



Revista Facultad de Ingeniería

ISSN: 0717-1072

facing@uta.cl

Universidad de Tarapacá

Chile

García G., Alex; Gálvez S., Eduardo
Cálculo interactivo de galpones simétricos asistido por computador
Revista Facultad de Ingeniería, vol. 11, núm. 1, 2003, pp. 47-55
Universidad de Tarapacá
Arica, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=11411206>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

CÁLCULO INTERACTIVO DE GALPONES SIMÉTRICOS ASISTIDO POR COMPUTADOR

Alex García G.¹ Eduardo Gálvez S.²

Recibido el 09 de diciembre de 2002, aceptado el 22 de septiembre de 2003

RESUMEN

En la mayoría de las actividades productivas, los galpones de acero son muy utilizados en distintos ámbitos. Ante la necesidad de contar con instalaciones industriales seguras, el cálculo estructural asociado, resulta una tarea larga y tediosa, pero rutinaria, por lo que urge contar con software que permita el cálculo de galpones simétricos de doble pendiente. El presente trabajo propone un método susceptible de ser programado y capaz de efectuar cálculos rutinarios de elementos estructurales en un tiempo breve y con resultados óptimos desde el punto de vista económico-técnico. El aporte fundamental radica en la entrega de una herramienta en el campo de la aplicación computacional, potente, veloz y modelado de forma que, un usuario sin mayor experiencia en el cálculo estructural, ni un acabado conocimiento de las normas estructurales de diseño, sea capaz de enfrentarse sin dificultades al cálculo de una nave industrial

Palabras Claves: Diseño estructural, galpones simétricos, software mecánico

ABSTRACT

Steel warehouses are frequently found in most varied productive industries. Having safe industrial facilities is a must, thus the related structural calculation becomes a long and tedious, though routine task. This fact makes it vital to have software that allows the calculation of symmetrical warehouses of double slope. This paper proposes a programmable method able to make routine calculations of structural elements in a single run, which are brief and yield good results from the techno-economic point of view.

The fundamental contribution resides in the delivery of a tool in the field of applications software, powerful, fast and modeling in a way that a user without much experience in structural calculation or full knowledge of the structural norms of design, will be able to face the calculation of an industrial warehouse without difficulties.

Keywords: Structural design, symmetrical warehouses, mechanical software

INTRODUCCIÓN

El avance en el desarrollo de aplicaciones computacionales, desde la aparición del primer ordenador, ha sido recogida por la ingeniería, ya que con sus herramientas, es posible realizar un gran número de operaciones en un lapso muy breve de tiempo. De lo anterior, han surgido grandes aplicaciones en el ámbito de la ingeniería estructural, tal es el caso de CADRE® o ALGOR® capaces de analizar un objeto por medio de elementos finitos, logrando minuciosos detalles y exactitud en los resultados.

Estas aplicaciones (*software*) de cálculo estructural, gozan de grandes ventajas y también de nuevas posibilidades. Sin embargo, su utilización requiere de

una capacitación acabada y conocimiento profundo de los fenómenos estudiados, para lograr dominar las innumerables herramientas disponibles, interpretación de los resultados obtenidos y su utilidad práctica posterior.

Desde el punto de vista del elemento o sistema a ser estudiado, deberá éste ser '*modelado*' de forma que pueda ser capaz de ser interpretado; idealizando fenómenos y efectuando suposiciones del comportamiento de la estructura. Es decir, la estructura, *deberá ser modelada* de tal manera que pueda ser interpretada por el software; (Fig. 1).

Debido a estas limitaciones han surgido aplicaciones que prestan soluciones específicas a problemas cotidianos del cálculo estructural como el cálculo de

¹ Ingeniero de Ejecución Mecánico, Patagones 853, Cardenal Silva Henríquez, email: alex_garcia@123mail.cl

² Universidad de Tarapacá, Departamento de Mecánica, Av. 18 de Septiembre 2222, Arica, email: egalvez@uta.cl

vigas, columnas, fundaciones, etc.; que en conjunto, son capaces de dar solución a un problema estructural.

Entre estas dos tendencias del desarrollo de aplicaciones computacionales orientadas al cálculo estructural, existe un ámbito poco cubierto y que contempla la implementación de soluciones computacionales enfocadas al **Cálculo y diseño estructural** capaces de interpretar una norma específica, efectos de una carga natural (viento o sismo) y evaluar convenientemente secciones o perfiles estructurales comerciales desde bases de datos con el objetivo de acercar los esfuerzos admisibles y de trabajo para brindar la solución óptima y por lo tanto más económica.

