



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

PROCEDIMIENTO DE USO, CARACTERÍSTICAS Y MANTENIMIENTO DE ANDAMIOS METÁLICOS

Mynor González Chavarría

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila

Guatemala, febrero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROCEDIMIENTO DE USO, CARACTERÍSTICAS Y
MANTENIMIENTO DE ANDAMIOS METÁLICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

MYNOR GONZÁLEZ CHAVARRÍA

ASESORADO POR EL INGENIERO MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, FEBRERO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

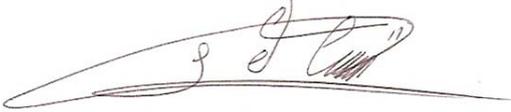
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio Luna Aroche
EXAMINADOR	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Sergio Vinicio Castañeda
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROCEDIMIENTO DE USO, CARACTERÍSTICAS Y MANTENIMIENTO DE ANDAMIOS METÁLICOS,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil ,
el 03 de Agosto de 2005.



Mynor González Chavarría

Guatemala, 9 de Noviembre de 2006.

Ing. Oswaldo Escobar
Director de la Escuela de Ingeniería civil
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Escobar:

Me dirijo a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado, **Procedimiento de Uso, Características y Mantenimiento de Andamios Metálicos**, elaborado por el estudiante universitario, **Mynor González Chavarría**, con número de carné **97-13559**, tema que fue aprobado en agosto de 2005.

Considero que el trabajo desarrollado, satisface los requisitos exigidos, por lo cual recomiendo su aprobación.

Atentamente,


Ing. Mario Rodolfo Gerzo A.
Asesor de Tesis
No. Colegiado 2089

Mario Rodolfo Gerzo
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Guatemala, 29 de enero de 2007

Ingeniero
Fernando Amílcar Boiton
Director Escuela Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería

Señor Director:

Tengo el agrado de dirigirme a usted para informarle que he revisado el trabajo de graduación **Procedimiento de Uso, Características y Mantenimiento de Andamios Metálicos**, elaborado por el estudiante universitario **Mynor González Chavarria**, quien contó con la asesoría del Ingeniero Mario Rodolfo Corzo A.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **González Chavarria** cumple con los propósitos para los cuales fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco su amable atención.

Atentamente,


Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz
Coordinador Área de Materiales y Construcciones Civiles



Cc archivo

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Coordinador del Área de Materiales y Construcciones Civiles, Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Mynor González Chavarría, titulado PROCEDIMIENTO DE USO, CARACTERÍSTICAS Y MANTENIMIENTO DE ANDAMIOS METÁLICOS, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Fernando Amilcar Boiton Velásquez
Ing. Fernando Amilcar Boiton Velásquez

Guatemala, febrero 2007.

/bbdeb.

Universidad de San Carlos
de Guatemala



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.044.07

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **PROCEDIMIENTO DE USO, CARACTERÍSTICAS Y MANTENIMIENTO DE ANDAMIOS METÁLICOS**, presentado por el estudiante universitario **Mynor González Chavarría**, procede a la autorización de impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, febrero de 2007

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Porque me permitió existir y poder llegar a culminar mi carrera universitaria.

MIS PADRES

Hilario González, por su apoyo incondicional para que yo pudiera salir adelante a lo largo de mi vida. Zoila Ángela Chavarría, porque siempre estuvo presente dándome sus bendiciones y que desde el cielo lo sigue haciendo.

MIS HERMANOS

Cesar y Ana Judith, por su cariño y ayuda, ya que son parte importante de este triunfo.

KAREN ALARCÓN

Por brindarme su amor y su apoyo en todo momento y por formar parte de mi vida.

MI FAMILIA

A todos en general, por sus muestras de cariño.

AGRADECIMIENTO A:

- DIOS** Por permitirme alcanzar una meta más en mi vida.
- MIS PADRES** Por ser ellos los que me formaron con principios y valores, y la convicción de luchar por lo que sueño.
- MIS HERMANOS** Por ser puntos de apoyo en mi vida, ya que siempre han estado ahí.
- MIS AMIGOS** Leonel Palacios y David Montúfar, por su ayuda en el desarrollo del presente trabajo de graduación.
- MI ASESOR** Ing. Mario Corzo, por brindarme su asesoría y más que eso, brindarme su amistad.
- FACULTAD DE INGENIERÍA** Por abrirme las puertas de la enseñanza, que me ha permitido culminar mi carrera universitaria.
- UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	III
LISTA DE SÍMBOLOS	V
GLOSARIO	VII
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XV
1. GENERALIDADES DE LOS ANDAMIOS	1
1.1. Definición de andamios.....	1
1.2. Andamios perimetrales fijos.....	2
1.2.1. Clasificación y utilización.....	3
1.3. Método operativo de montaje y desmontaje de andamios.....	4
1.4. Propiedades estructurales, físicas y mecánicas en perfiles de acero para fabricar andamios.....	21
2. APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE ANDAMIOS METÁLICOS COMERCIALES	23
2.1. Andamios independientes amarrados.....	23
2.1.1. Amarres.....	25
2.1.2. Plataformas de trabajo y pasarelas.....	26
2.1.3. Barandillas y tablones protectores.....	27
2.2. Andamios de un sólo poste.....	29
2.3. Andamios de torre.....	31
2.3.1. Limitaciones de altura.....	33
2.3.2. Estructura.....	33

2.3.3. Plataforma de trabajo.....	34
2.3.4. Desplazamiento.....	34
2.4. Andamio de caballete.....	34
3. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO EN EL USO DE ANDAMIOS.....	37
3.1. Análisis de costos y vida útil en acero.....	37
3.2. Análisis de costos y vida útil en madera.....	38
3.3. Comparaciones económicas en madera.....	40
4. MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD EN EL USO DE ANDAMIOS METÁLICOS.....	51
4.1. Revisiones de mantenimiento.....	51
4.2. Principios de seguridad en el uso de andamios.....	52
4.2.1. Causas de accidentes en los andamios.....	55
4.2.2. Seguridad en el montaje de andamios.....	57
4.2.3. Seguridad en la utilización de andamios.....	59
4.2.4. Uso correcto e incorrecto de utilizar andamios.....	61
4.3. Recomendaciones para inspeccionar un andamio.....	72
5. CÁLCULO Y DISEÑO DE ANDAMIOS METÁLICOS.....	75
5.1 Análisis teórico.....	75
5.2 Ensayos de laboratorio.....	84
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	95
REFERENCIAS.....	97
BIBLIOGRAFÍA.....	99
APÉNDICE.....	101
ANEXO.....	107

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Partes de un andamio fijo prefabricado sistema modular.....	2
2.	Husillo de nivelación.....	5
3.	Replanteamiento de los husillos.....	6
4.	Introducción del soporte de iniciación en los husillos con placa.....	7
5.	Colocación de plataforma.....	8
6.	Inserción del marco.....	9
7.	Colocación de la diagonal con abrazadera.....	10
8.	Colocación de los arriostramientos diagonales	11
9.	Colocación de barandillas y siguiente elemento.....	12
10.	Colocación de las barandillas y el encadenamiento del andamio....	13
11.	Colocación de la plataforma superior	14
12.	Encadenado del andamio y comprobación de separación máx.....	15
13.	Comprobación de la nivelación vertical y horizontal.....	16
14.	Montaje del resto del andamio	17
15.	Colocación de pasadores de seguridad	18
16.	Colocación de barandillas esquinales	19
17.	Coronación del andamio e instalación de elementos colectivos de seguridad.....	20
18.	Andamio independiente amarrado que no se apoya en el edificio.....	24
19.	Plataforma de trabajo con barandilla y tablonos protectores.....	28
20.	Andamios de un sólo poste.....	29
21.	Andamio móvil de torre.....	32

22.	Andamio de caballete.....	35
23.	Señalización utilizada en el uso de andamios.....	54
24.	Apoyo correcto e incorrecto de los andamios.....	58
25.	Forma correcta de nivelación.....	62
26.	Forma incorrecta de nivelación A.....	63
27.	Forma incorrecta de nivelación B.....	63
28.	Forma correcta de apoyar.....	64
29.	Forma incorrecta de apoyar.....	64
30.	Forma correcta de movilizar.....	65
31.	Forma Incorrecta de movilizar.....	66
32.	Forma correcta de los tablonos.....	67
33.	Forma incorrecta de los tablonos.....	67
34.	Forma correcta por usar barandilla.....	68
35.	Forma incorrecta por no usar barandilla.....	69
36.	Forma correcta por estar arriostrado.....	70
37.	Forma incorrecta por no estar arriostrado.....	70
38.	Forma Correcta no mayor de dos metros.....	71
39.	Forma Incorrecta mayor de dos metros.....	71
40.	Cargas en una columna.....	77
41.	Rigidez rotacional de los miembros que se intersecan en el nudo...80	
42.	Parte superior de un andamio con nudos en A, B y C.....	82
43.	Dimensiones del marco del andamio para el primer ensayo.....	85
44.	Ubicación de lecturas de medición.....	86
45.	Gráfica carga contra deformación ensayo uno.....	88
46.	Dimensiones del marco del andamio para el segundo ensayo.....	89
47.	Ubicación de donde se tomaron lecturas de medición.....	90
48.	Gráfica carga contra deformación ensayo dos.....	92

TABLAS

I.	Clasificación de andamios en función de la carga que soportan.....	3
II.	Lecturas de las deformaciones del primer ensayo.....	87
III.	Lecturas de las deformaciones del segundo ensayo.....	91

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
KN/m²	Kilo newton sobre metro cuadrado
Kg/m²	Kilogramo sobre metro cuadrado
S	Superficie
KN	Kilo newton
Kg	Kilogramo
VPN	Valor presente neto
P	Carga
P_{ac}	Carga actuante
P_{cr}	Carga crítica
D	Diámetro
L	Longitud
π	Constante pi
M_o	Momento

GLOSARIO

Alotrópica	Propiedad de algunos elementos químicos de presentarse, en un mismo estado físico, en dos o más formas diferentes, cristalinas o moleculares.
Anclaje	Acción de fijar algo firmemente.
Arriostramiento	Sistema de riostras entre elementos similares que ayudan a distribuir la carga y evitan que la estructura se deforme.
Austenita	Es el constituyente más denso de los aceros y está formado por una solución sólida por inserción de carbono en hierro gamma.
Bridas	Piezas metálicas que sirven para ensamblar vigas o tubos metálicos fijándolas con clavos o tornillos.
Caballetes	Soporte formado por un madero horizontal apoyado sobre dos palos cruzados.
Cementita	Es el micro constituyente más duro y frágil de los aceros al carbono.
Ductilidad	Propiedad que presentan los metales de poder permitir deformarlos sin fractura.

Ferrita	Sustancia formada por partículas de óxido de hierro, que se utiliza como material magnético.
Flecha máxima	Deformación máxima posible de un elemento estructural como resultado de una carga que actúa sobre él.
Hormigón	Mezcla compuesta de pedrín, arena y cemento, que se emplea en la construcción por su gran dureza y resistencia.
Larguero	Viga horizontal de madera o acero destinada a asegurar una estructura provisional.
Martensita	Es el constituyente de los aceros templados, está formado por una solución sólida sobresaturada de carbono.
Módulo de elasticidad	Es una medida de la rigidez inherente de un material.
Momento	Fuerza que actúa a una distancia X de un eje deseado.
Perlita	Es el micro constituyente formado por capas alternadas de ferrita y cementita.
Riostra	Pieza que, puesta oblicuamente, asegura armazones o estructuras.

Rodapié	Tabla que se pone en la parte inferior de la barandilla de los andamios, para que no resbalen objetos o el pie por la hendidura entre barandilla y plataforma de trabajo.
Sujeción	Fijación o sustentación de algún elemento de la estructura.
Tablón	Tabla gruesa que sirve como elemento para plataformas de trabajo en un andamio.

RESUMEN

El andamio es una estructura de uso provisional que se utiliza para trabajos en edificaciones de obra civil. Los andamios están hechos de metal y de madera. Se clasifican en seis clases dependiendo de la carga y el uso, de la uno a la tres son utilizados para trabajos de limpieza, pintura, carpintería, revestimiento de fachadas y en la industria en general para trabajos diversos. Los andamios de clase cuatro a la seis son para protección, aunque también se utilizan para trabajos en hormigón o en muros, rehabilitación de fachadas y en otros casos que exijan un andamio ancho de gran capacidad de carga.

Una de las ventajas en la utilización de andamios metálicos es lo relacionado con el método operativo de montaje y desmontaje, pues se debe seguir una secuencia de operaciones para que el andamio metálico proporcione seguridad a las personas que lo utilicen; otra, es el mantenimiento, ya que comparativamente con la madera poseen un largo período de vida útil debido a sus propiedades físicas, mecánicas y estructurales.

Dentro de los distintos tipos de andamios metálicos comerciales, están los andamios independientes amarrados, andamios de un sólo poste, andamios de torre, andamios de caballete, etc.

En el capítulo tres se hace un análisis comparativo económico/vida útil, entre un andamio metálico y un andamio de madera durante un período prolongado de tiempo, que refleja la conveniencia de utilizar un andamio metálico, porque aunque éste tenga una inversión inicial más alta, los costos de mantenimiento, almacenaje, etc. son muy bajos, a diferencia de un andamio de madera que presenta una inversión inicial pequeña, pero con costos de mantenimiento, almacenaje, etc. más elevados.

OBJETIVOS

GENERAL:

Enmarcar aspectos generales sobre andamios metálicos que ayuden a tener un mejor criterio para su uso, estructuración, armado y mantenimiento.

ESPECÍFICOS:

1. Caracterizar adecuadamente los andamios metálicos que se conocen, para poder tener una idea más clara sobre sus cualidades y aplicaciones.
2. Evaluar la relación que tiene en cuanto a costo, beneficio y vida útil de los andamios metálicos, comparado con los andamios de madera y la importancia del proceso de operación y mantenimiento.
3. Determinar si a largo plazo es más conveniente la utilización en el desarrollo de una obra civil, un andamio de metal o un andamio de madera en relación a costos.
4. Criterio estructural para cálculo y diseño de andamios metálicos.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de construcciones de infraestructuras de uno o más de un nivel de altura, se hace necesaria la implementación de equipo de trabajo que ayude o facilite la realización de tareas diversas durante el desarrollo de la construcción.

Un equipo utilizado frecuentemente en un proyecto de construcción es el andamio metálico, este equipo facilita la realización de tareas diversas como por ejemplo el levantado de paredes de bloque, repellos en paredes, pintar estructuras, etc., cuya altura es variable y que una simple escalera no permite tener la movilidad ni el espacio necesario para poder desarrollar el trabajo de una forma segura, eficiente y económica.

El presente trabajo desarrolla el tema de andamios metálicos, que en muy pocas ocasiones se le presta la atención debida por su naturaleza simple, pero que es necesario conocer por lo menos en términos generales, para poder tener la capacidad de decidir la opción más acertada que permita poder realizar un trabajo de una forma adecuada, que a la vez sea segura y económica, lo que redundará en un beneficio para el desarrollo de las obras civiles.

1. GENERALIDADES DE LOS ANDAMIOS

1.1 Definición de andamios

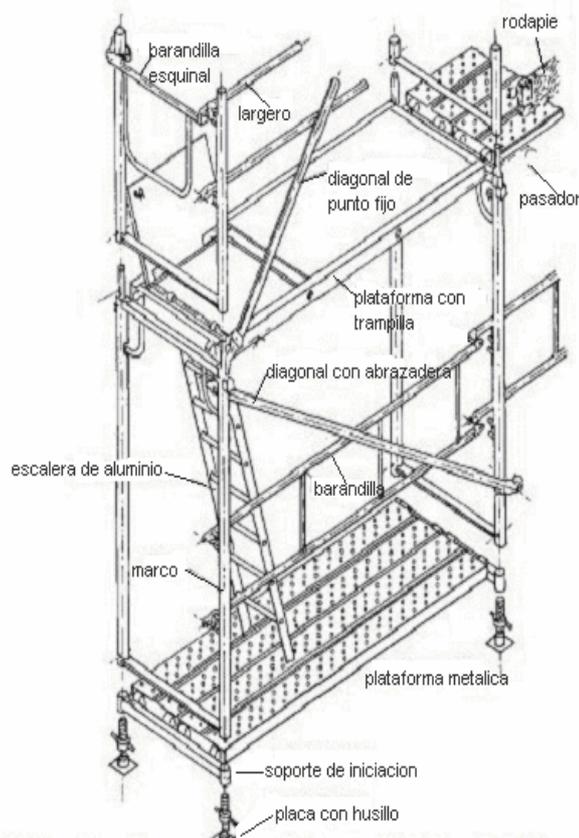
Un andamio es una estructura de uso provisorio que es utilizado para realizar algún tipo de trabajo sobre él. Los andamios son utilizados cuando por cuestiones de seguridad y comodidad se deben realizar trabajos desde alturas que a nivel de suelo son imposibles de realizar, es por ello que se implementan los andamios dependiendo el tipo de trabajo que se desea ejecutar. Los andamios deben de montarse o edificarse con materiales apropiados, es decir, que sean sólidos y de resistencia adecuada para garantizar la seguridad a las personas que los utilizan.

Es importante que luego de tener armado el andamio se efectúen inspecciones de la estructura por lo menos una vez por semana. Los andamios son elementos que pueden ser de diversos tipos de materiales, tales como acero, aluminio, madera y caña de bambú. No importa del material que estén hechos, los principios básicos de seguridad son los mismos, es decir, que el andamio como conjunto estructural sea capaz de resistir la carga que le sea aplicada así como el aspecto de seguridad para prevenir accidentes a causa de la caída de los ocupantes o materiales que se encuentren apilados o colocados sobre el andamio.

1.2 Andamios perimetrales fijos

Este tipo de andamios por lo regular son conjuntos estructurales que tienen una altura máxima de 30 m, aunque también pueden darse ocasiones en que sobrepasan esta altura, estos son edificados con el propósito que tengan varias áreas de trabajo a distintas alturas para no ocupar área horizontal o también si las condiciones no lo permiten. Estos son utilizados para trabajos de servicio, carga y protección. Los componentes de este tipo de andamio se ven en la figura 1.

Figura 1 Partes de un andamio fijo prefabricado sistema modular



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

1.2.1 Clasificación y utilización

Los andamios son clasificados en seis tipos o clases, tomando en consideración las cargas que pueden soportar las plataformas de trabajo, dichas cargas pueden ser repartidas o concentradas. Ver tabla I.

Tabla I. Clasificación de andamios en función de la carga que soportan¹

Clase	Carga Uniformemente repartida		Carga Concentrada en una S=500 mm ²	
	kN/m ²	Kg/m ²	kN	Kg
1	0.75	75	1.50	150
2	1.50	150	1.50	150
3	2.00	200	1.50	150
4	3.00	300	3.00	300
5	4.50	450	3.00	300
6	6.00	600	3.00	300

Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

Las plataformas de trabajo y los elementos que las soportan tienen que tener la capacidad de resistir las cargas que se enmarcan en la tabla I, debiendo considerar que las plataformas en ningún caso tienen que tener una resistencia menor a la de clase 2 tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- La flecha máxima no excederá un 1 % de la separación que hay entre apoyos cuando sea aplicada una carga concentrada en una superficie de 50 cm².
- Cuando existe una separación entre los apoyos de 2 m. o más y una de estas se encuentra con la aplicación de una carga concentrada en una superficie de 50 cm² no debe de existir una diferencia de nivel mayor de 2 cm. Entre esta y una no cargada.

