de la luz como se aprecia en la Fotografía 28.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la fluencia o la falla de la baranda, de los apoyos o en este caso en particular la excesiva deformación del elemento. La deformación en el sentido de la carga se midió mediante transductores dispuestos de forma vertical de la siguiente forma: 1 en cada apoyo (total 2), y 1 al centro de la luz del elemento ensayado ubicado debajo del punto de aplicación de la carga. El esquema del ensayo de las barandas sometidas a ensayo se muestra en la Figura 9. La Fotografía 28 muestra el sistema de carga y medición empleado en el ensayo descrito.

Se ensayaron 4 sistemas de barandas en total, dos de ellas simples y dos dobles. Durante los ensayos se registraron los datos obtenidos (carga y deformación) mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. En la Fotos 29 se aprecia la probeta al finalizar el ensayo.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación en milímetros de la baranda en el sentido de aplicación de la carga, al centro del elemento, descontada la deformación de los apoyos. Los Gráficos 10 a 13 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo, donde se presenta la deformación neta al centro de la baranda descontando la deformación de los apoyos.

En la Tabla 3.6 se muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de flexión de las barandas.

Tabla 3.6
Resultados de los ensayos de flexión de Barandas.

Probeta	Deformación vertical de la baranda asociada al 50% de la carga máxima (mm)	Rigidez asociada al 50% de la carga máxima (kg/mm)	Carga máxima (kg)	Observaciones
FBS-FRONT-01	36,7	3,24	238	Falla por excesiva deformación
FBS-FRONT-02	36,2	2,90	210	Falla por excesiva deformación
Promedio:		3,07	224	
FBD-FRONT-01	53,2	4,1	430	Falla por excesiva deformación
FBD-FRONT-02	43,6	4,2	369	Falla por excesiva deformación
Promedio:		4,15	400	

Las Barandas fallaron finalmente por excesiva deformación de los elementos longitudinales componentes de las mismas sin que se observaran daños en los apoyos y pasadores.

Adicionalmente, las barandas satisfacen los requerimientos señalados en la norma, puesto que la flecha elástica es menor a 35mm para una carga puntual de 0.3kN (30kg) y para una carga puntual de 1.25kN (125kg) 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. (Ver Gráficos 10 a 13).

3.7- Ensayo de carga vertical a Pie Derecho de marco transversal.

Los Pies Derechos fueron ensayados formando parte de sus respectivos marcos metálicos y también respectivamente arriostrados a otro marco transversal, tal como son utilizados en la práctica. En la parte superior del pie derecho, donde se presenta el angostamiento y donde se aplicó la carga, se adicionó un tramo de perfil metálico tubular que representa el apoyo del pie derecho del andamio del siguiente nivel.

La carga fue aplicada utilizando la prensa Amsler, que posee una capacidad de 200 toneladas (precisión $\pm 1\%$) y es capaz de controlar la velocidad de aplicación de la carga. Se colocaron 4 transductores (LVDT) para medir las deformaciones de la siguiente forma: 2 transductores a ambos lados de la altura del pie derecho, midiendo la deformación vertical del pie derecho en la longitud total del mismo y 2 transductores situados a la mitad de altura, para medir la deformación del puntal según dos direcciones ortogonales en horizontal. Los datos obtenidos de deformación se registraron mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302. El esquema del ensayo de los pies derechos sometidos a compresión axial se muestra en la Figura 10. La Fotografía 30 muestra el sistema de medición de carga y deformaciones empleado en el ensayo de compresión axial de pies derechos metálicos.

El ensayo se realizó hasta obtener una rigidez = 0 de la probeta (incremento de deformación sin incremento de carga) o el colapso del pie derecho. En la Fotografía 31 se aprecia una de las probetas una vez finalizado el ensayo. Durante cada ensayo se realizó un ciclo de descarga.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada en kilos vs. deformación vertical y horizontal en milímetros. Los Gráficos 14 al 17 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo.

La Tabla 3.7 muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de carga vertical de los pies derechos.

Tabla 3.7
Resultados de los ensayos de carga vertical en Pies Derechos de andamios.

Probeta	Carga máxima (kg)	Deformación vertical total asociada a la carga máxima (mm)
VPD-FRONT-01	6.460	5,10
VPD-FRONT-02	6.500	5,78
Promedio:	6.480	

En las probetas ensayadas la falla se produjo por pandeo global del sistema (ver Fotografía 32).

3.8- Ensayo de carga vertical en tres cuerpos de andamio.

Para el ensayo de carga vertical de tres cuerpos de andamio, se amaron tres cuerpos uno sobre el otro tal como lo especifica el mandante. Se realizaron dos ensayos de carga vertical en tres cuerpos de andamio. Se colocaron los marcos transversales unidos por sus diagonales longitudinales así como los tablonés y las barandas simples en cada cuerpo de andamio. La Fotografía 33 muestra una de las probetas conformada por tres cuerpos de andamios. En la Figura 11 se muestra un esquema del ensayo realizado.