De esta manera, es posible entregar soluciones prácticas, económicas y veloces al rompecabezas en el que se convierte un problema estructural, siendo el software quien se modela para resolver la estructura (Fig. 2) y no que la estructura sea la que se adapte, para que pueda ser interpretada.



Fig. 1.- La estructura deberá modelarse de tal manera que pueda ser interpretada por el software

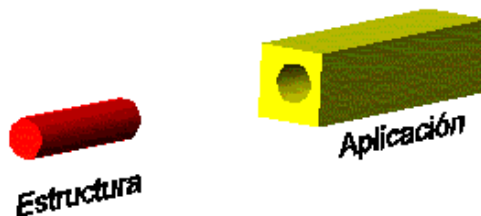


Fig. 2.- La estructura es interpretada completamente por el software, quien se ha modelado en función a las características de la estructura

En la mayoría de las actividades productivas, los galpones de acero son muy utilizados en distintos ámbitos, ya sea en la industria minera, pesquera, metal-mecánica, papelera, etc. Ante esta necesidad de contar con instalaciones industriales amplias, cómodas y seguras, el cálculo estructural de naves industriales resulta una tarea rutinaria sin embargo el cálculo de galpones de estructura de acero generalmente resulta

largo y tedioso, sobre todo, cuando se desea hacer algún cambio en el diseño, se tiene que efectuar todo el cálculo nuevamente.

Objetivo

Implementar un programa computacional en ambiente Windows, de manera de presentar al usuario una interfaz agradable, que permita un manejo fácil e intuitivo en el cálculo de galpones simétricos de doble pendiente, basado en normas chilenas para el cálculo de estructuras.

Sistemas estructurales

En primer lugar deberá considerarse la selección de una forma estructural que sea segura, estática y económica. Esta es usualmente la fase más difícil y a la vez más importante de la ingeniería estructural. A menudo se requieren varios estudios independientes de diferentes soluciones antes de decidir cuál es la forma (arco, armadura, marco, etc.) más apropiada. Una vez tomada esta decisión, se especifican entonces las cargas, materiales, disposición de los miembros y sus dimensiones de conjunto. Está claro que la habilidad necesaria para llevar a cabo estas actividades de planeación se adquiere normalmente después de varios años de experiencia en el arte y ciencia de la ingeniería.

Las formas estructurales mayormente utilizadas para solucionar el problema de diseñar un galpón, se reducen a las siguientes:

Marcos rígidos

Los marcos rígidos se usan a menudo en edificios y se componen de vigas y columnas que están articuladas o bien son rígidas en sus cimentaciones. Al igual que las armaduras, los marcos pueden ser bidimensionales o tridimensionales. La carga en un marco ocasiona flexión en sus miembros, y debido a las conexiones entre barras rígidas, esta estructura es generalmente "indeterminada" desde el punto de vista del análisis.

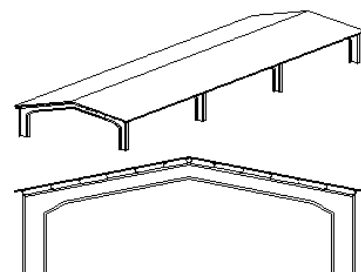


Fig. 3.- Nave industrial de marco rígido con sección transversal constante

La resistencia de un marco se deriva de las interacciones del momento entre las vigas y las columnas, en los nudos rígidos y, en consecuencia, los beneficios económicos de usar un marco dependen de la eficiencia que se obtiene al usar tamaños menores de vigas respecto a tamaños mayores en las columnas debido a la acción "viga-columna" (Fig. 3) causada por la flexión de los nudos.

Marcos de cercha y columna

Cuando se requiere que la luz (claro) de una estructura sea grande y su altura no es un criterio importante de diseño, puede seleccionarse una armadura. Las armaduras consisten en barras en tensión y elementos esbeltos tipo columna, usualmente dispuestos en forma triangular. Las armaduras planas se componen de miembros situados en el mismo plano y se usan a menudo para puentes y techos, mientras que las armaduras espaciales tienen miembros en tres dimensiones y son apropiadas para grúas y torres.