Los andamios de clase 1, 2 y 3 son utilizados comúnmente para realizar trabajos de limpieza, pintura, carpintería y en términos generales para trabajos menores a distintas alturas sobre el suelo.

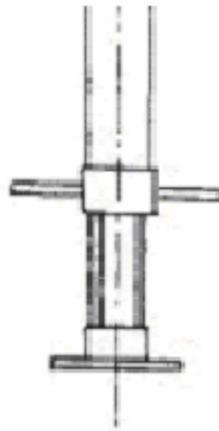
Los andamios clasificados como 4, 5 y 6 tienen aplicaciones como elementos estructurales de protección y pueden ser utilizados para realizar trabajos en concreto o en muros, así como también la rehabilitación de fachadas y en algunas ocasiones donde sea necesario la implementación de un andamios que pueda resistir cargas mayores.

1.3 Método operativo de montaje y desmontaje de andamios

Cuando es montado o desmontado un andamio además de ser realizado por personas que tengan el conocimiento de cómo hacerlo, es necesario que se siga una secuencia ordenada paso a paso del montaje y desmontaje de estos, a continuación se describe la forma de montaje, haciendo la observación que para el desmontaje el procedimiento es básicamente lo inverso.

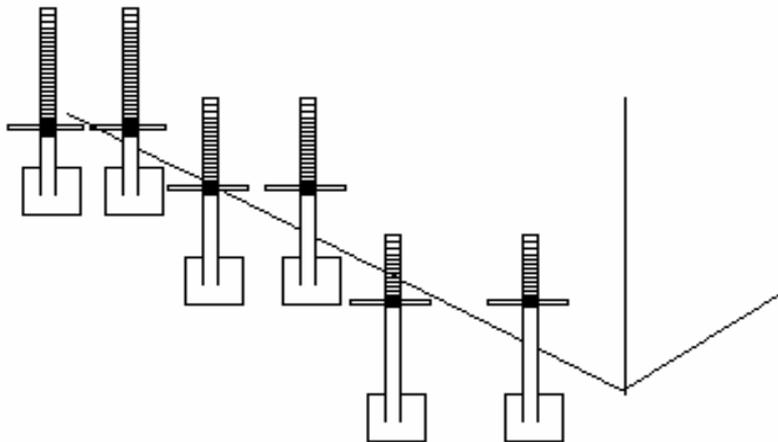
- Si el terreno o las condiciones no son las más idóneas se coloca un husillo de nivelación, que es un tornillo con una base rectangular acoplada que sirve para dar estabilidad al andamio (figura 2) y en el caso que sean necesarios varios de estos, se deben colocar desde el punto más alto hasta el punto más bajo. Ver figura 3.

Figura 2. Husillo de nivelación



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

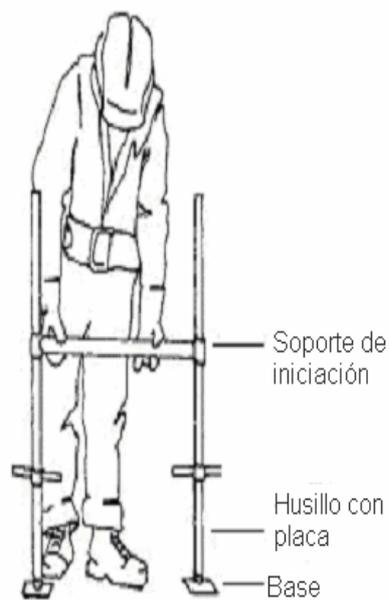
Figura 3. Replanteamiento de los husillos



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Al haber efectuado la operación anterior se debe de introducir el soporte de inicio del andamio metálico como se muestra en la figura 4.

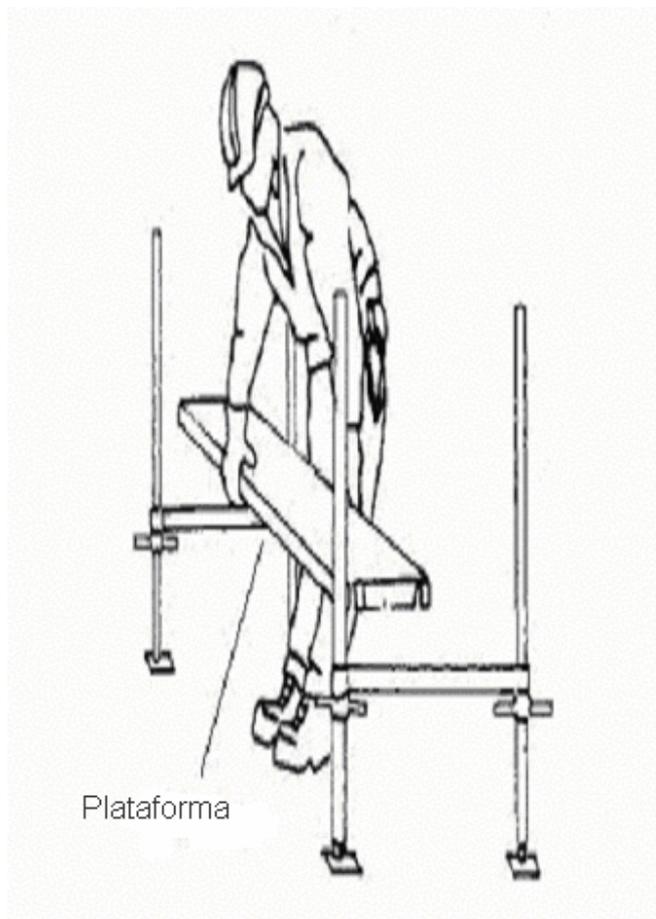
Figura 4. Introducción del soporte de iniciación en los husillos con placa



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Se debe colocar la plataforma de trabajo en los soportes anteriormente colocados (figura 5).

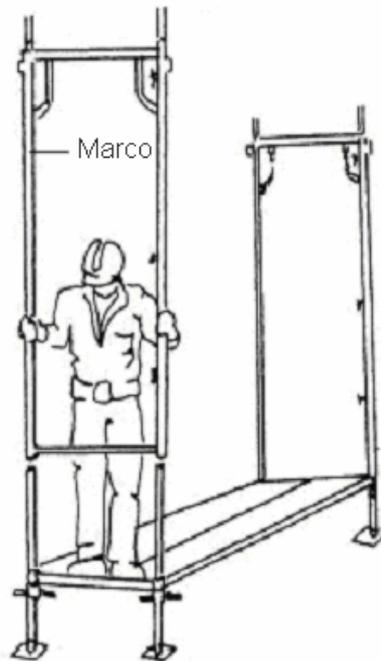
Figura 5. Colocación de plataforma



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Como siguiente paso se inserta el marco del andamio (figura 6).

Figura 6. Inserción del marco



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Se coloca una diagonal con abrazadera en el ensamble para que el elemento tenga rigidez. Ver figura 7.

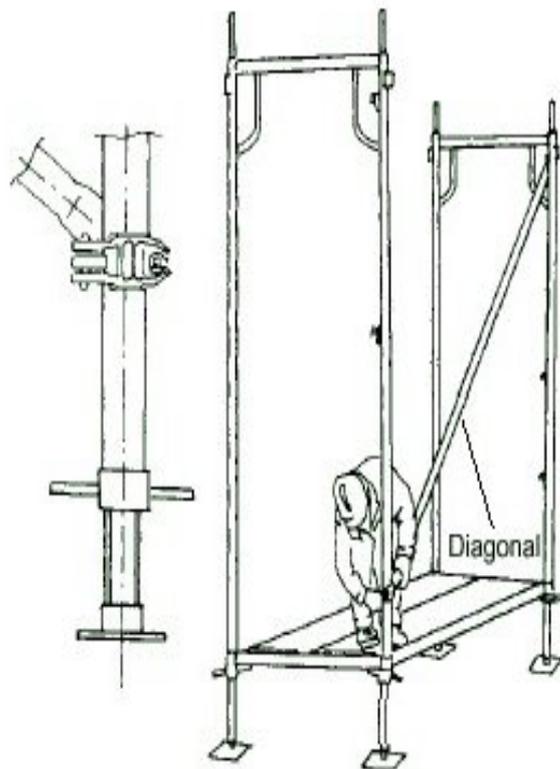
Figura 7. Colocación de la diagonal con abrazadera



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Se deben colocar arriostramientos en forma diagonal, como por ejemplo breisas con la finalidad de que el andamio se mantenga estable y evitar que se produzca algún tipo de desplazamiento (figura 8).

Figura 8. Colocación de los arriostramientos diagonales



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Por seguridad se coloca una barandilla para evitar para evitar caídas y se continua colocando el siguiente elemento si es necesario, para tener mayor desplazamiento horizontal (figura 9).

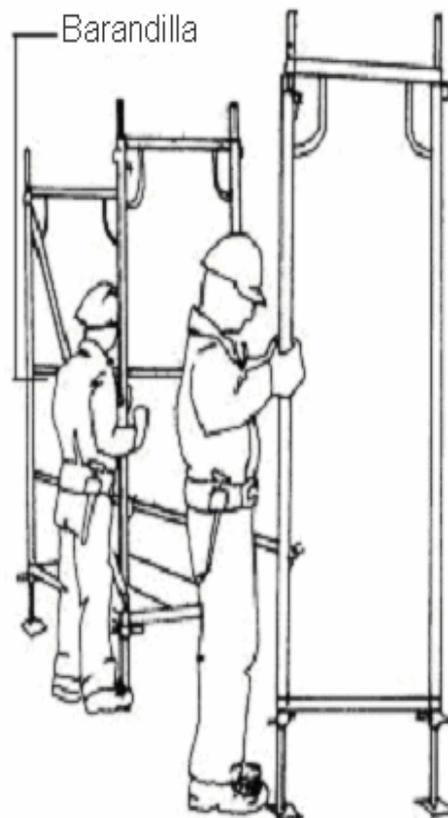
Figura 9. Colocación de barandillas y siguiente elemento



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Se debe de colocar barandilla en los subsiguientes elementos, así como el arriostramiento de estos (figura 10).

Figura 10. Colocación de las barandillas y el encadenamiento del andamio



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- La plataforma inicial es utilizada para colocar la plataforma superior teniendo en cuenta que se debe de instalar una escalerilla para poder subir a ella en una forma segura, la escalerilla debe de colocarse en la sección corta sobre la diagonal (figura 11).

Figura 11. Colocación de la plataforma superior



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Es importante que la separación del andamio con la fachada del sitio de trabajo no se mayor a 30 cm., pues esto seria inseguro (figura 12).

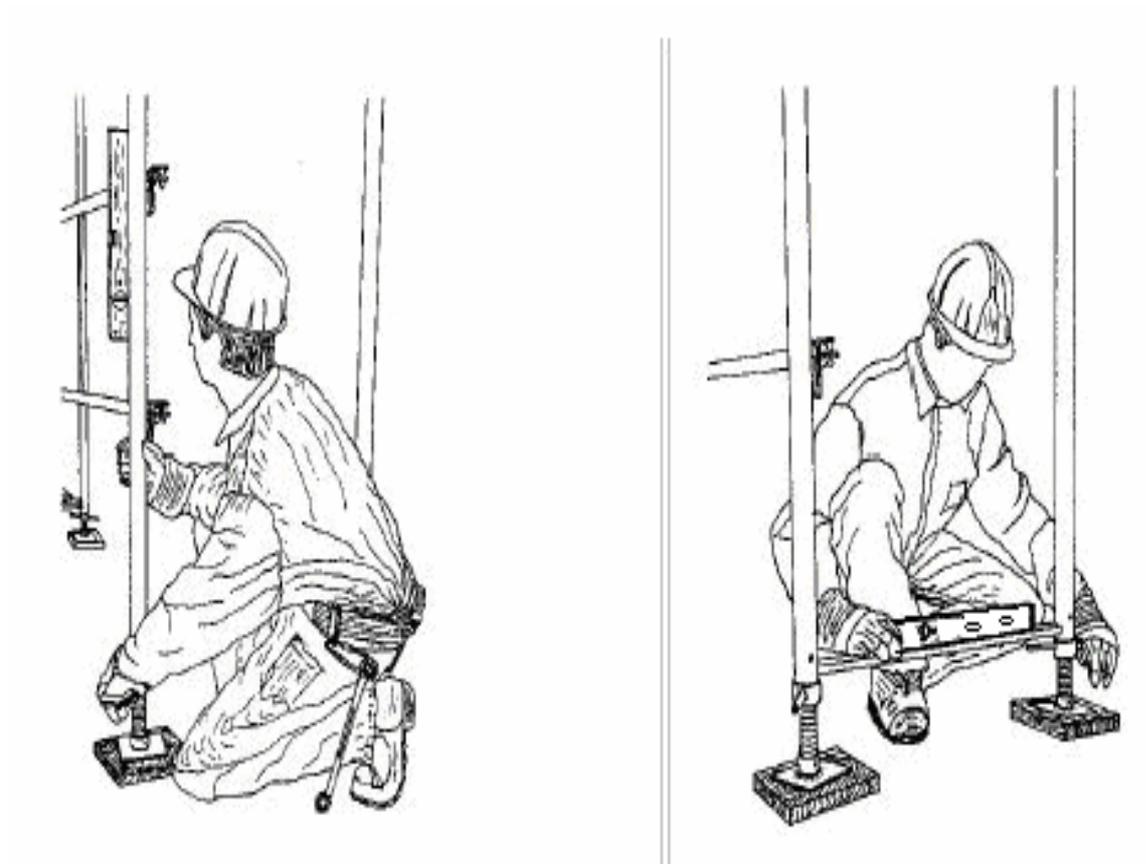
Figura 12. Encadenado del andamio y comprobación de separación máxima



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Cuando el andamio se encuentra colocado en su posición final, es necesario comprobar mediante el uso de un nivel de burbuja que el andamio se encuentre nivelado tanto vertical como horizontalmente y hacer si es necesario, los ajustes correspondientes utilizando los husillos de nivelación (figura 13).

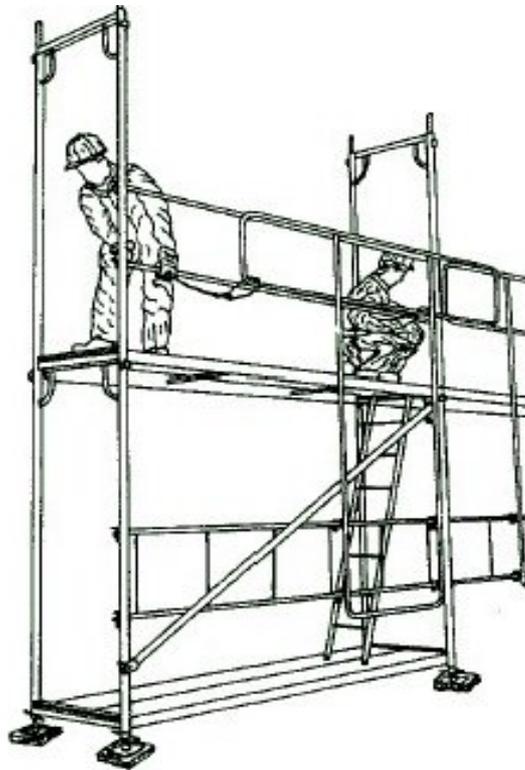
Figura 13. Comprobación de la nivelación vertical y horizontal



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Una vez nivelada la estructura se puede seguir montando el andamio en niveles superiores hasta llegar a la altura requerida (figura 14).

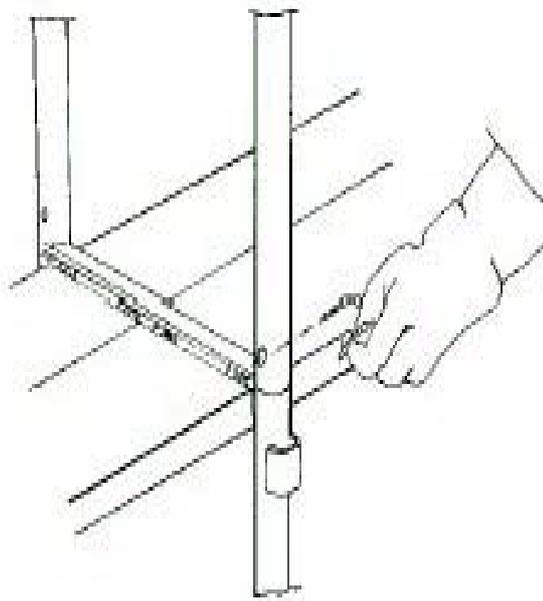
Figura 14. Montaje del resto del andamio



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Es necesario colocar en todos los niveles del andamio pasadores de seguridad para protección de las personas que lo utilicen (figura 15).

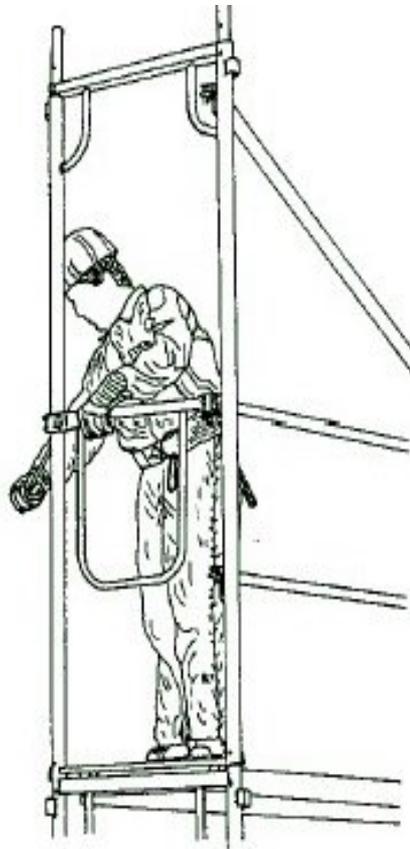
Figura 15. Colocación de pasadores de seguridad



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Un medio o elemento de seguridad para las personas que también debe de colocarse en un andamio, son las barandillas esquinales o laterales (figura 16).

Figura 16. Colocación de barandillas esquinales



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

- Una vez terminado el andamio hasta la altura requerida, es necesario implementar todos los elementos de seguridad en la zona de trabajo del andamio, es decir, rodapiés, pasamanos, barras intermedias, en fin, todo elemento que permita trabajar a las personas en una forma segura (figura 17).

Figura 17. Coronación del andamio e instalación de elementos colectivos de seguridad



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

1.4 Propiedades estructurales, físicas y mecánicas en perfiles de acero para fabricar andamios

Los aceros o perfiles de acero destinados a distintos usos como la fabricación de andamios metálicos tienen propiedades estructurales, físicas y mecánicas de las que se pueden mencionar en términos generales las siguientes:

Las extraordinarias cualidades estructurales del acero, y especialmente su alta resistencia en tensión, han sido aprovechadas estructuralmente en una gran variedad de elementos, entre ellos los andamios metálicos.

Por ser un material de producción industrializada y controlada, las propiedades estructurales del acero tienen generalmente poca variabilidad. Coeficientes de variación del orden de 10 por ciento son típicos para la resistencia y las otras propiedades. Otra ventaja del acero es que su comportamiento es perfectamente lineal y elástico hasta la fluencia, lo hace más fácilmente predecible la respuesta de las estructuras de este material. La alta ductilidad del material permite redistribuir concentraciones de esfuerzos.