La carga fue aplicada mediante un sistema de cargas cerrado, conformado principalmente por:

- Dos vigas superiores metálicas robustas de reacción, dispuestas en el sentido trasversal del último cuerpo, centradas respecto a los pies derechos de los marcos transversales. Dichas viga de reacción, se apoyaron sobre sendas vigas metálicas longitudinales apoyadas directamente sobre los pies derechos de los marcos transversales, distribuyendo la carga sobre éstos.
- Tensores verticales dispuestos en cada una de las vigas de reacción trasversal, uniendo el tramo central de dichas vigas con un marco de reacción inferior.
- Dos gatos hidráulicos de 25 toneladas, que reaccionan contra ambos sistemas de reacción, produciendo una fuerza de compresión en los tres cuerpos de andamio.

El ensayo se realizó hasta alcanzar la fluencia o la falla del sistema. Las deformaciones se midieron mediante transductores. Los transductores se dispusieron de manera tal de registrar las deformaciones en ambos sentidos del andamio (trasversal y longitudinal) y el pandeo global de la estructura. El esquema del ensayo de las probetas sometidas a carga vertical y la disposición de los transductores y marco de reacción se muestra en la Figura 11. Las Fotografías 34 a 36 muestran detalles del ensayo realizado.

Durante el ensayo se registraron los datos obtenidos (carga y deformación) mediante un equipo de adquisición de datos de origen japonés marca TML, modelo TDS-302.

Una vez terminados los ensayos, se dibujaron las curvas carga aplicada por pie derecho en kilos vs. deformación en milímetros. Los Gráficos 18 y 19 muestran las curvas obtenidas para cada ensayo.

La Tabla 3.8 muestra un resumen de los resultados obtenidos del ensayo de carga vertical de tres cuerpos de andamio.

Tabla 3.8
Resultados de los ensayos de carga vertical en tres cuerpos de andamios.

Probeta	Carga máxima por pie derecho (kg)	Carga máxima total (kg)
V3C-FRONT- 01	3.450	13.800
V3C-FRONT- 02	3.095	12.380
Promedio	3.273	13.090

En ambos ensayos de carga vertical a 3 cuerpos de andamios la falla se produjo por pandeo global de la estructura.

4.- CLASIFICACIÓN DE PLATAFORMA SEGÚN NCh2501/2.0f2000.

4.1.- Ensayo de flexión de tablonces metálicos

Para determinar la "Clase" (según la Tabla 1, "Cargas de cálculo para las plataformas de trabajo") a la que corresponde la plataforma que se puede obtener con los tablonces que se sometieron a ensayo según la Norma NCh2501/2, se dedujeron analíticamente valores que se indican en la Tabla 4.1.1.

Tabla 4.1.1
Cargas admisibles promedio⁽¹⁾ obtenidas analíticamente de ensayos con 2 cargas ubicadas a ¼ de la luz entre apoyos a tablonces metálicos de andamio FRONT.

1	2	3	4	5	6
Clase	Carga uniformemente repartida	Carga concentrada en una superficie de 500 mm x 500 mm	Carga concentrada en una superficie de 200 mm x 200 mm	Carga sobre una superficie parcial	
	kN/m ²	kN	kN	kN/m ²	Superficie parcial Ac m ²
3	4,64	1,79	1,67	4,79	0,4 x A

Nota (1): Corresponden al 60% del límite elástico que presentan los tablonces ensayados.

Los valores indicados (en Tabla 4.1.1) permiten clasificar las plataformas que se obtienen con los tablonces que se sometieron a ensayo como plataformas de la Clase 3 de la norma NCh2501/02 cuyas cargas de cálculo (según NCh 2501/02) se muestran en la Tabla 4.1.2.

Tabla 4.1.2
Cargas de cálculo para las plataformas de trabajo según Norma NCh2501/2.

1	2	3	4	5	6
Clase	Carga uniformemente repartida	Carga concentrada en una superficie de 500 mm x 500 mm	Carga concentrada en una superficie de 200 mm x 200 mm	Carga sobre una superficie parcial	
	kN/m ²	kN	kN	kN/m ²	Superficie parcial Ac (m ²)
1	0,75	1,50 ⁽¹⁾	1,00	-----	-----
2	1,50	1,50 ⁽¹⁾	1,00	-----	-----
3	2,00	1,50 ⁽¹⁾	1,00	-----	-----
4	3,00	1,50 ⁽¹⁾	1,00	5,00	0,4 x A
5	4,50	1,50 ⁽¹⁾	1,00	7,50	0,4 x A
6	6,00	1,50 ⁽¹⁾	1,00	10,00	0,5 x A

Nota (1): se reduce la carga de 3kN que establece la norma en 9/50, debido a que el ancho de los elementos de sustentación de la plataforma son dos ganchos de 4.5 cm de ancho cada uno; la norma establece que la carga se reduzca proporcional al ancho si este es menor que 50 cm pero nunca menor a 1.5kN.