Debido al arreglo geométrico de sus miembros, las cargas que causan flexión en las armaduras, se convierten en fuerzas de tensión o compresión en los miembros y por esto, una de las ventajas principales de una armadura, respecto a una viga, es que usa menos material para soportar una carga dada, pudiéndose adaptar de varias maneras para soportar una carga impuesta.

En las armaduras de techo la carga se transmite a través de los nudos por medio de una serie de largueros. La armadura de techo junto con sus columnas de soporte se llama marco. Ordinariamente, las armaduras de techo están soportadas por columnas de madera, acero, concreto reforzado o por muros de mampostería.

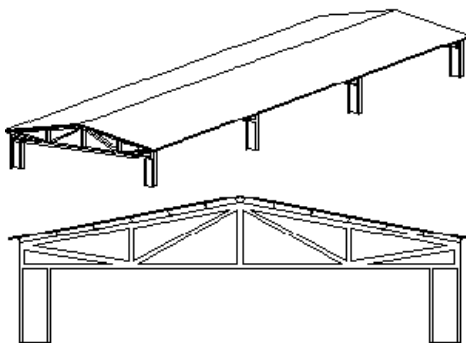


Fig. 4.- Nave industrial de marcos compuestos por cerchas y columnas

Otros sistemas estructurales

Los arcos se constituyen como otra solución. Estas

estructuras son generalmente utilizadas en cubiertas de naves industriales o hangares, como también en estructuras de puentes.

Al igual que los cables, los arcos pueden usarse para reducir los momentos flectores en estructuras de gran luz. Esencialmente un arco es un cable invertido, por lo que recibe su carga principal en compresión aunque, debido a su rigidez debe también resistir cierta flexión y fuerza cortante dependiendo de cómo esté cargado y conformado. En particular, si el arco tiene una forma parabólica y está sometido a una carga vertical uniforme distribuida horizontalmente, se infiere que sólo fuerzas compresivas serán resistidas por el arco.

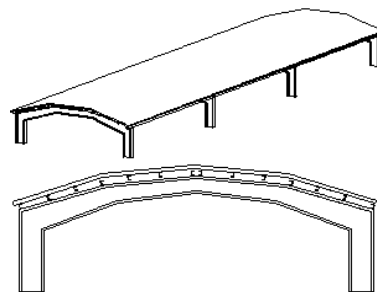


Fig. 5.- Marco de galpón conformado por arcos apoyados sobre columnas

Dependiendo de la aplicación, pueden seleccionarse varios tipos de arcos para soportar una carga. Si es empotrado, se suele fabricar de concreto reforzado y aunque puede requerirse menor material para construirlo en comparación con otros, deberá tener una cimentación muy sólida, ya que es indeterminado de tercer grado, y, en consecuencia pueden presentarse esfuerzos adicionales debido al asentamiento relativo de sus soportes.

Un arco de dos articulaciones se construye generalmente de metal o madera; es indeterminado en primer grado y aunque menos rígido que un arco empotrado, es un tanto insensible a los asentamientos. Se puede hacer una estructura estáticamente determinada reemplazando una de las articulaciones por un rodillo. Sin embargo, al hacerlo así, se eliminaría la capacidad de la estructura de resistir flexión a lo largo de la luz, con lo cual acabaría sirviendo como una viga curva y no como un arco.

Un arco de tres articulaciones, que también se fabrica en metal o madera, es estáticamente determinado. A diferencia de los arcos estáticamente indeterminados, éste no se ve afectado por asentamientos o cambios de temperatura.

Las normas y especificaciones bajo las cuales deberá ser calculada cualquier estructura industrial, quedarán debidamente prescritas bajo las correspondientes normas chilenas

EL MÉTODO DE CÁLCULO

Desarrollar un método de cálculo, involucra la recepción de antecedentes previos al diseño, en función a la naturaleza de la instalación, espacios requeridos, situación geográfica y climatológica. Estos antecedentes deberán parametrizarse en variables que interpreten *cuantitativamente* las necesidades de la nave industrial.