Las propiedades físicas de los aceros y su comportamiento a distintas temperaturas dependen sobre todo de la cantidad de carbono y de su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: ferrita, perlita y cementita. La ferrita, blanda y dúctil, es hierro con pequeñas cantidades de carbono y otros elementos en disolución. La cementita, un compuesto de hierro con el 7% de carbono aproximadamente, es de gran dureza y muy quebradiza. La perlita es una mezcla de ferrita y cementita, con una composición específica y una estructura característica, y sus propiedades físicas son intermedias entre las de sus dos componentes. La resistencia y dureza de un acero que no ha sido tratado térmicamente depende de las proporciones de estos tres ingredientes.

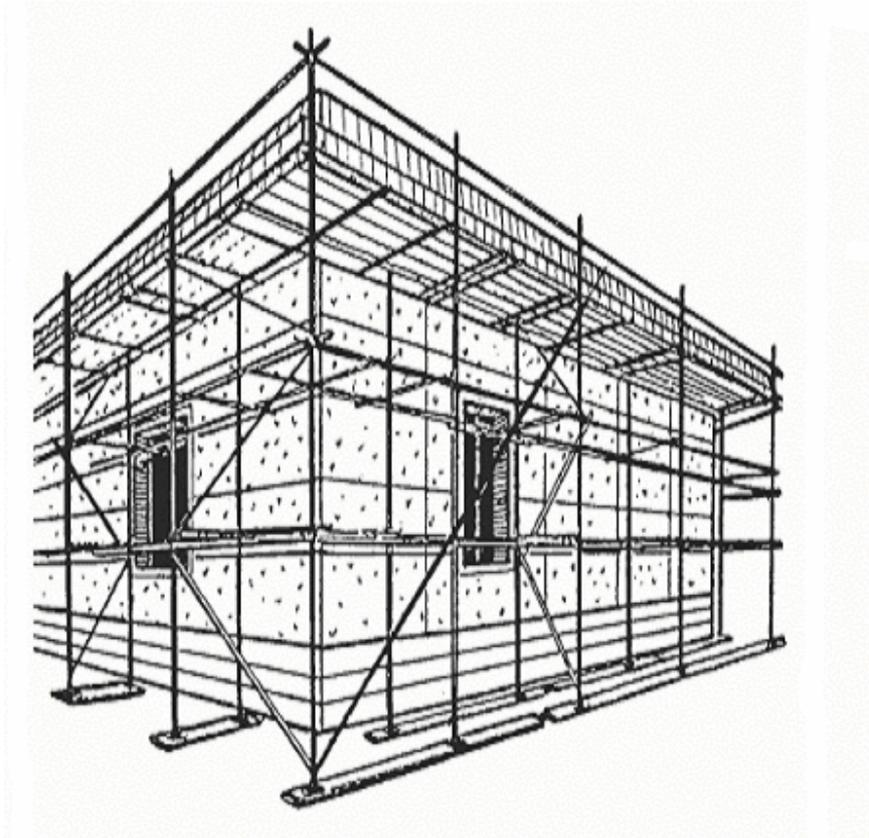
Cuanto mayor es el contenido en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está por completo compuesto de perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevarse la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en una forma alotrópica de aleación de hierro y carbono conocida como austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y perlita, pero si el enfriamiento es repentino la austenita se convierte en martensita, una modificación alotrópica de gran dureza similar a la ferrita pero con carbono en disolución sólida.

2. APLICACIONES Y CARACTERÍSTICAS DE ANDAMIOS METÁLICOS COMERCIALES

2.1 Andamios independientes amarrados

Este tipo de andamio utiliza una plataforma de trabajo que es colocada sobre tubos colocados horizontalmente, que comúnmente son llamados travesaños, estos a su vez se encuentran sujetos por ambos extremos a una serie de parantes o puntales de metal y a tubos horizontales que son colocados en forma paralela a la fachada, de donde se efectuarán los trabajos. Estos andamios no se deben de apoyar al edificio o fachada (figura 18). Los puntales metálicos al igual que cualquier tipo de andamio deben de ser colocados sobre base o terreno estable y nivelado, y en su base deben de colocarse tabloncillos de madera para que dichas bases descansen en estas para generar estabilidad, todo esto con la finalidad que cuando el andamio tenga que soportar una carga, los montantes no se hundan en el suelo y afecten la estabilidad del andamio. No es recomendable la utilización de ladrillos o trozos de adoquines como soporte de los puntales ya que son materiales quebradizos que ocasionarían inestabilidad al andamio.

Figura 18. Andamio independiente amarrado que no se apoya en el edificio



Fuente: página de internet www.training.itcilo.it Abril de 2006

Es importante que los parantes o puntales metálicos se encuentren equidistantes entre ellos y que también sean reforzados por largueros en la parte interna, con la finalidad de aumentar su resistencia para que sea más seguro. La distancia horizontal entre travesaños en las plataformas de trabajo dependerá del grosor de las tablas que se utilizan y descansan sobre ellos. Para tablas de 3.8 cm (1 1/2 pulgadas) de grosor, deberán espaciarse los travesaños de manera que ninguna tabla del andamio se superponga a otra por más de 15 cm. (6 pulgadas) o menos de 5 cm. (2 pulgadas).

Es necesario tener cuidado en cuanto a que los largueros y travesaños no sobresalgan más de lo necesario del levantamiento general del andamio por seguridad a las personas que transitan a un lado de dicho andamio.

Al igual que en todos los andamios aquí también se debe de arriostrar el conjunto estructural para que éste tenga más rigidez, las riostras deben de ser colocadas en forma paralela o en zigzag. Es importante mencionar que si por alguna razón las riostras deben de ser retiradas momentáneamente, estas deben colocarse lo más pronto posible.

2.1.1 Amarres

Es necesario comprobar que el andamio se encuentre afianzado al edificio o fachada para que no se produzcan movimientos en dicho andamio, pues se debe de mencionar que para un andamio recubierto el efecto que ocasiona el viento es mayor y puede producir que el andamio se derrumbe.

El amarre que debe de hacerse consiste en atravesar la fachada del edificio con los travesaños, y colocar otro travesaño en forma horizontal pegado al lado opuesto de la fachada y que a su vez este clavado o sujetado a los travesaños insertados para evitar algún tipo de desplazamiento.

2.1.2 Plataformas de trabajo y pasarelas

Para que una plataforma de trabajo en un andamio sea segura ésta debe de estar sujeta firmemente a los travesaños que la soportan. En los lugares donde se juntan las tablas que conforman la plataforma se debe incrementar o duplicar los travesaños y poder espaciarlos de tal manera que las tablas no lleguen a sobresalir más de cuatro veces su grosor, pues si llegan a sobresalir demasiado puede ocurrir que al pararse sobre ellas lleguen a bascularse y en el caso contrario en el que no sobre salen más de 5 cm. (2 pulgadas) puede ocasionar que se zafen fácilmente de su sitio. Es necesario que cada una de las tablas que conforman la plataforma tenga tres soportes para evitar que se tuerza o pandee. Se debe de considerar que el ancho de la plataforma sea lo suficiente para poder desarrollar trabajos sobre ella con total seguridad, entre las dimensiones que pueden utilizarse están las siguientes:

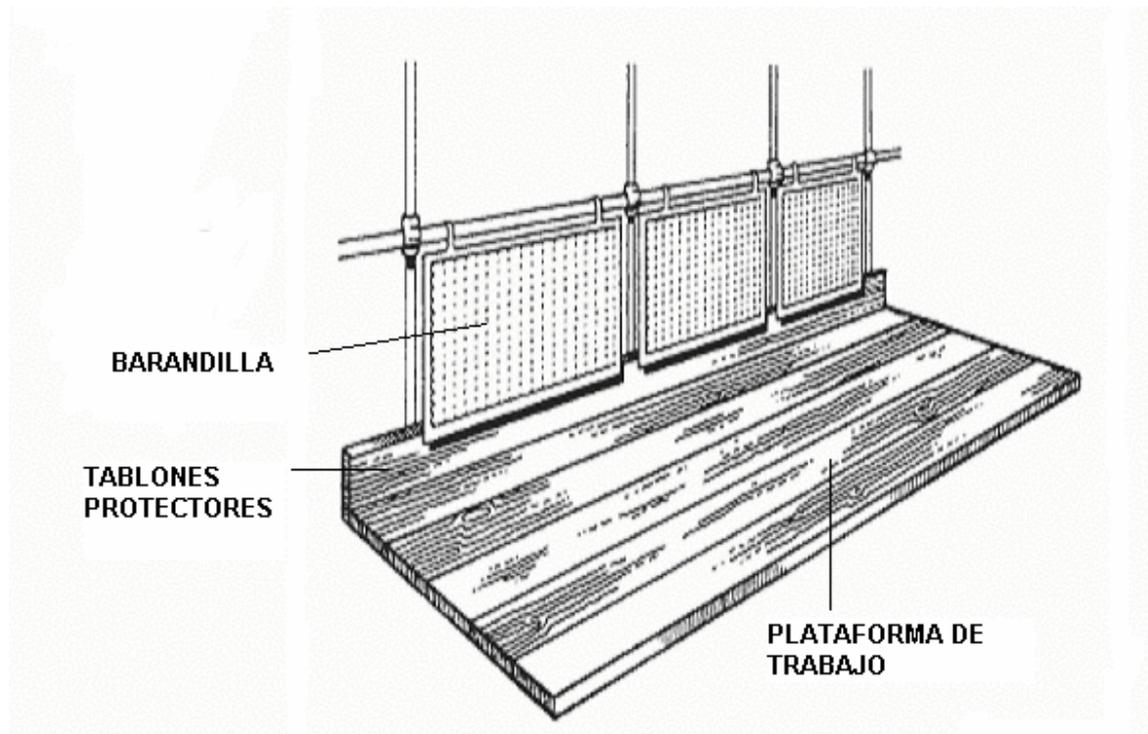
- no menos de 60 cm. si se la utiliza sólo como estribo;
- no menos de 80 cm. si se la usa también para apilar material;
- no menos de 1,1 m si se la usa como soporte de una mesa de caballetes.

Las pasarelas deberán ser preferiblemente horizontales y de un ancho aproximado de 1.50 metros, para que pasen dos personas a la par aun si llevan carretillas. Si su inclinación supera los 20°, o si es probable que su superficie se vuelva resbaladiza con la lluvia, deberán colocarse listones en ángulo recto, con una pequeña brecha en la mitad para permitir el paso de la rueda de las carretillas. Finalmente, hay que tomar medidas para que las tablas no se vuelen con vientos fuertes.

2.1.3 Barandillas y tablonos protectores

Es muy importante que en un andamio sean colocadas barandillas protectoras y tablonos de pies o rodapiés, cuando la altura sea mayor a 2 metros con el fin de evitar caídas. Una barandilla debe de tener una altura entre 0.90 metros y 1.15 metros por arriba de la plataforma. En el caso de los tablonos de pie cuya finalidad es evitar que resbale material por el borde de la plataforma debe de tener una altura mínima de 0.15 metros sobre nivel de plataforma, en los casos donde se apilan materiales sobre dicha plataforma puede colocarse algún tejido de alambre, ver figura 19.

Figura 19. Plataforma de trabajo con barandilla y tabloncsc protectores

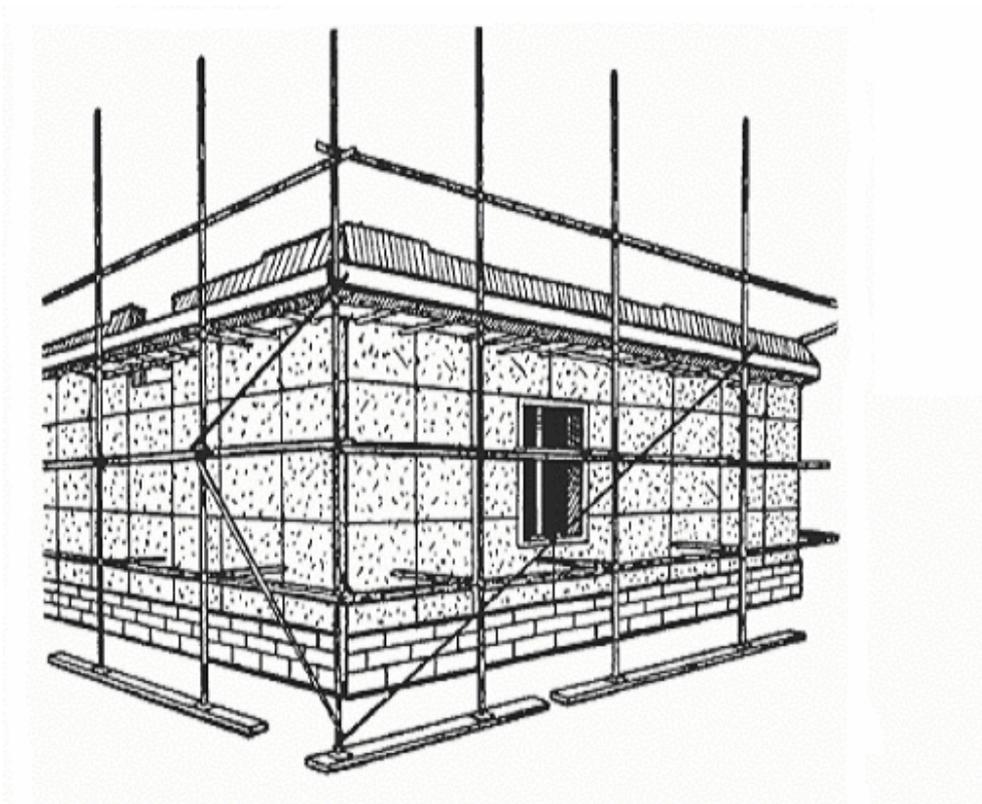


Fuente: página de internet www.training.itcilo.it Abril de 2006

2.2 Andamios de un sólo poste

Para trabajos pequeños muchas veces es utilizado este tipo de andamio que básicamente esta conformado por una plataforma de trabajo que esta sobre travesaños horizontales y que estos a su vez son insertados a la fachada o edificio donde se este trabajando (figura 20).

Figura 20. Andamios de un sólo poste



Fuente: página de internet www.training.itcilo.it Abril de 2006

La parte externa del travesaño es apoyada sobre largueros horizontales y que a su vez se encuentran sostenidos por una hilera de puntales metálicos. La utilización de este andamio es muy común cuando se realizan construcciones de estructuras de ladrillos.

Es muy importante que al igual que para los andamios independientes amarrados, estos también estén sobre una base sólida como tablas por ejemplo. El distanciamiento entre los puntales no debe estar a más de 2 metros uno del otro y 1.3 metros de la fachada. Los largueros no pueden estar a una altura vertical mayor de 2 metros.

Los travesaños deben de tener una separación horizontal de no más de 1.5 metros, para la parte que es incrustada dentro de la fachada no debe de tener una longitud menor a 7.5 cm. (3 pulgadas) para evitar que se salga de su posición y ocasionar algún tipo de accidente.

Cuando el travesaño debe ser incrustado en una estructura vieja puede hacerse insertándolos de forma vertical entre las juntas de los ladrillos. Es de suma importancia que el amarre del andamio con la estructura o fachada quede bien, pues los travesaños pueden llegar a aflojarse con facilidad.

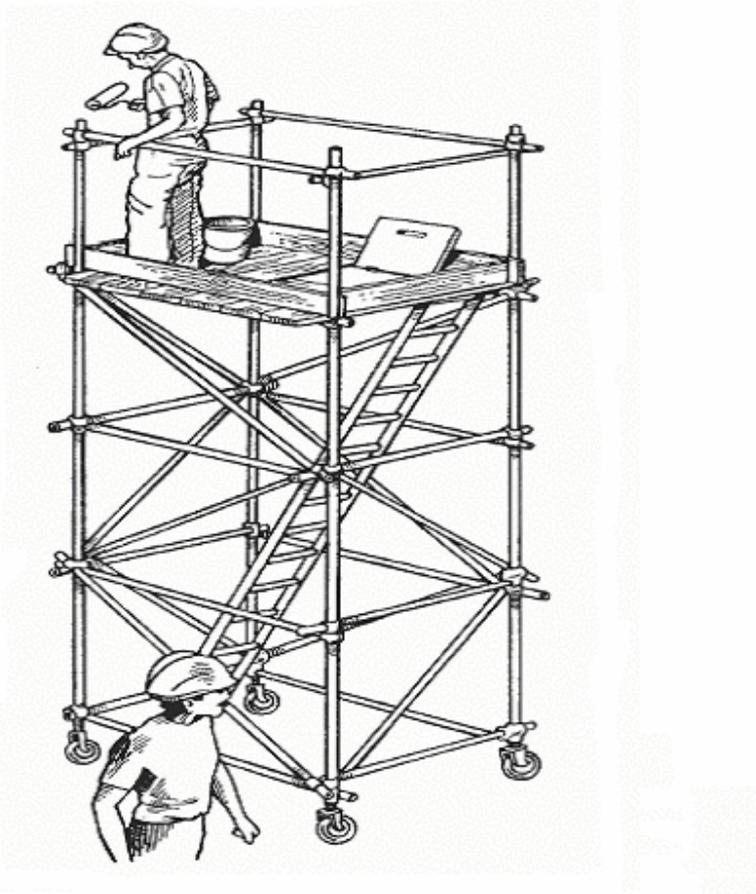
Estos andamios tienen que arriostrarse en toda su altura y extensión. Las riostras deben estar en ángulo de 45° con respecto a la horizontal y a intervalos de 30 m. También debe de considerarse por cuestiones de seguridad, la implementación de barandillas, rodapiés, etc. Para que se pueda evitar cualquier tipo de accidente.

2.3 Andamios de torre

Este tipo de andamio esta conformado por una plataforma de trabajo que es colocada o apoyada sobre largueros horizontales que a su vez están conectados a cuatro parantes o puntales que se encuentran ya sea por placas si el tipo de estructura es fija, o también están sostenidos por ruedas si el tipo de estructura es móvil (figura 21).

Es utilizado para trabajos de pintura, o algún trabajo menor que tienen una duración muy corta de ejecución.

Figura 21. Andamio móvil de torre



Fuente: página de internet www.training.itcilo.it Abril de 2006

2.3.1 Limitaciones de altura

Es importante que se tenga el cuidado que este tipo de andamio al igual que todos los demás logre tener estabilidad. Por eso la relación entre la altura y el ancho de su base debe de ser mayor de 4:1 cuando las condiciones son en una área techada, en el caso de ser al aire libre esta relación es de 3.5:1 para torres fijas, en el caso de las torres móviles, la relación es de 3:1.

En los andamios de torre que son fijos no se debe superar una altura de 12 metros si se encuentra suelto, al ser necesario que el andamio tenga más altura se debe amarrar. Las torres que son móviles, la altura no debe ser mayor de 9.6 metros en caso de estar sueltas al suelo y no más de 12 metros si están amarradas al suelo.

2.3.2 Estructura

Este tipo de andamio debe ser vertical y con el uso de una sola plataforma, debiendo utilizarse en superficies firmes y niveladas, el dimensionamiento puede cambiar según sea necesario, pero los puntales no deben estar distanciados uno del otro a menos de 1,2 metros. Si el andamio es móvil, la rueda no será menor de 0.125 metros de diámetro debidamente aseguradas.