Nota: La norma señala además que para el caso señalado en la columna 3 de la Tabla 4.1.2, la flecha máxima no debe exceder de 1/100 de la separación entre apoyos. Además, en el caso de plataformas con una separación entre apoyos de 2 m o más, la diferencia máxima de nivel entre dos plataformas adyacentes, una cargada y la otra no, no debe exceder de 25mm.

Las plataformas que se forman con los tabloncillos cumplen además con las limitaciones de deformaciones relativas y absolutas señaladas por la norma, puesto que para una carga concentrada de 1.5 kN (9/50 de 3 kN pero no menos de 1.5kN, debido a que el ancho de los elementos de sustentación de la plataforma son menores de 30 cm de ancho), como indica la norma NCh2501/2, se logra una deformación al centro del vano de 1 cm aproximadamente. Lo cual es satisfactorio, puesto que este valor es inferior 1/100 de la distancia libre entre apoyos, 2.2 cm, y no supera los 2.5 cm que exige como tope la norma para la diferencia de nivel entre dos plataformas adyacentes.

4.2.- Ensayo de flexión de Plataforma de Madera

Para determinar la "Clase" (según la Tabla 1, "Cargas de cálculo para las plataformas de trabajo") a la que corresponde la plataforma que se puede obtener con la plataforma de madera que se sometió a ensayo según la Norma NCh2501/2, se dedujeron analíticamente valores que se indican en la Tabla 4.2.1.

Tabla 4.2.1
Cargas admisibles⁽¹⁾ obtenidas analíticamente del ensayo con 2 cargas ubicadas a ¼ de la luz entre apoyos a plataforma de madera de andamio FRONT.

1	2	3	4	5	6
Clase	Carga uniformemente repartida	Carga concentrada en una superficie de 500 mm x 500 mm	Carga concentrada en una superficie de 200 mm x 200 mm	Carga sobre una superficie parcial	
	kN/m ²	kN	kN	kN/m ²	Superficie parcial Ac m ²
3	2,51	1,94	1,81	5,18	0,4 x A

Nota (1): Corresponden al 60% del límite elástico que presentan los tabloncillos ensayados.

Los valores indicados (en Tabla 4.2.1) permiten clasificar las plataformas que se obtienen con la plataforma de madera que se sometió a ensayo como plataforma de la Clase 3 de la norma NCh2501/02 cuyas cargas de cálculo (según NCh 2501/02) fueron anteriormente presentadas en la Tabla 4.1.2.

Las plataformas que se forman con la plataforma de madera cumple además con las limitaciones de deformaciones relativas y absolutas señaladas por la norma, puesto que para una carga concentrada de 1.5 kN (9/50 de 3 kN pero no menos de 1.5kN, debido a que el ancho de los elementos de sustentación de la plataforma son menores de 30 cm de ancho), como indica la norma NCh2501/2, se logra una deformación al centro del vano de 1 cm aproximadamente. Lo cual es satisfactorio, puesto que este valor es inferior 1/100 de la distancia libre entre apoyos, 2.2 cm, y no supera los 2.5 cm que exige como tope la norma para la diferencia de nivel entre dos plataformas adyacentes.

5.- CONCLUSIONES Y OBSERVACIONES

A continuación se presenta un resumen ejecutivo con los resultados obtenidos de los ensayos.

De los ensayos de flexión simple a los tablonces metálicos con apoyos aislados y dos cargas puntuales a los cuartos de la luz libre, se puede concluir:

- 5.1.- El valor total promedio de la carga aplicada máxima obtenida es: $P_{max} = 1033 \text{ kg.}$
 5.2.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 410 \text{ kg.}$
 5.3.- El valor promedio de la rigidez asociada al 50% de la carga máxima observada es: $k_{50\%} = 28,5 \text{ kg/mm.}$

De los ensayos de flexión simple a plataforma de madera con apoyos aislados y dos cargas puntuales a los cuartos de la luz libre, se puede concluir:

- 5.4.- El valor total promedio de la carga aplicada máxima obtenida es: $P_{max} = 977 \text{ kg.}$
 5.5.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 390 \text{ kg.}$
 5.6.- El valor promedio de la rigidez asociada al 50% de la carga máxima observada es: $k_{50\%} = 17,3 \text{ kg/mm.}$

De los ensayos de carga vertical a marcos metálicos de un nivel, con carga puntual al centro:

- 5.7.- El valor promedio de la carga centrada máxima obtenida es: $P_{max} = 2585 \text{ kg.}$
 5.8.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 1035 \text{ kg.}$
 5.9.- El valor promedio de la rigidez asociada al 50% de la carga máxima observada es: $k_{50\%} = 270,6 \text{ kg/mm.}$

De los ensayos de carga horizontal en marcos transversales, con carga puntual:

- 5.10.- El valor promedio de la carga horizontal máxima obtenida es: $P_{max} = 470,5 \text{ kg.}$
 5.11.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 190 \text{ kg.}$
 5.12.- El valor promedio de la rigidez asociada al 50% de la carga máxima observada es: $k_{50\%} = 5,0 \text{ kg/mm.}$

De los ensayos de carga horizontal en marcos longitudinales, con carga puntual:

- 5.13.- El valor promedio de la carga horizontal máxima obtenida para los ensayos realizados con pasador soldado superficialmente es: $P_{max} = 780 \text{ kg.}$
 5.14.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 310 \text{ kg.}$
 5.15.- El valor promedio de la rigidez asociada al 50% de la carga máxima observada es: $k_{50\%} = 148,0 \text{ kg/mm.}$

De los ensayos de flexión de barandas Simples:

- 5.16.- El valor promedio de la carga total máxima obtenida para los ensayos de flexión es: $P_{max} = 224 \text{ kg.}$
5.17.- **Se sugiere una carga de trabajo total asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 90 \text{ kg.}$
5.18.- Las barandas cumplen además las flechas admisibles que estipula la norma.

De los ensayos de flexión de barandas Dobles:

- 5.19.- El valor promedio de la carga total máxima obtenida para los ensayos de flexión es: $P_{max} = 400 \text{ kg.}$
5.20.- **Se sugiere una carga de trabajo total asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 160 \text{ kg.}$
5.21.- Las barandas cumplen además las flechas admisibles que estipula la norma.

De los ensayos de carga vertical a pie derechos:

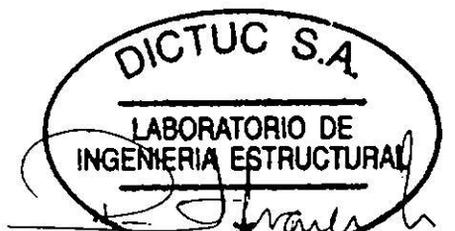
- 5.22.- El valor promedio de la carga máxima para los ensayos simulando pie derecho superior: $P_{max} = 6480 \text{ kg.}$
5.23.- **Se sugiere una carga de trabajo total asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 2590 \text{ kg.}$

De los ensayos de carga vertical a tres cuerpos de andamios sobre dos marcos:

- 5.24.- El valor de la carga total vertical máxima aplicada para todo el andamio es: $P_{max} = 13090 \text{ kg.}$
5.25.- **Se sugiere una carga de trabajo asociada a un factor de seguridad 2.5:** $P_{trabajo} = 5235 \text{ kg.}$

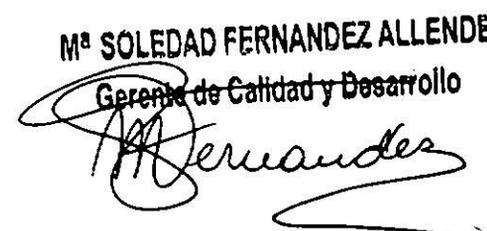
La verificación global de los andamios y sus anclajes al edificio en construcción debe realizarse para cada caso en particular con las solicitaciones (sobrecarga, viento y efectos debido a las irregularidades de montaje) que entrega la Norma NCh 2501/2.0f2000 y las resistencias experimentales admisibles que se destacan en negrita en este capítulo del informe.

Los valores de carga de trabajo entregados y/o sugeridos por elemento en el presente informe, (producto del ensayo de cada uno de ellos), deben ser además cotejados con el elemento de apoyo que corresponda, eligiendo la menor de las cargas obtenidas. Se deberá además comparar el nivel de deformaciones de la carga de trabajo (en los gráficos carga aplicada vs. deformación vertical neta del elemento), con el nivel de deformaciones admisible del proyecto, eligiendo la menor.



DICTUC S.A.
**LABORATORIO DE
INGENIERÍA ESTRUCTURAL**

Ing. Raúl Álvarez Medel
Jefe Laboratorio Ing. Estructural



M^a SOLEDAD FERNANDEZ ALLENDE
Gerente de Calidad y Desarrollo

DICTUC S.A.

La información contenida en este certificado no podrá ser reproducida total o parcialmente para fines publicitarios sin la aprobación por escrito de Dictuc S.A.

RAM/

Santiago, 04 de Marzo de 2005.

c.c.: LIE/2700