Dimensiones

Las dimensiones del galpón (Fig. 6) surgen como respuesta a las necesidades de espacio/volumen de la nave; ésta quedará completamente definida en función de las siguientes magnitudes:

- Ancho o Luz (L):** Amplitud necesaria, capaz de cubrir el ancho máximo presupuestado en el diseño.
- Altura útil (H):** También llamada altura de columna, equivale a la altura disponible para la instalación de equipos, accesorios al galpón o la altura necesaria para el paso de vehículos, si fuera necesario.
- Pendiente (α):** Angulo de la vertiente con respecto a la horizontal que pasa por los extremos de las columnas. Deberá representar la inclinación necesaria que impida el efecto pleno del viento sobre las vertientes, evacue convenientemente las aguas lluvias y deslice la nieve acumulada en el techo.
- Longitud (Z):** Extensión, capaz de cubrir la longitud máxima presupuestada en el diseño.

Las dimensiones restantes, quedarán definidas mediante las relaciones siguientes:

- Longitud de la vertiente (Q):**

$$Q = \frac{L}{2 * \cos(\alpha)} \quad (1)$$

- Altura de Techo (F):**

$$F = Q * \sin(\alpha) \quad (2)$$

- Separación entre Marcos (S):** La experiencia en el cálculo de galpones de acero, recomienda una separación entre marcos que varíe entre cuatro y seis metros [1]. Por consiguiente, para un número

de marcos (N_M) determinado, debe cumplirse lo siguiente.

$$Y = \frac{Z}{N_M - 1} \quad (3)$$

N_M = Número de Marcos

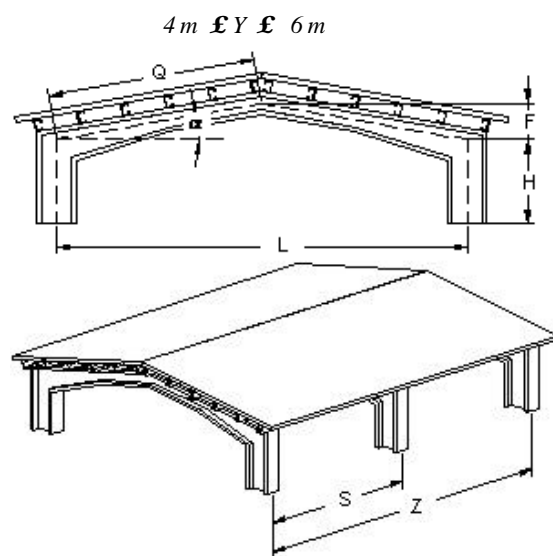


Fig 6.- Dimensiones de una nave industrial

Solicitaciones

En el diseño del método se distinguen dos clases de esfuerzos, en función de las características y naturaleza de la nave:

Acciones Directas

Se definen como aquellas solicitaciones sobre las cuales un usuario podrá tener control absoluto de ellas, cuantificando su magnitud o ignorando completamente su efecto en función de las condiciones geográficas, forma, posición o instalación.

Entre este tipo de cargas es posible de distinguir:

- **Acción del viento.**
- **Nieve sobre la estructura.**
- **Variación de la Temperatura.**
- **Acción del viento**

La acción del viento sobre las construcciones de acero deberá estar conforme a lo dispuesto en *NCh432.Of71*

"Cálculo de la acción de viento sobre las construcciones"; que en su parte modular, establece:

$$F_V = Q * C * A \quad (4)$$

en que:

F_V = Fuerza del viento.

Q = Presión básica del viento.

C = Factor de forma.

A = Area sobre la cual se ejerce la acción del viento (techumbre y muros laterales de la nave)

Cabe destacar que la acción del viento que actúa sobre cualquier superficie es perpendicular a ésta. Se omitirá, en consecuencia, la consideración de acciones tangenciales.

La presión del viento, variará en función a las condiciones ambientales y/o orientación del galpón, por lo tanto, durante la etapa de definición el usuario deberá tener la posibilidad de editar-modificar las características de la presión básica del viento, o en su defecto la velocidad (Fig. 7).

Fig. 7.- Diseño preliminar de un formulario que permita el ingreso o modificación de la presión básica del viento en tiempo de ejecución. El formulario, titulado "Presión básica del viento", contiene dos campos de entrada: "Velocidad del viento" con el valor 40 m/s y "Presión básica del viento q" con el valor 100 Kg/m². Ambos campos tienen botones de incremento y decremento. En la parte inferior derecha hay botones "OK" y "Cancelar".

Fig. 7.- Diseño preliminar de un formulario que permita el ingreso o modificación de la presión básica del viento en tiempo de ejecución.