2.3.3 Plataforma de trabajo

Es necesario que esta tenga una abertura con tapa que sirva de acceso por la escalera interna, dicha tapadera debe de tener un seguro que evite que se abra con facilidad y ocasione algún accidente. Al igual que para todos los andamios, esta plataforma de trabajo deberá contar con barandilla y rodapié en los bordes.

2.3.4 Desplazamiento

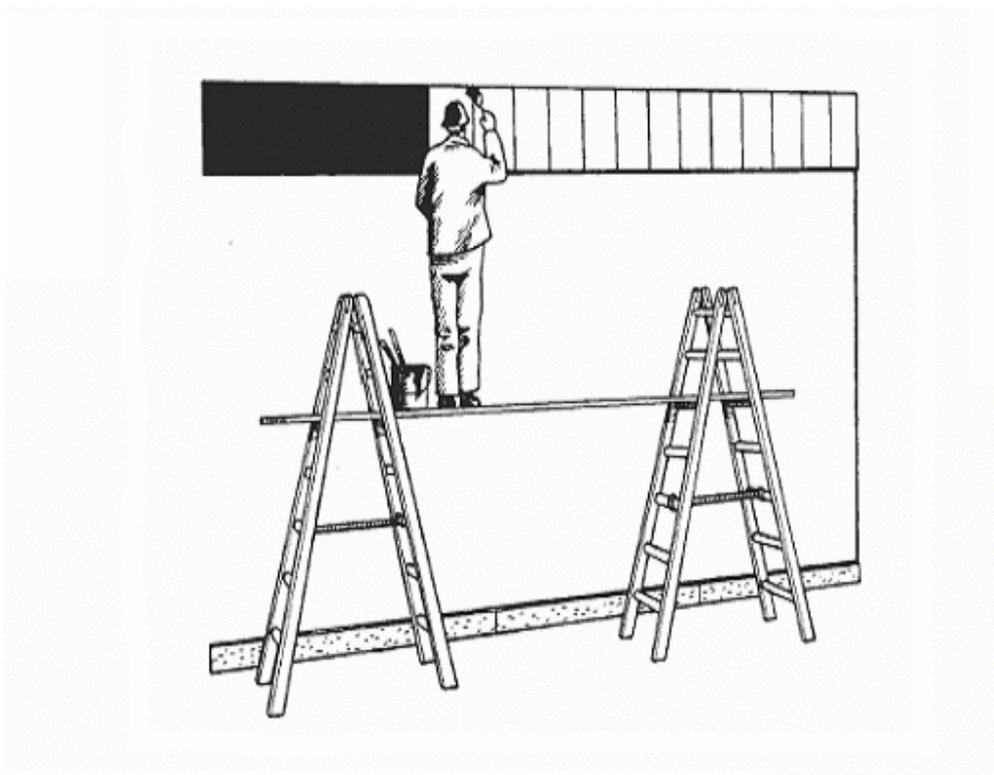
Es muy importante que durante la movilización o desplazamiento de un lugar a otro jamás debe de hacerse cuando este alguna persona o materiales sobre la plataforma de trabajo, pues es muy peligroso tanto para la persona que pudiera estar arriba, como para los que se encuentran abajo.

2.4 Andamio de caballete

Es uno de los andamios más sencillos, pues lo conforma una plataforma de trabajo sostenida por marcos en forma de "A" o también soportes plegables similares.

Este tipo de andamio es exclusivamente para trabajos livianos de naturaleza simple y que su periodo de duración es corto (figura 22). Los caballetes plegadizos deben usarse solamente en andamios de una hilada de altura, y la plataforma de trabajo debe tener un ancho de por lo menos 0.43 m. (dos tablones). Una tercera parte de la altura del caballete deberá alzarse por encima de la plataforma de trabajo. Los soportes rígidos no se utilizarán para andamios de más de dos hiladas de altura, y cuando la plataforma de trabajo se halle a más de 2 m de alto es preciso instalar barandillas y guardapiés. Los andamios de caballete no son adecuados en circunstancias en que una persona pueda caer más de 4,5 m desde la plataforma.

Figura 22. Andamio de caballete



Fuente: página de internet www.training.itcilo.it Abril de 2006

A pesar que es un andamio muy sencillo, también se deben de ser colocados sobre una base estable y nivelada, tomando en cuenta que para evitar desplazamientos deben estar fijos. El caballete debe de encontrarse lo suficientemente tensado para que el elemento tenga la capacidad de no permitir movimientos laterales. El distanciamiento entre caballetes no debe ser mayor de 1.35 metros cuando se utilizada como plataforma de trabajo tabla de 3.8 cm. (1 1/2 pulgada) de grosor, y un distanciamiento no mayor a 1.5 metros si el grosor de la tabla es de 5 cm. (2 pulgadas).

3. RELACIÓN COSTO-BENEFICIO EN EL USO DE ANDAMIOS

3.1 Análisis de costos y vida útil en acero

El costo de un andamio metálico es relativamente bajo en relación al periodo de vida útil del mismo, pues si se le da un buen mantenimiento a la estructura en si, es decir, almacenaje, limpieza, ser colocados en el montaje y desmontaje con cuidado, etc., el andamio puede ser útil en muchas ocasiones lo cual redunda en economía para el constructor.

El costo de un andamio metálico esta relacionado con el costo del acero, pues el mercado de este material es variable y no se mantiene fijo, al hacer mención del costo del acero se tiene que involucrar el proceso de fabricación que hace que también se incremente hasta tener el producto final.

Los incrementos que se dan en el alquiler y venta de andamios metálicos están relacionados con la creciente demanda del acero en el mundo, pues es utilizado para muchos fines, lo que hace que el mercado se mantenga en una exigencia constante de este material y que en ocasiones la producción no se de abasto y se incremente su valor.

En relación al periodo de vida útil se puede mencionar que no es lo mismo utilizar un andamio metálico en un clima templado que en zonas cercanas al mar, pues es necesario la aplicación de alguna pintura especial pues el fenómeno que ocurre en el acero ocasionado por la atmósfera que contiene sal es conocido como corrosión y consiste en un deterioro progresivo de la estructura expuesta a la acción de la atmósfera marina que en cuestión de costos afecta pues sería necesario en periodos prolongados de tiempo comprar nuevamente nuevos elementos estructurales del andamio.

También es necesario para poder tener un largo periodo de vida útil de los andamios metálicos que los elementos que conforman la estructura del andamio deben estar rígidamente unidos entre si mediante accesorios específicamente diseñados para este tipo de estructura, pues de lo contrario puede ocasionar que la estructura se afloje y poco a poco pierda sus propiedades de diseño.

Es necesario para prolongar la vida útil de los andamios metálicos que estos estén reforzados en sentido diagonal y a intervalos adecuados en sentido longitudinal y transversal, pues esto sirve para arriostrar la estructura y evitar que se ocasionen deformaciones en el mismo debido a la carga que le sea aplicada.

3.2 Análisis de costos y vida útil en madera

Durante el desarrollo de un proceso constructivo es importante el seleccionar el equipo que utilizaremos para tener mejor rendimiento en calidad y en economía, de igual forma el tipo de material que utilizaremos es importante pues se tiene que evaluar el costo y el rendimiento o vida útil del material que seleccionemos.

Cuando se necesita construir un andamio y se plantea el construirlo de madera es necesario tener en cuenta que tanto el costo como el periodo de vida útil es distinto a un andamio metálico y es necesario hacer un balance de la diferencia que existe entre uno y otro tipo.

Cuando se habla de costos se hace mención al valor con el cual se compra la madera en un aserradero, esta no tiene que ser una madera fina, pues el uso que se le dará será para ser parte de un equipo de trabajo en donde únicamente se tiene que tener cuidado con los nudos que presenten los componentes de madera, entiéndase párales, tablones, travesaños, por ende se considera que un andamio de madera se utiliza del tipo rustica.

Los costos de la madera tipo rustica en el mercado no varían demasiado, pues es madera que no tiene gran demanda en acabados.

El periodo de vida útil de la madera también tiene que ver con la carga que le sea aplicada como también el periodo de aplicación, pues la carga que tenga que soportar puede ser mayor a la resistencia de la madera y producir pandeo o fracturas en ella que impida su reutilización.

Es importante considerar que para que los andamios de madera prolonguen su vida útil debe de existir un manejo adecuado de los componentes del andamio, es decir que se apilen de forma ordenada y clasificada, así también en su almacenaje hay que tomar en cuenta que sea en un lugar cubierto de la lluvia y el sol, pues esto ocasiona daños a las estructuras de madera provocando que disminuya su resistencia y por ende el periodo de vida útil de la misma.

3.3 Comparaciones económicas en madera

Como análisis de evaluación entre andamios metálicos y de madera se desarrolla el siguiente ejercicio en el que se tratara de evaluar que tipo de andamio tiene mayor beneficio.

Si consideramos que necesitamos un andamio para una distancia lineal aproximada de 10 metro y una altura de 1.60 metros se analizara que tipo de andamio es más conveniente.

Andamio metálico:

El andamio metálico se considera como elemento estructural y si se contempla una separación de 2 metros entre marcos es necesario adquirir 5 elementos, en el mercado se puede adquirir un andamio metálico a precio promedio de Q 700.00, entonces si se considera que son 5 elementos será:

$$5 \times Q 700 = Q 3,500.00$$

A este valor se le debe de agregar el de los tablones de madera de pino rustico que es lo que generalmente se utiliza, los tablones que se utilizan son de 2" x 12" x 10 pies, es decir que cada tablón tiene un largo de 10 pies = 3 metros, para cubrir la distancia se utilizan 4 tablones por los empalmes entre tablones, también se utilizan 3 filas de tablones que servirá como piso del andamio, ósea que se tiene que utilizar:

$$4 \text{ tablones} \times 3 \text{ filas} = 12 \text{ tablones}$$

El precio promedio de pie tabla de pino rustico es de Q 4.20, en un tablón con las dimensiones anteriores el precio por tablón es de Q 84.00, entonces el precio por el total de los tablon es de:

$$12 \text{ tablon es } \times \text{ Q } 84.00 = \text{ Q } 1,008.00$$

Entonces al hacer la integraci3n del valor del andamio de metal m3s la madera es:

$$\text{Q } 3,500.00 + \text{Q } 1,008.00 = \underline{\underline{\text{Q4,508.00}}}$$

Andamio de madera:

Para la construcci3n de un andamio de madera es necesario considerar las partes que lo componen, es decir, los párales, travesaños y el tabl3n para caminar sobre el andamio.

El tabl3n que se puede utilizar es el mismo que para andamios de metal, los párales pueden ser de 3" x 4" x 10 pies y los travesaños de 2" x 2".X 9 pies

Entonces al usar párales hay que darles una profundidad de aproximadamente 0.50 metros bajo el nivel del suelo y separados uno del otro a cada 2 metros longitudinalmente y transversalmente a 1.50 metros, entonces se tendr3 de la siguiente manera:

$$\text{Profundidad} + \text{altura del andamio} = \text{longitud del paral}$$

$$0.50 \text{ metros} + 1.60 \text{ metros} = 2.10 \text{ metros}$$

A lo largo de los 10 metros de andamio será necesario la colocación de 12 párales, en el mercado se puede comprar párales con una longitud de 3 metros, por ende se deben comprar 12 postes debido a que no es seguro añadir partes para formar un paral del andamio. El valor de dichos párales será de:

$$Q 42.00 \text{ por paral} \times 12 \text{ párales} = Q 504.00$$

Los travesaños que se utilizaran para arriostrar el elemento por seguridad serán cuatro por elemento o marco del andamio, a lo largo de los 10 metros de andamio que se desean construir se utilizaran:

$$4 \text{ travesaños} \times 5 \text{ elementos} = 20 \text{ travesaños}$$

El valor de cada travesaño es de Q 12.60, entonces el valor por el total de travesaños es de:

$$20 \text{ travesaños} \times Q 12.60 = Q 252.00$$

El valor por los tablonos es el mismo que resulto para los andamios metálicos, dicho monto es de Q 1,008.00.

También podemos considerar el precio del clavo para armar el andamio, por lo regular se utiliza clavo de 3" y se calcula un aproximado de 5 libras de clavo para poder armar el andamio a lo largo de los 10 metros, se considera un precio promedio de clavo de 3" de Q 3.50 por libra, entonces:

$$5 \text{ libras} \times Q 3.50 = Q 17.50$$

Al efectuar la sumatoria de los montos de los diferentes elementos que conforman el andamio de madera el resultado es el siguiente:

$$Q 504.00 + 252.00 + Q 1,008.00 + 17.50 = \underline{\underline{Q 1,781.50}}$$

En este tipo de análisis se puede observar que definitivamente al comparar los 2 tipos de andamios, el de metal con un precio de Q 4,508.00 y el de madera con un precio de Q 1,781.50 el que más conviene por su precio es el de madera, haciendo la salvedad que este análisis solo enmarca la utilización de este andamio una sola vez.

Sin embargo si se hace un análisis más detallado en relación a la cantidad de veces que se puede utilizar cada uno de estos andamios se puede observar que por las características de cada uno de ellos en relación al material de que están hechos se puede decir que un andamio de madera puede ser utilizado en un promedio de 5 veces, pues la madera tiende a sufrir desgastes y deformaciones lo que ocasiona que su resistencia disminuya, aun cuando se llegue a tener el cuidado necesario en relación a su montaje, desmontaje y almacenamiento.

El andamio metálico puede ser utilizado muchísimas más veces que el de madera, debido a las características del acero que es un material resistente a la compresión y por ser dúctil, definitivamente también tiene que ver la forma cuidadosa de manejo, es decir, tener el cuidado en su montaje y desmontaje, como de igual forma el almacenaje de cada una de las partes que lo conforman.

De igual forma se puede hacer un análisis en relación al tiempo-costo, es decir, se pueden analizar ambos tipos de andamios para un periodo de tiempo en años de utilización cuando son utilizados en forma frecuente, para lo cual se puede utilizar la formula de valor presente aplicándola únicamente a la inversión y poder evaluar cual de los dos tipos de andamios nos resulta más económico en cuestión de costos.

Se puede ejemplificar con las mismas especificaciones del ejemplo anterior y que se incrementa el periodo de utilización en 5 años, tomando en cuenta que para un proyecto promedio por año se utiliza el andamio unas 10 veces, de igual manera se tiene que considerar un gasto de montaje/desmontaje, mantenimiento y almacenaje, este valor de incremento se puede considerar como un valor fijo anual, también se aplica un i anual = 12% y un valor de rescate para el andamio metálico del 30 % del valor inicial y en el de madera su valor de rescate es cero, se considera que al utilizar 5 veces el andamio de madera debe efectuarse un gasto del 50 % de su valor inicial para reponer la madera dañada.

En un andamio metálico el análisis es el siguiente:

Si se considera que anualmente el andamio es utilizado unas 10 veces y que en promedio la madera se utiliza es única y exclusivamente para formar la plataforma de trabajo, se puede considerar que esta madera se le hará un gasto al final de las 10 veces de uso del 50 % del valor total de la madera para reponer la que este dañada.

En el primer año se efectúa la siguiente operación:

Valor del andamio metálico + valor de la madera

$$Q 3,500.00 + Q 1,008.00 = Q 4,508.00$$

Anualmente al ser utilizado la madera 10 veces debe reponerse el 50 % de la madera a un costo de:

$$Q 1,008.00 \times 50 \% = Q 504.00 \text{ anual}$$

El precio promedio de armado y mantenimiento del metro lineal de andamio metálico es de Q 5.00, entonces al multiplicar los 10 metros lineales por las 10 veces de uso el resultado es el siguiente:

$$Q 5.00 \times 10 \times 10 = Q 500.00$$

Si a este valor le sumamos entre el 1.5% al 2 % del valor del andamio metálico como gasto de almacenaje entonces tendremos:

$$Q 500.00 + Q 50.00 = Q 550.00 \text{ anual}$$

La fórmula de Valor Presente Neto (VPN) dice:

$$\text{VPN} = \text{Ingresos} - \text{gastos}$$

$$\text{VPN} = (I) \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} + (R) \times \frac{1}{(1+i)^n} - \text{invi} - (G) \times \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$

Donde I = ingresos

G = gastos

i = interés

n = número de años

R = valor rescate

Invi= inversión inicial

$$\begin{aligned} \text{VPN} = & 0 + (3500 \times 0.3) \times \frac{1}{(1 + 0.12)^5} - 4508 - (504) \times \frac{(1 + 0.12)^4 - 1}{0.12 (1 + 0.12)^4} \\ & - (550) \times \frac{(1 + 0.12)^5 - 1}{0.12 (1 + 0.12)^5} \end{aligned}$$

$$\text{VPN} = \underline{\underline{- Q 7,425.65}}$$

El valor con signo negativo se debe a que para objeto del análisis únicamente se consideraron los gastos del andamio metálico y poder determinar cuanto se gastaría al final del periodo en valor presente.

En un andamio de madera el análisis es el siguiente:

Se considera que al utilizar 5 veces el andamio de madera debe efectuarse un gasto del 50 % de su valor inicial para reponer la madera dañada debido a que durante su uso esta tiende a sufrir daños en su resistencia y en su estructura pues sufre desgastes que ocasionan que se de este gasto.

Se hace una inversión inicial de Q 1,764.00 en concepto de madera únicamente (según ejercicio anterior para la madera).

Si al término de 5 usos es necesario cambiar el 50% de la madera en el año que se utiliza esta 10 veces entonces habrá que cambiarla 2 veces, entonces la operación es la siguiente:

$$Q 1,764 \times 50\% \times 2 = Q 1,764.00 \text{ anual}$$

El precio promedio de armado y mantenimiento del metro lineal de andamio de madera es de Q 7.50, entonces al multiplicar los 10 metros lineales por las 10 veces de uso el resultado es el siguiente:

$$7.50 \times 10 \times 10 = Q 750.00 \text{ anual}$$

También dentro del armado del andamio se debe tomar en cuenta la cantidad de clavo de 3" que será utilizada para dicho fin, si con anterioridad se menciona que son necesarias 5 libras de clavo por cada vez que se arme el andamio y que el precio por libra de clavo es de un promedio de Q 3.50, entonces el valor al término de los diez usos a lo largo del año es de:

$$Q 3.50 \times 5 \times 10 = Q 175.00$$

Si por almacenaje se considera un valor entre el 5 % y el 6% del valor inicial del andamio de madera se puede tomar un valor de Q 100.00

Al efectuar la sumatoria de gastos de montaje/desmontaje, mantenimiento y almacenaje da como resultado:

$$Q 750.00 + Q 175.00 + Q 100 = Q 1,025.00 \text{ anual}$$

Ahora teniendo el total de gastos para el andamio de madera se puede encontrar el Valor Presente Neto (VPN) de la misma manera como se realizo para el andamio metálico, entonces al aplicar la formula el resultado es el siguiente:

$$VPN = 0 - 1764 - (1764) \times \frac{(1 + 0.12)^{4.5} - 1}{0.12 (1 + 0.12)^{4.5}} - (1025) \times \frac{(1 + 0.12)^5 - 1}{0.12 (1 + 0.12)^5}$$

$$\underline{\underline{VPN = - Q 11,331.43}}$$

El valor con signo negativo se debe a que para objeto de el análisis únicamente se consideraron los gastos del andamio de madera y poder determinar cuanto se gastaría al final del periodo en valor presente.

Al efectuar la comparación económica entre un andamio metálico y un andamio de madera en relación a los costos o inversión durante un periodo de tiempo prolongado de 5 años y con una cantidad de 10 usos por año se puede observar que definitivamente el andamio metálico genera menos costos de inversión y mantenimiento a lo largo de los 5 años, por lo que se puede concluir que definitivamente es mucho más conveniente hacer una inversión inicial mayor para el andamio metálico pues a lo largo de los 5 años no será demasiada la inversión que se debe de ejecutar a diferencia del andamio de madera que su inversión inicial es más pequeña pero los costos de mantenimiento, uso, renovación, etc. son más elevados a lo largo del periodo que ha sido objeto de análisis.

4. MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD EN EL USO DE ANDAMIOS METÁLICOS

4.1 Revisiones de mantenimiento

Un cuidado que se debe de tener con el uso de andamios metálicos es lo relacionado a su mantenimiento, un problema que ocurre especialmente en zonas cuyos climas son húmedos o que ocurren frecuentemente cambios severos en la atmósfera es la oxidación de los elementos que conforman un andamio metálico.

Para que un andamio sea seguro es necesario que se realice un mantenimiento adecuado a cada una de las piezas, ya que de esa forma podrán ser reutilizados las veces que sea necesario. De igual manera, en el momento de ser almacenados deben de ser inspeccionados para verificar si existen piezas que se encuentren deformadas o deterioradas para que sean retiradas, pues estas no garantizan una resistencia adecuada al andamio como conjunto estructural. En el caso de los que si son encontrados en buen estado, es recomendable darles una limpieza general y en algunos casos aplicarles pintura anticorrosiva.

Luego de ser limpiados y pintados, deben de almacenarse en una forma correcta y ordenada con el propósito de facilitar los posteriores usos.

Los andamios metálicos deben de ser almacenados en lugares cubiertos tales como bodegas, con el propósito de evitar que las piezas metálicas presenten corrosión u oxidación debido a la lluvia por ejemplo. Al momento de verificar que existen piezas que presentan algún tipo de daño corrosivo se puede tomar la opción de pintarlas o desecharlas.

Se debe de efectuar una revisión semanal o a lo sumo quincenalmente del estado general del andamio con el fin de comprobar que se encuentra en buenas condiciones para seguridad de los trabajadores, en el momento en que se produzca algún fenómeno natural es importante que se evalúe nuevamente el estado del andamio.

4.2 Principios de seguridad en el uso de andamios

Cuando sea necesario la utilización de un andamio en un proceso constructivo, se debe de evaluar o tomar en cuenta que cantidad de estos se necesitan, el dimensionamiento que se requiere de los mismos, el tipo de arriostramiento, el apoyo sobre el terreno, en fin, todo lo que esta relacionado para que el andamio presente estabilidad y sobre todo, seguridad a las personas que los utilizaran.

Es necesario que las piezas de unión en el andamio sean lo más estable y seguras para el conjunto estructural, y que no provoquen que el elemento presente una débil resistencia.

Es de suma importancia que cuando un andamio deba de ser sujetado a una fachada, se tengan los suficientes puntos de anclaje o sujeción, para que sea seguro y estable y pueda evaluarse si se pueden suprimir parcialmente por necesidad del lugar de trabajo los arriostramiento colocados en el andamio.

En un andamio metálico se hace necesario muchas veces la implementación de piezas de madera, es muy importante que la madera que se utilice tenga algunas características como por ejemplo, que tenga fibras largas y preferiblemente sin nudos, si los llegan a tener, estos no deben de tener más de la cuarta parte de la sección transversal de la pieza, teniendo el cuidado de no colocarla en sitios vitales de carga de trabajo.

El conjunto estructural del andamio debe de estar debidamente reforzado por travesaños para garantizar su estabilidad.

Es de mencionar también que los elementos que sirven para sostenerla plataforma de trabajo deben de ser sólidos.

En ningún momento se debe de sobrecargar con material las plataformas de trabajo, teniendo únicamente el que sea necesario, pues al estar sobrecargada la plataforma merma o disminuye la resistencia de todo el conjunto estructural.

Se debe de considerar también, en el aspecto de la seguridad, la señalización tanto para los trabajadores, como por ejemplo, rótulos de andamiaje incompleto, riesgo eléctrico, etc., así como también para las personas que transitan por el área, como por ejemplo, rótulos de caída de objetos.

Esta señalización debe de poderse observar durante la noche, en el caso en que el andamio sea necesario colocarlo en áreas publicas, se de implementar medidas de seguridad como la colocación de redes para evitar un accidente por la caída de objetos desde la plataforma de trabajo.

Algunas de las señales que se pueden observar son las de la figura 23.

Figura 23. Señalización utilizada en el uso de andamios



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

4.2.1 Causas de accidentes en los andamios

Debido a que se conoce muy poco sobre las medidas de seguridad que se deben de implementar en la utilización de andamios, estos tienen un mal manejo, lo que ocasiona accidentes que provocan una serie de lesiones a las personas y un incremento en los costos por cubrir dichos daños.

Un accidente con un andamio puede ser provocado por una serie de causas comunes, entre estas están las siguientes:

Cuando algún trabajador sufre una caída desde la parte superior del andamio, puede ser por diferentes motivos, tales como:

-No se cuenta con protecciones individuales como arneses durante el montaje o desmontaje del andamio, así como también, hacerlo de una forma incorrecta.

-El ancho de la plataforma de trabajo no es suficiente.

-No se colocan en las plataformas de trabajo barandillas de seguridad cuando hay personas trabajando en ellas.

-Para subir a la plataforma de trabajo no utilizan los trabajadores una escalera, prefieren muchas veces subir por la estructura del andamio.

-La separación que hay entre el andamio y la fachada o edificación es demasiado grande.

-Debido a que el andamio no esta bien apoyado o sujetado al suelo produce que se voltee.

-Por sobrecargas la plataforma de trabajo del andamio o un mal empleo en la utilización de la misma.

Las causas que provocan que un andamio se derrumbe pueden ser varias, entre estas están las siguientes:

-El suelo o superficie de apoyo se hunde.

-Son utilizados en el montaje del andamio materiales que no son recomendables para apoyarlo, como por ejemplo, ladrillos o bovedilla.

-Se producen deformaciones o roturas en los elementos que conforman el conjunto estructural.

-El montaje del andamio no se hace de la manera correcta.

-Se debe de tomar en cuenta también el efecto que produce el viento sobre la estructura y las condiciones del clima como por ejemplo la lluvia.

También se producen accidentes por caída de materiales a personas y bienes, entre las causas están las siguientes:

-Se produce una volcadura o hundimiento del andamio.

-No se implementa en la plataforma de trabajo la colocación de barandillas protectoras y rodapiés.

Otro tipo de accidentes son los que se ocasionan por hacer contacto con cables eléctricos de alta tensión, esto debido a que se colocan los andamios muy próximos a dichos cables.

4.2.2 Seguridad en el montaje de andamios

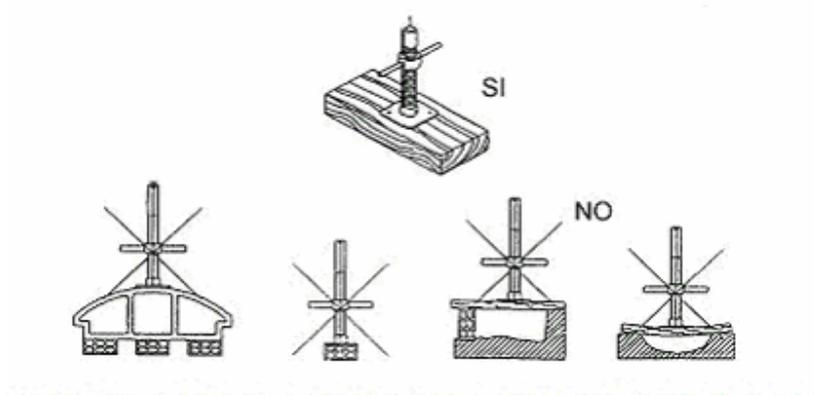
Es necesario que el andamio sea dimensionado adecuadamente para poder tener movilidad dentro de la estructura, así como el tipo de andamio que se desea montar.

Los puntales metálicos que sean utilizados para el montaje de andamios no deben de haber sido usados para otros fines, así como comprobar que se encuentren en perfecto estado.

Se debe de verificar el terreno sobre el cual será montado el andamio, para que éste sea colocado en un lugar estable mediante la colocación de apoyos.

Es sobre una superficie plana mediante compactación o colocación de tablas que debe de montarse el andamio, en ningún momento debe de hacerse sobre ladrillos, terreno inestable, etc., ver figura 24.

Figura 24 Apoyo correcto e incorrecto de los andamios



Fuente: página de internet www.estrucplan.com.ar Abril de 2006

4.2.3 Seguridad en la utilización de andamios

Al hablar de la seguridad en la utilización de andamios se refiere al modo de cómo efectuar trabajos en la estructura y que siguiendo las indicaciones de seguridad, se pueda trabajar sobre él.

Para que un andamio pueda ser utilizado para realizar trabajos, debe de cumplir con una serie de condiciones de seguridad, tales como:

- El andamio deberá ser capaz de resistir los esfuerzos a los que sea sometido en la realización del trabajo, para lo cual se puede realizar una prueba de carga previa a ser utilizado.

- El andamio debe de montarse, utilizando elementos con los cuales se pueda fácilmente acceder y circular por el mismo, teniendo en cuenta que debe de ser en una forma segura.

- Se debe de tomar en consideración que se debe de tener cuanto elemento de montaje sea necesario, para que las personas que los utilicen en la ejecución de los trabajos tengan la garantía que se encuentran trabajando sobre un conjunto estructural seguro y que cumple con los requerimientos necesarios para que puedan desarrollar sus labores.

- En la utilización de andamios, también es necesario tomar en cuenta un elemento que facilite el acceso a la plataforma de trabajo, este elemento es la escalera, el ancho mínimo para una escalera es de 0.40 metros, pero es recomendable que no sea menor a 0.50 metros.

- El hecho de que exista una trampilla en la plataforma de trabajo para poder subir por la escalera es aceptable con la recomendación que dicha trampilla pueda ser abatible y con un seguro para que al momento de estar sobre la plataforma de trabajo se pueda cerrar sin ningún riesgo de que se abra.

- Cuando las escaleras son colocadas verticalmente, es necesario que estén provistas de guarda cuerpos, para que la persona tenga la seguridad de que no caerá al resbalarse para atrás.

- Cuando se realicen trabajos nocturnos o en zonas con poca o nula iluminación natural, los andamios se deberán iluminar de forma artificial mediante lámparas en todo el alrededor del andamio.

- Es recomendable que cuando un andamio sea utilizado por primera vez después de haber sido montado se realice un reconocimiento del mismo y que sea sometido a la aplicación de una prueba a plena carga para comprobar que es confiable y seguro trabajar en él.

4.2.4 Uso correcto e incorrecto de utilizar andamios

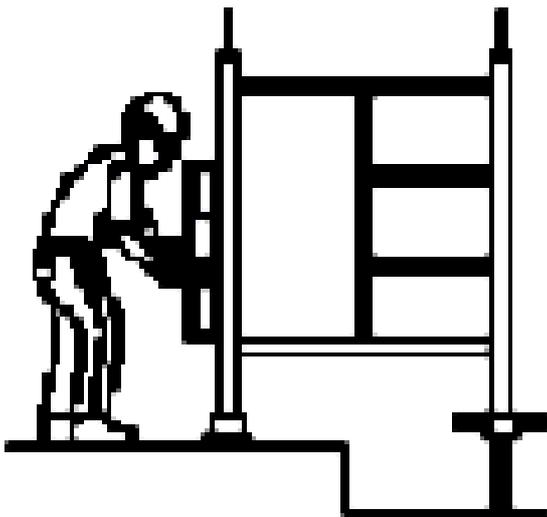
Se debe de hacer un uso correcto de los andamios para todo tipo de trabajo del cual se requiera su utilización, con el fin de prevenir accidentes cuando se encuentren personas trabajando en ellos.

Muchas veces por falta de una orientación adecuada o por descuidos propios de los trabajadores, se les da a los andamios metálicos un uso incorrecto, lo que ocasiona que estos no sean seguros para poder trabajar en ellos y que se produzcan o se ocasionen lesiones a causa de accidentes que vienen a perjudicar al trabajador como al trabajo en sí y en ocasiones a terceras personas como lo pueden ser los peatones que pasan debajo o aun lado del andamio.

Es por ello que es muy importante conocer la manera correcta de utilizar andamios metálicos, así como la forma incorrecta de su uso. Para poder tener un mejor concepto o una mejor forma de visualización a continuación se explica por medio de gráficos el uso correcto e incorrecto para andamios metálicos:

- Todo tipo de andamio debe ser instalado de tal forma que quede nivelado en sentido vertical y horizontal, se dan los casos en que es necesario la colocación de apoyos por la mala nivelación del terreno, estos apoyos deben de ser sólidos y resistentes. La forma correcta se presenta en la figura 25 y la forma incorrecta en las figuras 26 y 27.

Figura 25. Forma correcta de nivelación



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

Figuras 26. Forma incorrecta de nivelación A

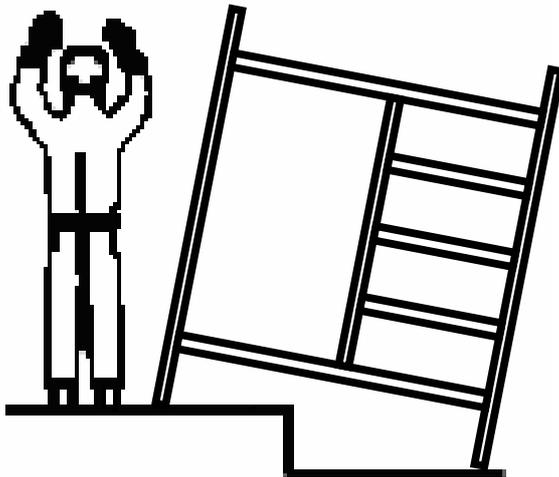
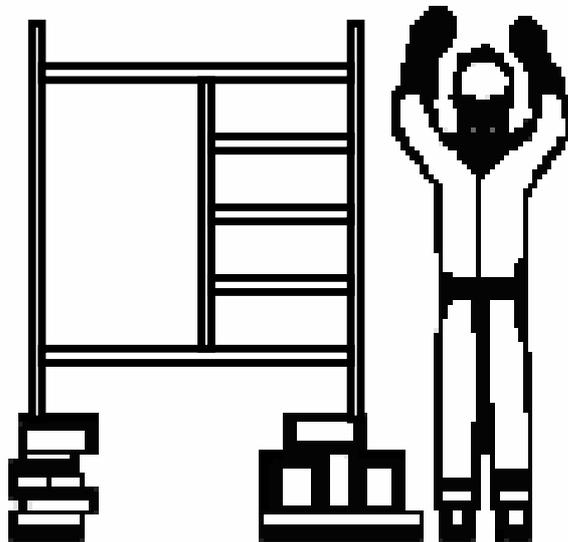


Figura 27. Forma incorrecta de nivelación B



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

- El conjunto estructural del andamio debe de proporcionar seguridad, dicha seguridad debe de estar dada desde los apoyos de la estructura, hasta su instalación completa. La forma correcta es presentada en la figura 28 y la forma incorrecta en la figura 29.

Figura 28. Forma correcta

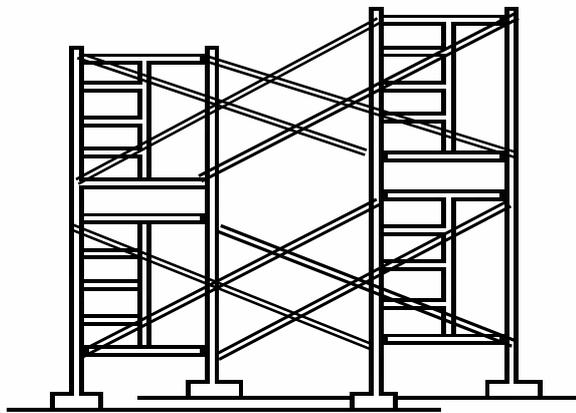
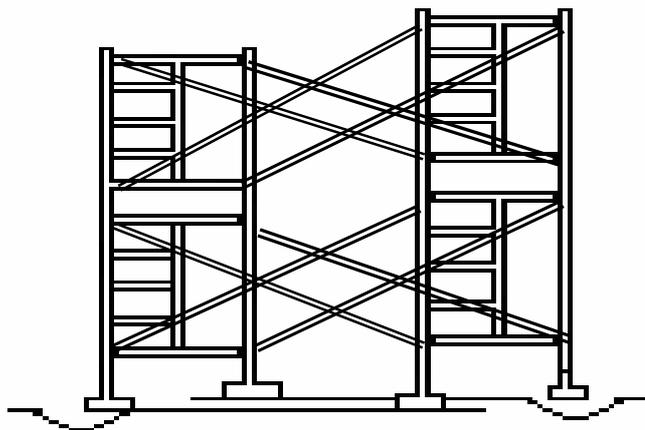
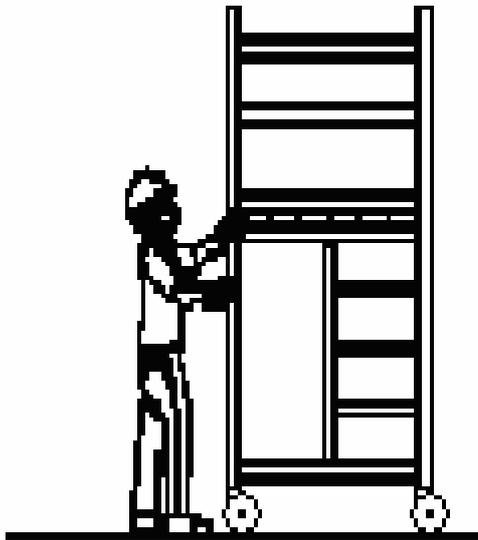


Figura 29 Forma incorrecta



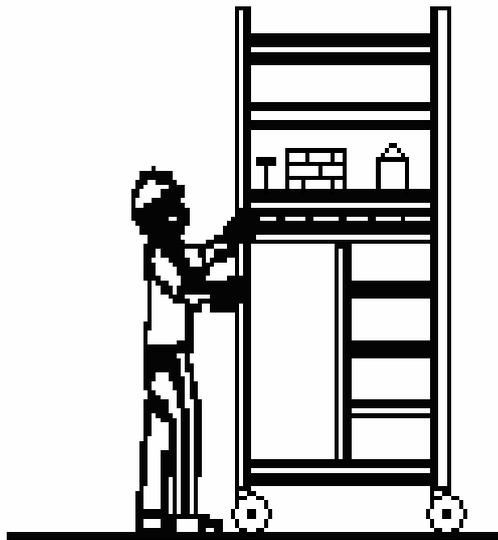
- En muchas ocasiones es necesario mover un andamio de un lugar a otro, por lo que se les implementan ruedas para que tengan desplazamiento, al mover el andamio no debe de estar sobre su plataforma de trabajo ninguna persona ni materiales que puedan resbalar y ocasionar un accidente. La forma correcta esta indicada en la figura 30 y la incorrecta en la figura 31.

Figura 30. Forma correcta de movilizar



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

Figura 31. Forma Incorrecta de movilizar



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

- Cuando se colocan en un andamio como plataforma de trabajo piezas de madera, o sea tablones, se deben de afianzar entre si utilizando clavos, alambre o cuerdas, por ningún motivo quedaran sueltos. La figura 32 muestra la manera correcta de uso y la figura 33 la manera incorrecta.