- Nieve sobre la estructura

La sobrecarga de nieve debe estar conforme a lo dispuesto en *NCh431.Of89* "Construcción - Sobrecargas de nieve" la cual es definida como la acción que ejerce el peso del volumen de nieve caída cuantificado mediante la medición directa del espesor de nieve sobre la superficie horizontal y del peso específico de ella con aplicación de métodos estadísticos.

$$F_N = K * N * A \quad (5)$$

en que:

F_N = Sobrecarga de nieve.

K = Factor de deslizamiento.

N = Sobrecarga básica de nieve.

A = Area de la proyección horizontal del techo del galpón.

La sobrecarga de nieve, variará en función a las condiciones climatológicas del sector; por lo tanto, durante la etapa de definición, el usuario deberá tener la posibilidad de editar-modificar las características de sobrecarga básica de nieve, o en su defecto el espesor de nieve caída, teniendo además la posibilidad de descartar su efecto sobre la estructura (Fig. 8).

Fig. 8.- Diseño preliminar de un formulario que permita el ingreso o modificación de la carga básica de nieve en tiempo de ejecución. El formulario, titulado "Altura de nieve caída", contiene dos campos de entrada: "Altura" con el valor 0.01 y "Peso específico nieve recién caída" con el valor 125 Kg/m³. Hay botones de incremento y decremento para ambos. En la parte inferior hay un campo para "Sobrecarga básica" con el valor 1.25 Kg/m² y botones "OK" y "Cancelar".

Fig. 8.- Diseño preliminar de un formulario que permita el ingreso o modificación de la carga básica de nieve en tiempo de ejecución.

- Variación de la Temperatura

Estos esfuerzos son debidos a una variación lineal de la temperatura en el interior de las barras que conforman el marco, y por lo tanto está representada por las variaciones de las temperaturas máximas y mínimas de la zona donde se instalará el galpón.

Fig. 9.- El usuario podrá considerar, durante la etapa de definición, variaciones en la temperatura de la estructura. El formulario muestra un campo "Gradiente de temperatura" con el valor -10 °C y botones de incremento y decremento.

Fig. 9.- El usuario podrá considerar, durante la etapa de definición, variaciones en la temperatura de la estructura.

Los esfuerzos generados por este gradiente por lo general, no se toman en cuenta, debido a que comúnmente resultan unos valores muy pequeños, respecto a los valores de las respuestas máximas.

Acciones Indirectas

Se definen como aquellas solicitaciones sobre las cuales el usuario no tiene un control de ellas, sino responden a

magnitudes debidamente acotadas según las normas estructurales de diseño, y no a condiciones del entorno de la instalación.

Entre este tipo de cargas, es posible distinguir:

- **Peso Propio**
- **Cargas sísmicas**
- **Sobrecargas de cálculo**

- **Peso Propio**

El peso propio es inherente a cada elemento de la estructura, por lo tanto, éste sólo se ceñirá a lo especificado en las tablas de diseño estructural para perfiles y planchas que constituyan el techo, columnas, placas, barras, etc.

- **Cargas sísmicas**

Dadas las características sísmicas de Chile, toda estructura debe ser diseñada y construida para resistir fuerzas horizontales en cualquier dirección debido a la acción de los sismos.

Un temblor produce una aceleración en las estructuras, por consiguiente, el efecto destructivo se debe al desarrollo de fuerzas de inercia que son proporcionales a la masa y la aceleración.

La fuerza lateral con que se diseñará está determinada por la fórmula.

$$F_S = C * P \quad (6)$$

donde:

F_S = Carga sísmica lateral.

C = Coeficiente numérico que depende del periodo propio de la estructura; Para una nave industrial (según Icha) el valor recomendado para el coeficiente C es de 0.2 [3].

P = Peso total del edificio.

- **Sobrecargas de cálculo**

Las sobrecargas que deben aplicarse en el cálculo estructural de una nave industrial quedan delimitadas por las siguientes disposiciones de las normas.

NCh432 (Art. 8.2)

"Para techos inaccesibles de inclinación superior a 1:10 será suficiente considerar como sobrecargas, el efecto del viento, la nieve y una fuerza eventual de 100 Kg en el lugar más desfavorable".

NCh1537 (Art. 6.3)

"Los envigados de cielo con acceso sólo para la mantención y las costaneras de techos deben diseñarse para resistir una carga de 1KN en la posición más desfavorable".

FORMAS ESTRUCTURALES

Algunas formas estructurales propuestas, para elaborar un método particular serán como se muestra en la Fig. 10.