Figura 32. Forma correcta de los tablones

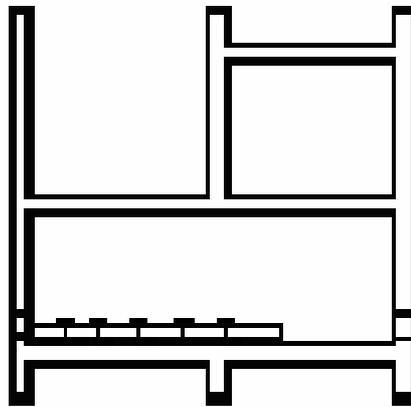
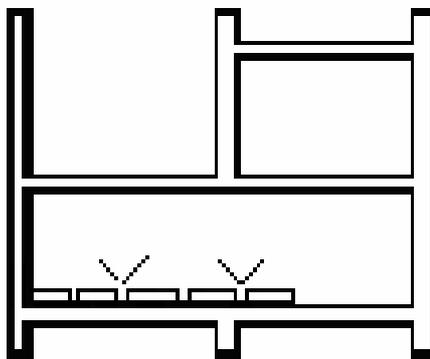


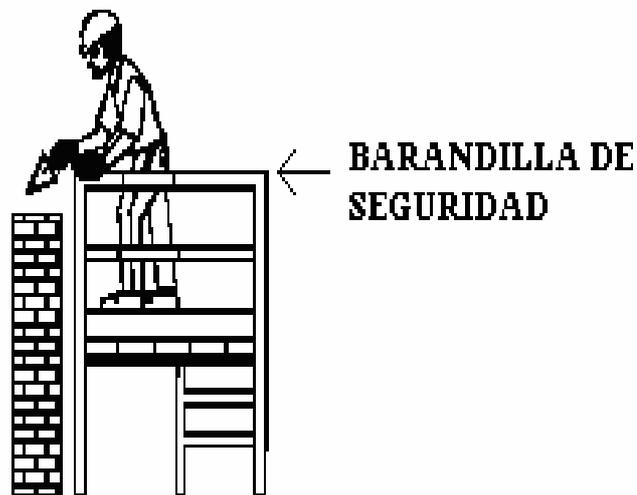
Figura 33. Forma incorrecta de los tablones



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

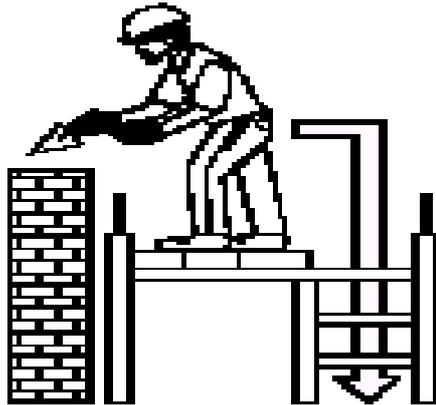
- La colocación de barandillas de seguridad en un andamio es de suma importancia, por el aspecto de seguridad para las personas que trabajan en ellos. Entre el uso correcto del andamio también se menciona la utilización de la barandilla (figura 34) y como uso incorrecto, la no utilización de este elemento de seguridad (figura 35).

Figura 34. Forma correcta por usar barandilla



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

Figura 35. Forma incorrecta por no usar barandilla



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

- La colocación de barras diagonales para que el conjunto estructural este arriostrado es una forma correcta de utilización del andamio (figura 36) para que no se produzcan ladeos en el conjunto. El no hacerlo provocara que el conjunto no sea seguro, por ende es una forma incorrecta de usarlo (figura 37).

Figura 36. Forma correcta por estar arriostrado

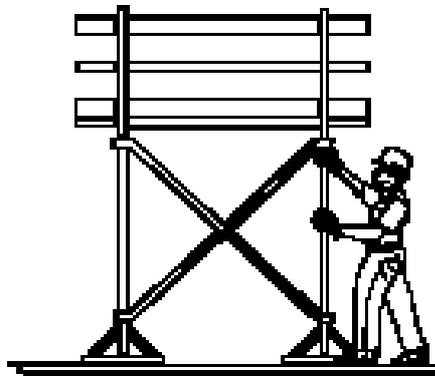
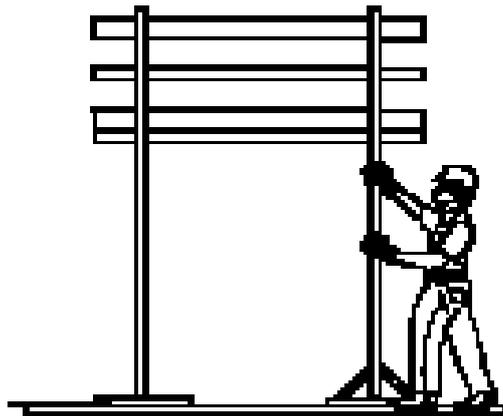


Figura 37. Forma incorrecta por no estar arriostrado



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

- Para que la plataforma de trabajo de un andamio sea segura, no debe de existir una separación entre apoyos mayor a dos metros (figura 38), una separación mayor puede ocasionar algún tipo de accidente por ser una forma incorrecta de uso (figura 39).

Figura 38. Forma Correcta no mayor de dos metros

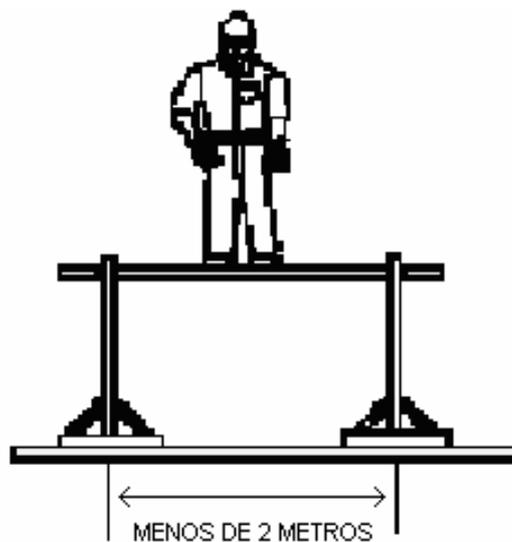
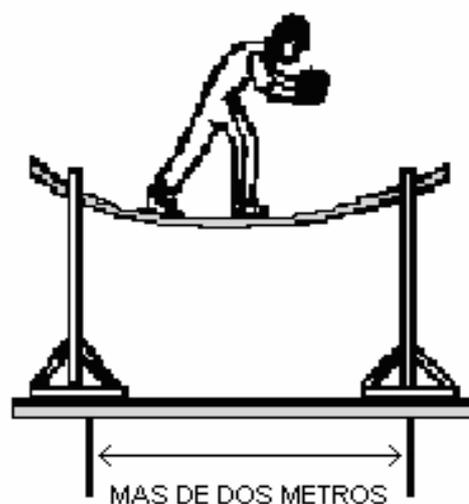


Figura 39. Forma Incorrecta mayor de dos metros



Fuente: página de internet www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

4.3 Recomendaciones para inspeccionar un andamio

Para poder realizar una buena inspección a un andamio debe de relacionarse todo lo concerniente al montaje, la seguridad, su utilización, etc., para que todo el elemento estructural tenga un buen desempeño durante la realización de trabajos, es necesario tomar en cuenta para la inspección lo siguiente:

Es necesario la implementación de medios auxiliares como escaleras para subir o bajar a un andamio cuando este se encuentre a más de 0.60 metros por arriba o por debajo de un nivel de piso.

El andamio debe estar montado sobre una base firme, como por ejemplo, tablas de madera que tengan una longitud igual al lado corto del andamio pasando debajo de los puntos de apoyo y que sobresalgan de ambos lados por lo menos 0.30 metros.

Cuando un andamio se encuentre en la situación que su relación de altura con su ancho es cuatro veces mayor, es necesario que se amarre a postes de apoyo en el suelo.

Cuando se utilicen como plataforma de trabajo tablonés de 3 metros de longitud, estos deben de sobresalir por lo menos 0.15 metros del borde de los travesaños de apoyo para evitar que se deslicen y como máximo 0.30 metros por seguridad de las personas que se movilizan por el lugar.

Al utilizar andamios metálicos, los tubos que forman el conjunto estructural deben inspeccionarse tomando en cuenta lo siguiente:

- Los tubos deben de estar exentos de deformaciones, corrosiones y oxidaciones que afecten su resistencia.
- Para poder generar un soporte uniforme, los cortes en los extremos de los tubos deben de ser cortados de tal forma que se asegure estabilidad en el conjunto estructural

5. CÁLCULO Y DISEÑO DE ANDAMIOS METÁLICOS

5.1 Análisis teórico

El análisis teórico para andamios tiene que ver con las cargas a las que se espera sea sometido, pues es necesario que dicho andamio sea capaz de soportar las cargas que le sean aplicadas, ya sean estas puntuales o distribuidas, una carga puntual por ejemplo puede ser una persona sobre la plataforma de trabajo y una carga distribuida puede ser el material o los materiales que puedan estar apilados de una forma distribuida sobre la plataforma de trabajo del andamio.

Tanto la resistencia como la rigidez de una pieza estructural son función de las dimensiones, forma, propiedades físicas del material del cual está construido el andamio metálico.

Los métodos de diseño y fórmulas fundamentados en la teoría estructural y que son corroborados con pruebas de laboratorio y de campo dan la confianza de que una estructura, en este caso andamios metálicos, que al ser sometidos a esfuerzos no sufrirá daño estructural.

Para poder efectuar y poder satisfacer el análisis y diseño de una estructura se deben tomar en cuenta las propiedades y disposiciones de los materiales, en la práctica general se realizan suposiciones simplificadoras que den resultados que sean congruentes y que puedan ser confiables.

El análisis global de la estructura del andamio se podrá realizar, en la mayoría de los casos, utilizando las dimensiones reales del elemento estructural, es decir, sin deducir los espacios correspondientes entre las armaduras del andamio metálico.

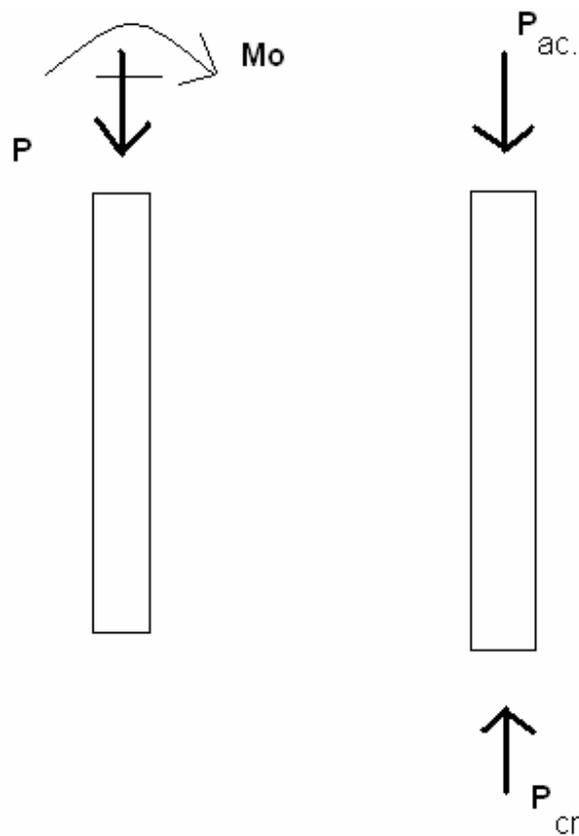
La condición principal es la deformación que, en principio, debe satisfacer todo análisis estructural de equilibrio y el comportamiento tenso-deformacional del acero del andamio metálico.

Los andamios son elementos estructurales temporales que su función básica es soportar cargas gravitacionales, en el análisis de carga de un andamio se puede decir que la carga a la que se diseña o sea la carga resistente debe ser mayor que la carga actuante en el andamio a la hora de ser utilizado.

La carga axial que da inicio a la inestabilidad por pandeo de un elemento estructural, en este caso el andamio metálico, se conoce como carga crítica de pandeo del elemento o carga de Euler. Se define entonces la carga crítica o carga de Euler como la fuerza axial que es suficiente para mantener el elemento estructural con una ligera forma curva.

Si se considera que se puede tomar una carga puntual en un andamio metálico de la misma manera que una carga puntual en una columna se debe de tomar en cuenta que la carga critica de diseño debe ser mayor que la carga actuante en el elemento, ver la figura 40.

Figura 40. Cargas en una columna



Para poder entender la fórmula de Euler de carga crítica (P_{cr}) se efectúa el siguiente ejemplo utilizando las dimensiones del andamio para encontrar la P_{cr} teórica para ser comparada con la P_{cr} practicada ósea la del ensayo.

Para el elemento vertical de luz libre mayor del andamio las dimensiones son $L = 160$ cm., $E = 2.1 \cdot 10^6$ kg/cm², el diámetro (D) exterior del tubo es de 4.175 cm. y el D interior es de 3.575 cm.

SOLUCION:

La fórmula de Euler para la carga crítica (P_{cr}) es:

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 E I}{L^2}$$

Donde;

$$I = \text{Momento de Inercia} = \frac{\pi (D_{ex}^4 - D_{int}^4)}{64} = \frac{\pi (4.175^4 - 3.575^4)}{64} = 6.9 \text{ cm}^4$$

$$\text{Entonces } P_{cr} = \frac{\pi^2 \times (2.1 \times 10^6) \times 6.9}{(160)^2}$$

$$P_{cr} = 5,586.35 \text{ Kg.}$$

Al hacer la relación entre la carga crítica teórica y la carga crítica obtenida del ensayo de la siguiente manera:

$$\frac{P_{cr} \text{ teórica} - P_{cr} \text{ ensayo}}{P_{cr} \text{ teórica} + P_{cr} \text{ ensayo}} \times 100 ; \frac{5,586.35 - 4072}{5,586.35 + 4072} \times 100 = 15.68 \%$$

El valor de la P_{cr} teórica es mayor que la P_{cr} del ensayo en un 15.68 %, esto puede deberse a la posibilidad de excentricidad en la aplicación de la carga, pues para la P_{cr} teórica se consideran condiciones ideales y que la carga es aplicada axialmente, a diferencia de la P_{cr} del ensayo pues pueden existir variaciones en la aplicación de la carga debido a la holgura del tubo con los acoples que son colocados para recibir la carga, así como también las condiciones bajo las cuales se efectúa el ensayo.

Utilizando la fórmula de la flecha $(f) = (P \times L^3) / (3 \times E \times I)$ se puede encontrar el valor de P horizontal necesaria para efectuar una flecha de desplazamiento que se da en el ensayo de laboratorio, utilizando la $f = 0.6$ cm cuando la P_{cr} es de 4,072 kg para los elementos verticales en la parte superior del andamio.

Para el elemento de longitud = 160 cm y un valor de $I = 6.9 \text{ cm}^4$:

$$P = 3 \times E \times I \times f / L^3 = (3 \times 2.1 \times 10^6 \times 6.9 \times 0.6) / 160^3 = 6.37 \text{ kg.}$$

Para el elemento de longitud = 37.5 cm y un valor de $I = 1.57 \text{ cm}^4$:

$$P = (3 \times 2.1 \times 10^6 \times 1.57 \times 0.6) / 37.5^3 = 112.54 \text{ kg}$$

Para el elemento de longitud = 37.5 cm y un valor de $I = 6.9 \text{ cm}^4$

$$P = (3 \times 2.1 \times 10^6 \times 6.9 \times 0.6) / 37.5^3 = 494.59 \text{ kg}$$

Con los resultados anteriores se comprueba que el andamio es más rígido en los elementos más cortos, ya que el valor de la carga horizontal para efectuar una $f = 0.6$ cm. es mayor en estos que en el elemento L mayor.

Para elementos que forman parte de una estructura continua (marcos rígidos) sometidos a esfuerzos de compresión se deberá tomar en cuenta la restricción rotacional que proporcionan las uniones en el extremo de una columna. Esta restricción se traduce en la rigidez rotacional de los miembros que se intersecan en el nudo (ver figura N. 41) y la cual se expresa como:

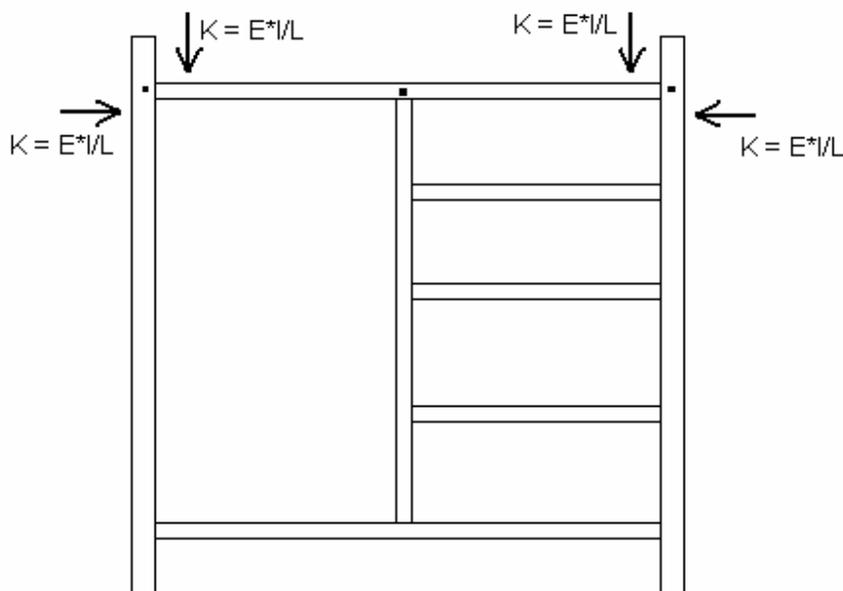
$$K = \frac{E \cdot I}{L}$$

donde E = módulo de elasticidad del acero

I = Inercia

L = Longitud

Figura 41. Rigidez rotacional de los miembros que se intersecan en el nudo



La razón de la rigidez de la columna a la rigidez de la trabe o viga se deberá analizar para cada extremo del elemento y se expresa como:

$$G = \frac{\sum E_c I_c / L_c}{\sum E_v I_v / L_v}$$

donde el sub índice c = columna

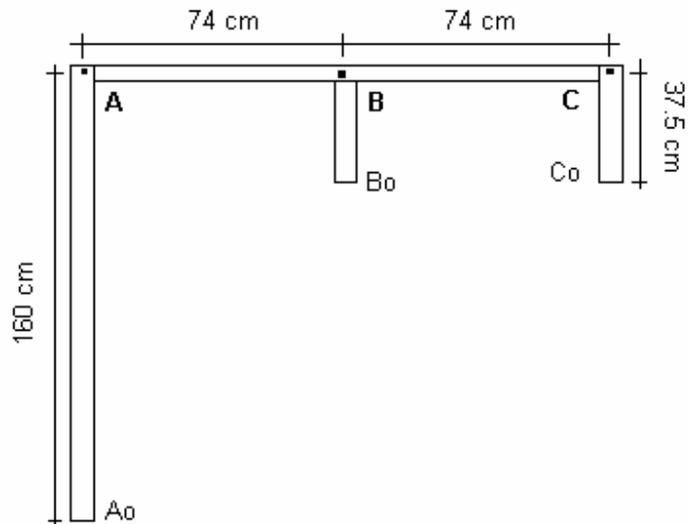
donde el sub índice v = viga o trabe

Con los valores de G se localiza el valor del factor de longitud efectiva (k) en los nomogramas de Jackson-Mooreland para multiplicarlo por la longitud de la columna y obtener su longitud efectiva. La longitud efectiva es simplemente un método matemático para reemplazar una columna con cualesquiera condiciones en los extremos por una columna equivalente con extremos articulados.

Para extremos de columnas soportadas, pero no rígidamente conectadas a la cimentación, G es teóricamente igual a infinito, pero a menos que la unión se construya como una verdadera articulación sin fricción, se deberá tomar igual a 10 para diseños prácticos.

Poniendo en práctica lo anteriormente descrito se hace un análisis para la parte superior del marco del andamio de la figura anterior para el nudo A, el nudo B y el nudo C como lo muestra la figura 42, para determinar cual elemento vertical tiene mayor rigidez, utilizando un $E = 2.1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$ y una $I_{c_{a,c}} = 6.9 \text{ cm}^4$, $I_{c_b} = 1.57 \text{ cm}^4$ y una $I_v = 1.57 \text{ cm}^4$.

Figura 42. Parte superior de un andamio con nudos en A, B y C



Para A:

$$G = \frac{(2.1 \cdot 10^6 \times 6.9) / 160}{(2.1 \cdot 10^6 \times 1.57) / 74} = 2.03$$

Para B:

$$G = \frac{(2.1 \cdot 10^6 \times 1.57) / 37.5}{2 \times [(2.1 \cdot 10^6 \times 1.57) / 74]} = 0.99$$

Para C:

$$G = \frac{(2.1 \cdot 10^6 \times 6.9) / 37.5}{(2.1 \cdot 10^6 \times 1.57) / 74} = 8.67$$

Tomando el concepto que para fines prácticos los extremos de las columnas A_o , B_o y C_o el valor de G es igual a 10, entonces procedemos a encontrar el valor de k utilizando el nomograma de Jackson-Mooreland (ver anexo I) donde G_A es el valor de $G = 10$ para A_o , B_o y C_o y donde G_B son los valores encontrados para A, B y C los valores de k son los siguientes:

Para A el valor de k es de 2.15

Para B el valor de k es de 1.85

Para C el valor de k es de 2.95

La rigidez rotacional en C es mayor que la rigidez rotacional en A por ser C de menor longitud debido a que esta tiene varios puntos de soporte lo que hace que se considere cada elemento vertical como una columna de longitud menor que la longitud de la columna o elemento vertical de A. En B es diferente debido a que la sección transversal es distinta, por ende el valor de I_c para B es diferente lo que da como resultado que para una sección menor el valor de la rigidez rotacional es menor que A aunque su longitud sea menor.

Si se utiliza el concepto que el desplazamiento Δ es inversamente proporcional a la rigidez k se puede decir que cuando el valor de k es grande, entonces el valor del Δ es pequeño, lo anterior se puede comprobar con los valores obtenidos para k de la siguiente manera.

$$\text{Para A: } \Delta = 1 / 2.15 = 4.6 \text{ mm}$$

$$\text{Para B: } \Delta = 1 / 1.85 = 5.4 \text{ mm}$$

$$\text{Para C: } \Delta = 1 / 2.95 = 3.4 \text{ mm}$$

5.2 Ensayos de laboratorio

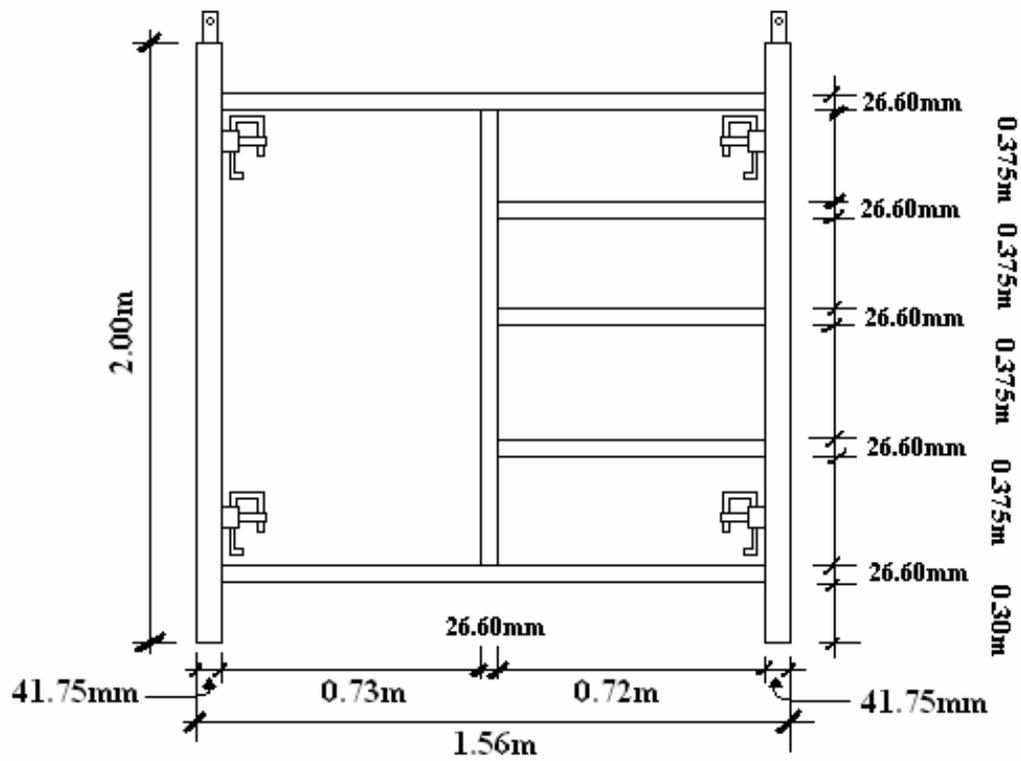
Se procedió a realizar ensayos en dos andamios para evaluar su comportamiento ante la solicitud de cargas vivas, estos ensayos son básicamente para obtener la forma de desplazamiento, deformación y carga.

ENSAYO No. 1

El primer ensayo se realizó con un juego de andamios de metal, este está constituido por 2 marcos, 2 tensores (breizas) para unir los marcos. Cada marco estaba constituido de dos partes, una con gradas y la otra libre.

Las dimensiones de los marcos que constituían el andamio se muestran en la figura 43.

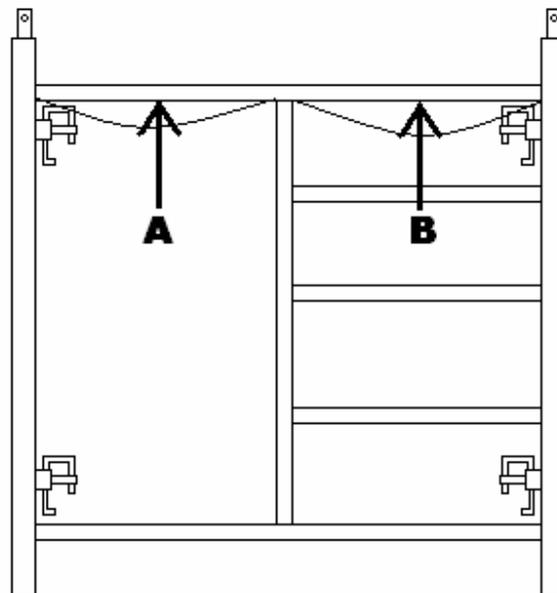
Figura 43. Dimensiones del marco del andamio para el primer ensayo



El procedimiento de ensayo para este andamio es el siguiente: La muestra o andamio se coloca dentro del marco de carga, de tal manera que el sistema de apuntalamiento quede centrado tanto vertical como horizontalmente y que la carga sea aplicada sobre los elementos verticales. Se colocaron dos puntos de medición, la medición A en el travesaño superior en el extremo libre (sin escalones) y la medición B en el travesaño opuesto superior en donde se encuentran los escalones. Se le aplica carga en forma proporcional, tomándose lecturas de deformación a la carga aplicada.

Para un mejor entendimiento se muestra el lugar o las posiciones en donde se tomaron las lecturas de medición en la figura 44.

Figura 44. Ubicación de lecturas de medición



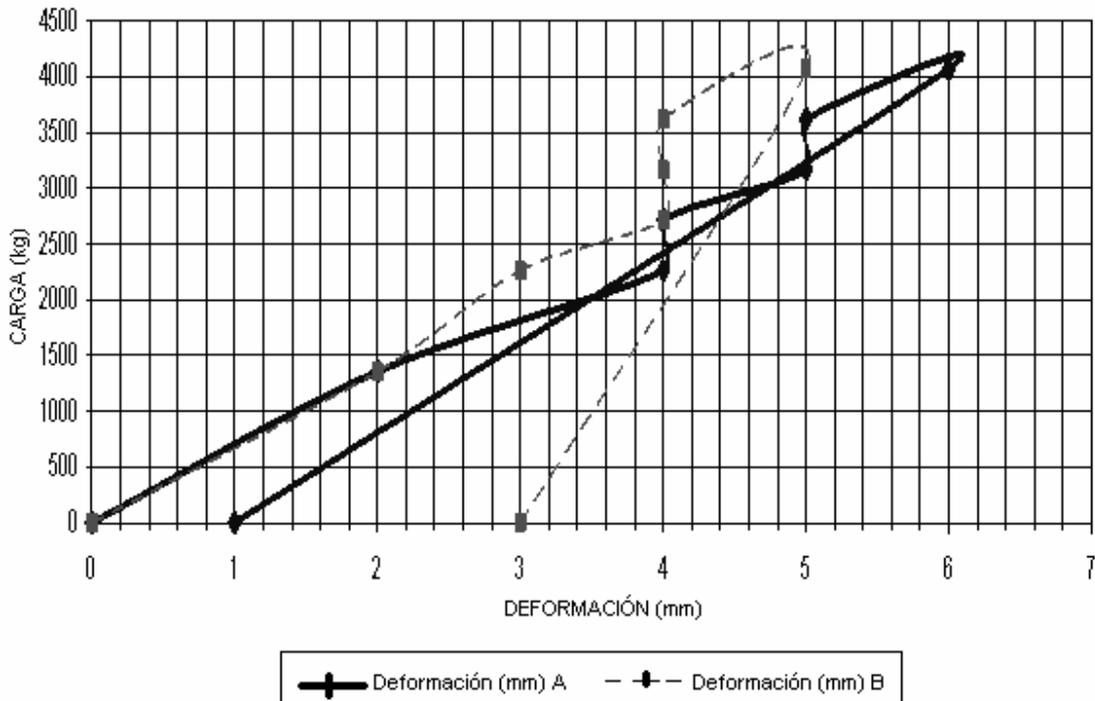
Al aplicarle carga al andamio se produjeron deformaciones en el mismo, las lecturas de dichas deformaciones están en la siguiente tabla de resultados (tabla II).

Tabla II. Lecturas de las deformaciones del primer ensayo

Carga(Kg.)	Deformación(Mm.)	
	A	B
0	0.0	0.0
1357	2.0	2.0
2262	4.0	3.0
2715	4.0	4.0
3167	5.0	4.0
3620	5.0	4.0
4072	6.0	5.0
0	1.0	3.0

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica de carga contra deformación ver figura 45:

Figura 45. Gráfica carga contra deformación ensayo uno



El análisis de resultados comprende lo siguiente:

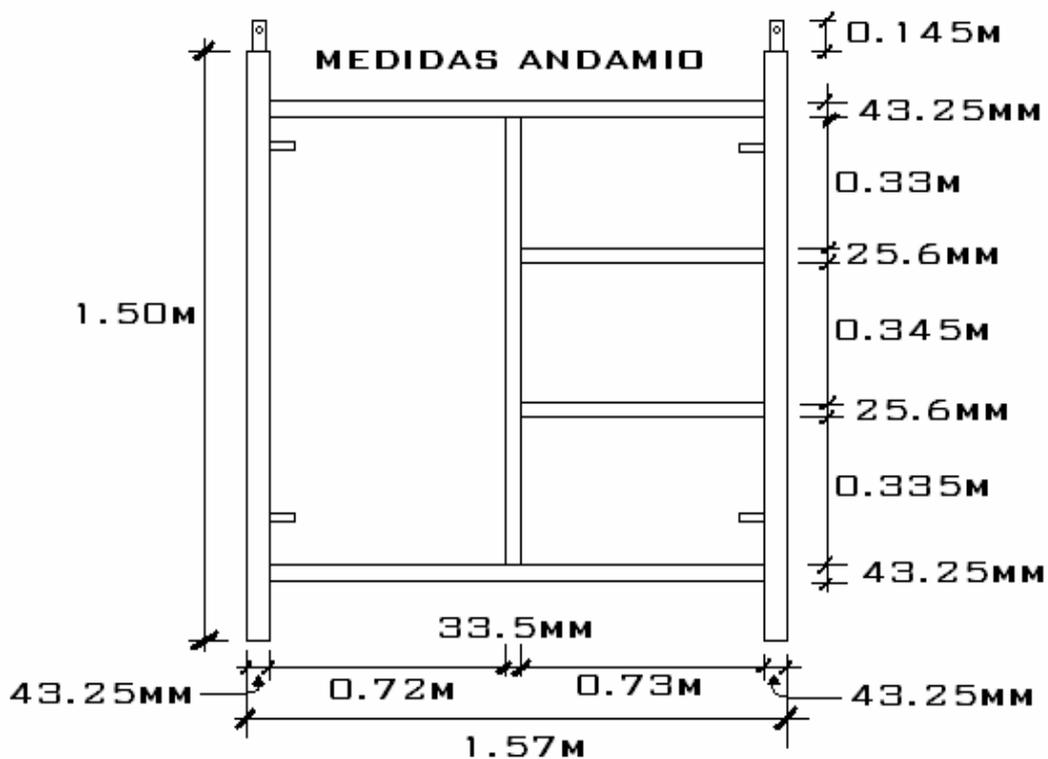
- La carga de diseño es de 2,500 Kg.
- La carga última fue de 4,072 Kg.
- El andamio se comportó de diferente manera, en la parte con escalones su comportamiento fue plástico, esto por la forma en que se deformó y la rigidez que le daban los elementos verticales; en el extremo libre su comportamiento fue elástico, ya que al deformarse al aplicarle la carga este retornaba a su estado original.
- El tipo de falla producido fue por desplazamiento en los ejes.

ENSAYO No. 2

De la misma manera que para el andamio utilizado en el ensayo no. 1 este también está constituido por 2 marcos, 2 tensores (breizas) para unir los marcos. Cada marco estaba constituido de dos partes, una con gradas y la otra libre.

Las dimensiones de los marcos que constituían el andamio se muestran en la figura 46.

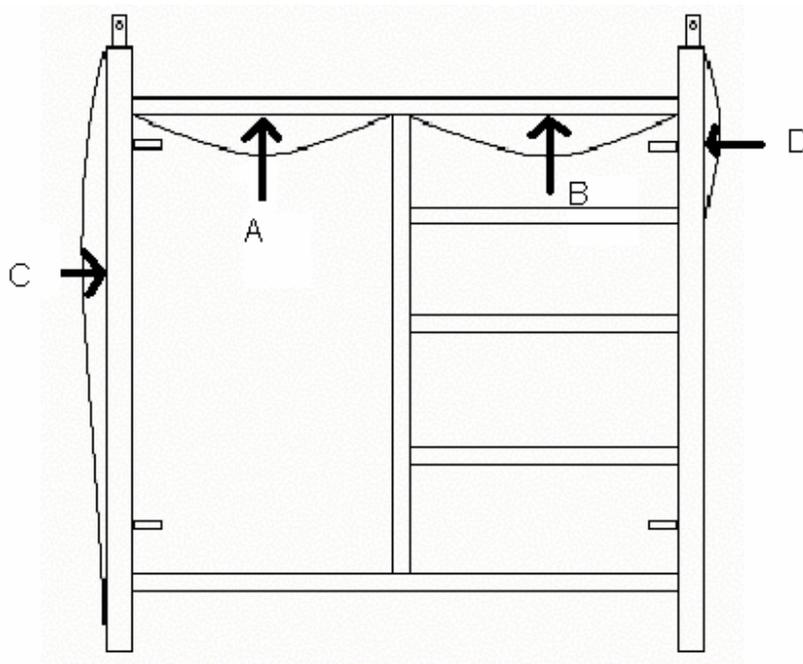
Figura 46. Dimensiones del marco del andamio para el segundo ensayo



El procedimiento de ensayo para este andamio es el siguiente: La muestra o andamio se coloca dentro del marco de carga, de tal manera que el sistema de apuntalamiento quede centrado tanto vertical como horizontalmente y que la carga sea aplicada sobre los elementos verticales. Fueron colocados cuatro puntos de medición, la medición "A" en el travesaño superior en el extremo libre (no tiene gradas), la medición "B" en el otro travesaño opuesto superior en donde se encuentran las gradas, la medición "C" en el paral del extremo libre (sin gradas) y la medición "D" en el paral opuesto en donde se encuentran las gradas. Se le aplica carga en forma proporcional, tomándose lecturas de deformación a la carga aplicada.

Para un mejor entendimiento se muestra el lugar o las posiciones en donde se tomaron las lecturas de medición en la figura 47.

Figura 47. Ubicación de donde se tomaron lecturas de medición



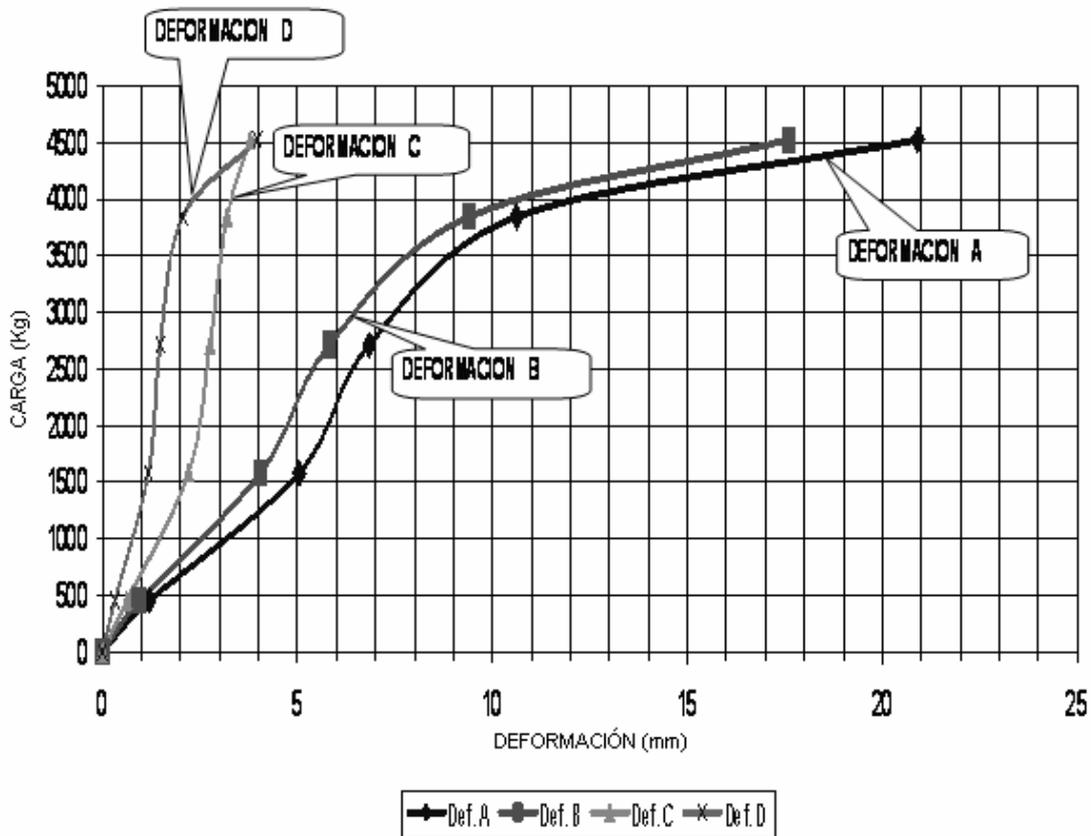
Al aplicarle carga al andamio se produjeron deformaciones en el mismo, las lecturas de dichas deformaciones están en la siguiente tabla de resultados (tabla III).

Tabla III. Lecturas de las deformaciones del segundo ensayo

Carga(Kg)	Deformación(mm)			
	A	B	C	D
0	0.00	0.00	0.00	0.00
452	1.21	0.95	0.63	0.32
1584	5.05	4.06	2.21	1.18
2715	6.84	5.82	2.76	1.48
3846	10.62	9.40	3.19	2.06
4525	20.90	17.60	3.79	3.98

Con estos resultados se presenta la siguiente gráfica de carga contra deformación, ver figura 48:

Figura 48. Gráfica carga contra deformación ensayo dos



El análisis de resultados comprende lo siguiente:

- La carga de diseño es de 3,000 kg. definida por la tangente a la curva de deformación A & B
- La carga ultima, misma que le genero deformación permanente fue de 4,525 kg.
- El tipo de falla producido fue por desplazamiento en los ejes.

CONCLUSIONES

1. Los andamios metálicos son elementos estructurales de naturaleza simple, se debe evaluar el alcance de los trabajos a realizar para determinar qué tipo de andamio debe utilizarse.
2. Es necesario desarrollar o aplicar correctamente el método de montaje de un andamio, ya que si no se hace de la manera correcta, no será funcional, aunque éste sea uno de gran capacidad de carga o resistencia.
3. Los andamios metálicos tienen un mantenimiento muy eventual que se da cuando los elementos necesitan ser pintados con pintura anticorrosiva, o por el desgaste de ésta en su utilización, dada la incidencia de las condiciones atmosféricas como lo son la lluvia y el viento, y sobre todo en áreas cercanas al mar.
4. Por su utilización, el andamio metálico tiene la ventaja que además de servir como elemento auxiliar en la construcción, también sirve como elemento de protección para la ejecución del resto de los trabajos.
5. Al realizar una comparación económica entre un andamio metálico y un andamio de madera durante un período de utilización prolongado, el andamio metálico genera menos costos en la inversión y mantenimiento que el andamio de madera, debido a que este último tiene costos de mantenimiento, uso y renovación más elevados a lo largo de un período de tiempo prolongado.

6. Para trabajos menores o de corta duración se puede utilizar un andamio de madera, ya que la inversión inicial es menor que la inversión inicial en un andamio de metal.
7. En el análisis económico que se determinó para el período de evaluación de cinco años, el andamio de madera es 53% más caro que el andamio metálico bajo las mismas condiciones.
8. Al hacer una comparación de los resultados obtenidos mediante los ensayos del andamio en el capítulo cinco, y el análisis teórico de la fórmula de Euler, se puede determinar que a mayor altura del elemento vertical (paral del marco) del andamio resiste menos por tener una carga crítica o de diseño menor, y a menor altura del elemento vertical del andamio éste resiste más por tener una carga crítica o de diseño mayor.
9. Los límites de resistencia en un elemento estructural al producirse la falla se pueden representar directamente proporcionales al desplazamiento del elemento, en nuestro caso, al sufrir desplazamiento comienza a dar una tendencia de deformación horizontal, la cual a un incremento de carga provoca desplazamientos que pueden conducir al colapso de los elementos de la estructura y a la estructura en general.

RECOMENDACIONES

1. Es necesario que se tenga por parte de las personas que utilizan un andamio metálico, cuidado en el uso y mantenimiento de éste, para poder efectuar trabajos sin ningún riesgo de accidentes que conlleven repercusiones económicas.
2. Es importante que se les dé a las personas que utilizan andamios, la preparación necesaria para el uso correcto de éstos, es decir, que se les enseñe la manera de cómo montarlos y desmontarlos, cómo trabajar sobre ellos, cuánto resiste un andamio.
3. Es importante tomar siempre en cuenta que, para que un andamio metálico tenga una resistencia máxima, es necesario que el andamio como elemento se encuentre arriostrado.
4. Es recomendable hacer evaluaciones una vez por semana de la estructura del andamio metálico, cuando éste se encuentre en uso durante un período prolongado de tiempo, y más aun, cuando este ha tenido que soportar las inclemencias del tiempo.

5. Las partes más críticas y las que más se descuidan en la utilización de un andamio, son las relacionadas a la seguridad de las personas que trabajan en ellos, es decir, rodapiés, barandas, escaleras internas, etc., es por ello que se debe tratar siempre de hacer énfasis en la implementación de cada uno de estos elementos, y que el andamio sea utilizado cuando todos los elementos de seguridad estén incorporados al mismo.
6. Por razones de resistencia y economía, es recomendable que se tome como primera alternativa para la utilización de andamios, uno metálico en vez de un andamio de madera, pues este último ocasiona pérdida de tiempo en el montaje y desmontaje, también se tienen desperdicios de madera en cada utilización, así como también un incremento en los costos por almacenaje, uso y mantenimiento.
7. Con base en resultados obtenidos del análisis teórico y de los ensayos de laboratorio, se puede recomendar que los marcos de los andamios metálicos, luego de sobrepasar una altura de 1.75 metros, sean reforzados horizontalmente a la mitad del elemento, pues esto hará posible que éste tenga mayor resistencia por tener capacidad de soportar una carga crítica o de diseño mayor.

REFERENCIAS

1. Norma UNE 76-502-90
andamios de servicio y de trabajo

BIBLIOGRAFÍA

1. Barrientos Flores, Antonio. Estudio teórico de la carga crítica de pandeo en elementos estructurales de sección variable. Tesis ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería.
2. Brockenbrough L., Roger y Frederick S. Merritt. **Manual de diseño estructural** 2ª ed. Tomo I, s.l., Editorial McGraw Hill, 1997.
3. Mayol Mallorqui, José M.ª. **Tuberías Tomo I materiales**, 2ª ed., s.l., Editorial Bellisco, 1997.
4. Merritt, Frederick S. **Manual del ingeniero civil**. 3ª ed. Tomo I México: Editorial McGraw-Hill, 1992.
5. McCormac C. Jack. **Diseño de estructuras metálicas**. 4ª ed. México: Editorial Alfaomega, 1999.
6. M. Gere, James. **Mecánica de materiales**. 4ª ed. México, Editorial Thomson international, 1998.

Referencia electrónica

7. www.andamiostubulares.com Febrero de 2006
8. www.construir.com Febrero de 2006
9. www.cpwr.com Marzo de 2006
10. www.estrucplan.com.ar Abril de 2006
11. www.ingenieriaRural.com Agosto de 2006
12. www.oshainfo.gatech.edu Agosto de 2006
13. www.stps.gob.mx/04 Agosto de 2006

APÉNDICE

Informe de ensayo N. 1 firmado por asesor Ing. Mario Corzo



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME TÉCNICO NO. E-13

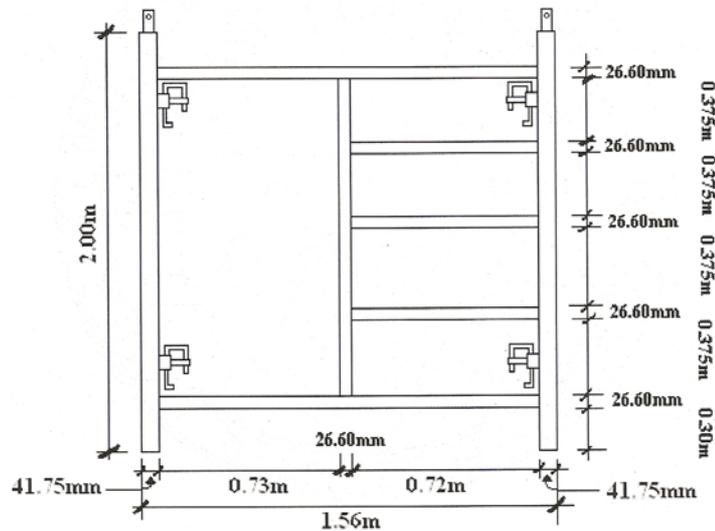
PÁGINA 1 DE 3

INTERESADO: MYNOR GONZALEZ CHAVARRIA
ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION DE ANDAMIO
FECHA: MARZO DEL 2006

GENERALIDADES

El interesado presento un juego de andamios de metal, para ensayos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, el juego está constituido por: 2 marcos, 2 tensores para unir los marcos. Cada marco se constituía de dos partes, una con gradas y la otra libre.

Las dimensiones de los mismos se presentan en los dibujos siguientes:

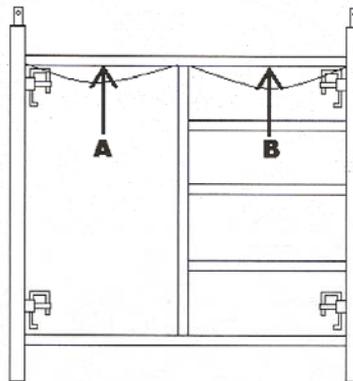




ENSAYO A COMPRESIÓN

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La muestra se coloca dentro del marco de carga, de tal manera que el sistema de apuntalamiento quede centrado tanto vertical como horizontalmente y que la carga sea aplicada sobre los elementos verticales. Se colocaron dos puntos de medición, la medición "A" en el travesaño superior en el extremo libre (sin escalones) y la medición "B" en el travesaño opuesto superior en donde se encuentran los escalones. Se le aplica carga en forma proporcional, tomándose lecturas de deformación a la carga aplicada.

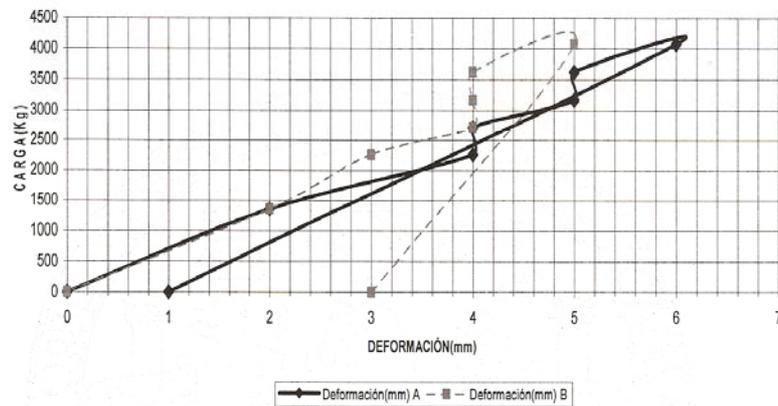


RESULTADOS

Carga(Kg)	Deformación(mm)	
	A	B
0	0.0	0.0
1357	2.0	2.0
2262	4.0	3.0
2715	4.0	4.0
3167	5.0	4.0
3620	5.0	4.0
4072	6.0	5.0
0	1.0	3.0



GRAFICA
CARGA VRS. DEFORMACIÓN



ANALISIS DE LOS RESULTADOS

- ✓ La carga de diseño es de 2,500 kg.
- ✓ La carga última fue de 4,072 kg.
- ✓ El andamio se comportó de diferente manera, en la parte con escalones su comportamiento fue plástico, esto por la forma en que se deformó y la rigidez que le daban los elementos verticales; en el extremo libre su comportamiento fue elástico, ya que al deformarse al aplicarle la carga retornaba a su estado original.

Atentamente,



Ing. Mario Rodolfo Corzo
SECCION DE ESTRUCTURAS

Informe de ensayo N. 2 firmado por asesor Ing. Mario Corzo



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



INFORME TÉCNICO No. E-19

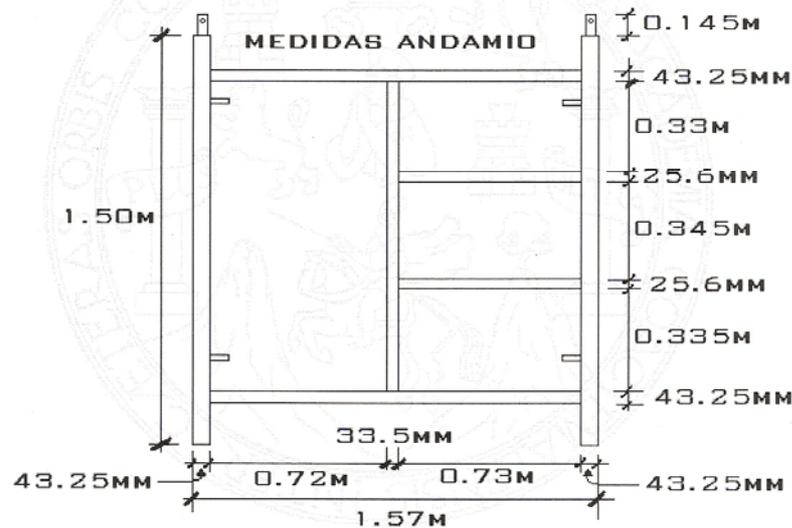
PÁGINA 1 DE 3

INTERESADO: MYNOR GONZALEZ CHAVARRIA
ASUNTO: ENSAYO A COMPRESION DE ANDAMIO
FECHA: MAYO DEL 2006

GENERALIDADES

El interesado presento un juego de andamios de metal, para ensayos en el Centro de Investigaciones de Ingeniería, el juego está constituido por: 2 marcos, 2 tensores (breizas) para unir los marcos. Cada marco se constituía de dos partes, una con gradas y la otra libre.

Las dimensiones de los mismos se presentan en los dibujos siguientes:

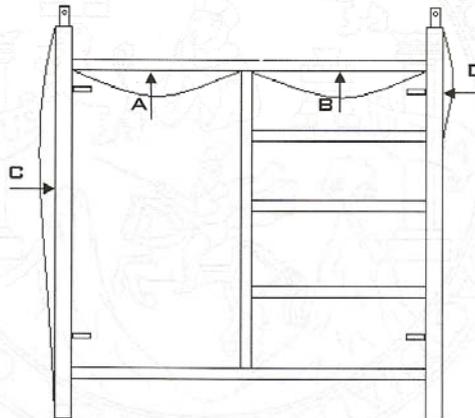




ENSAYO A COMPRESIÓN

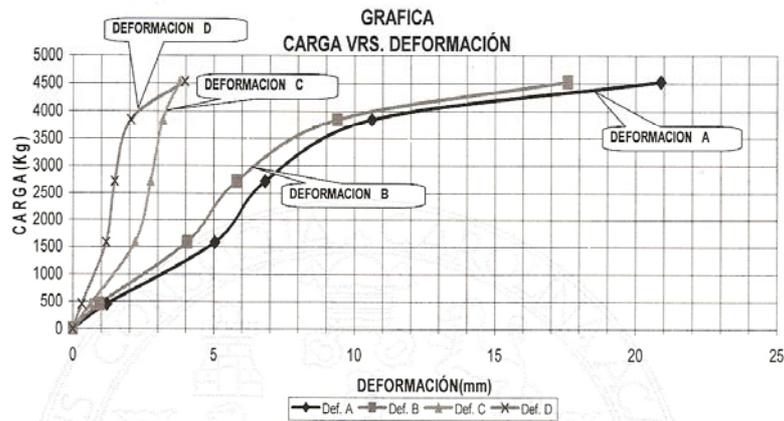
PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

La muestra se coloca dentro del marco de carga, de tal manera que el sistema de apuntalamiento quede centrado tanto vertical como horizontalmente y que la carga sea aplicada sobre los elementos verticales. Se colocaron cuatro puntos de medición, la medición "A" en el travesaño superior en el extremo libre (no tiene gradas), la medición "B" en el otro travesaño opuesto superior en donde se encuentran las gradas, la medición "C" en el paral del extremo libre (sin gradas) y la medición "D" en el paral opuesto en donde se encuentran las gradas. Se le aplica carga en forma proporcional, tomándose lecturas de deformación a la carga aplicada. Las posiciones en donde se tomaron lecturas de medición se encuentran a continuación.



RESULTADOS

Carga(Kg)	Deformación(mm)			
	A	B	C	D
0	0.00	0.00	0.00	0.00
452	1.21	0.95	0.63	0.32
1584	5.05	4.06	2.21	1.18
2715	6.84	5.82	2.76	1.48
3846	10.62	9.40	3.19	2.06
4525	20.90	17.60	3.79	3.98



ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

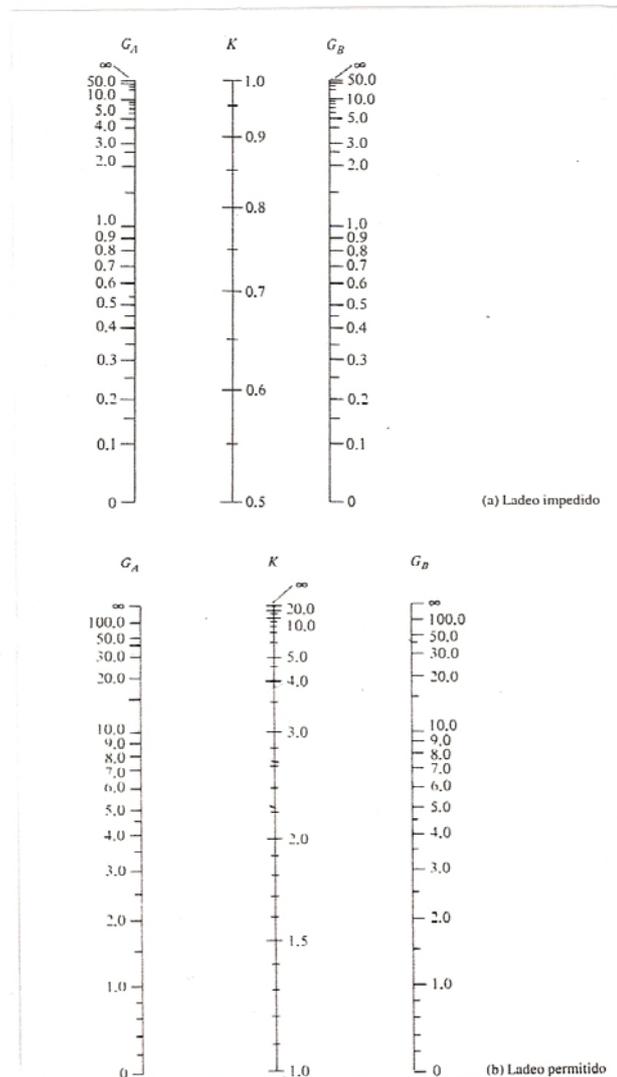
- ✓ La carga de diseño es de 3,000 kg. definida por la tangente a la curva de deformación A & B.
- ✓ La carga última, misma que le genero deformación permanente fue de 4,525 kg.

Atentamente,

Mario Rodolfo Corzo
Ing. Mario Rodolfo Corzo
SECCION DE ESTRUCTURAS

ANEXO

Nomograma de Jackson-Mooreland



Fuente: Jack C. McCormac, Diseño de estructuras metálicas, página 162