IMPLEMENTACIÓN

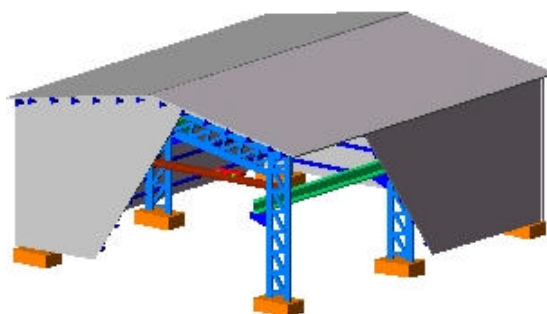
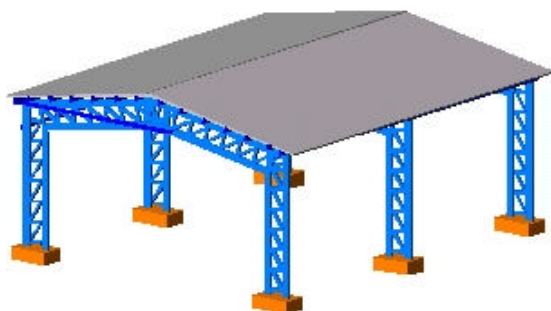
Luego de ideado el procedimiento, bastará analizar si el método propuesto es susceptible de ser programado en algún lenguaje que permita la construcción de entornos visuales y acceso a bases de datos para rescatar valores recomendados de tablas de diseño de distintos fabricantes. Dadas las características requeridas y la facilidad en la programación, se ha optado por el entorno Windows, y programación orientada a objetos bajo Delphi 3.0. De lo anterior ha surgido WINGALP[®], como una herramienta de Diseño potente y veloz que es capaz de calcular:

- *Cargas naturales sobre la estructura.*
- *Número de planchas de recubrimiento.*
- *Vigas de apoyo de la cubierta.*
- *Tensores y Arriostramientos.*
- *Marco del galpón Fundaciones.*
- *Pernos de anclaje.*
- *Placa base.*
- *Cubicación de materiales.*
- *Cálculo preliminar de costos.*

A continuación se muestran algunos de los formularios y reportes entregados por el software (Figs. 10 y 11)

Galpón abierto de sección transversal constante

Galpón cerrado de sección transversal constante con puente grúa



Galpón abierto de cercha y columna.

Galpón cerrado de cercha y columna con puente grúa

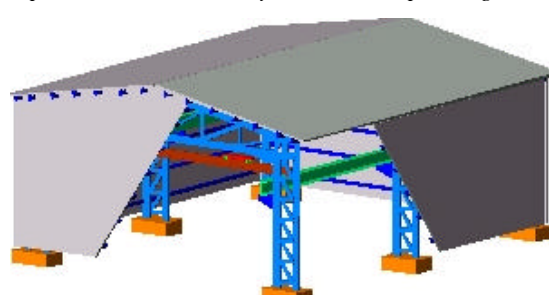
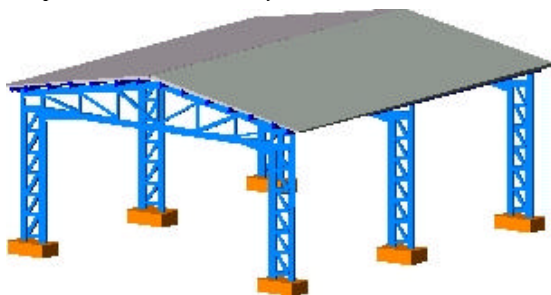


Fig. 10.- Formas estructurales propuestas

Dimensiones del Galpón

Wingalp

Cálculo de galpones simétricos de doble pendiente asistido por computador

L : Luz
H : Altura de columna
F : Altura de techo
Q : Longitud de la vertiente
 α^* : Angulo de la vertiente
Z : Largo

Datos del Galpón

Luz (L) (m)

Altura de Columnas (H) (m)

Largo (Z) (m)

Angulo de la Pendiente (Alfa) °

Datos calculados

Longitud de la Vertiente (m)

Altura de Techo (m)

Número de marcos =

Separación entre marcos (cm) =

>> Detalles
Calcular
Imprimir
Reporte

Fig. 11.- Formulario de ingreso y cálculo de las dimensiones generales de una nave industrial

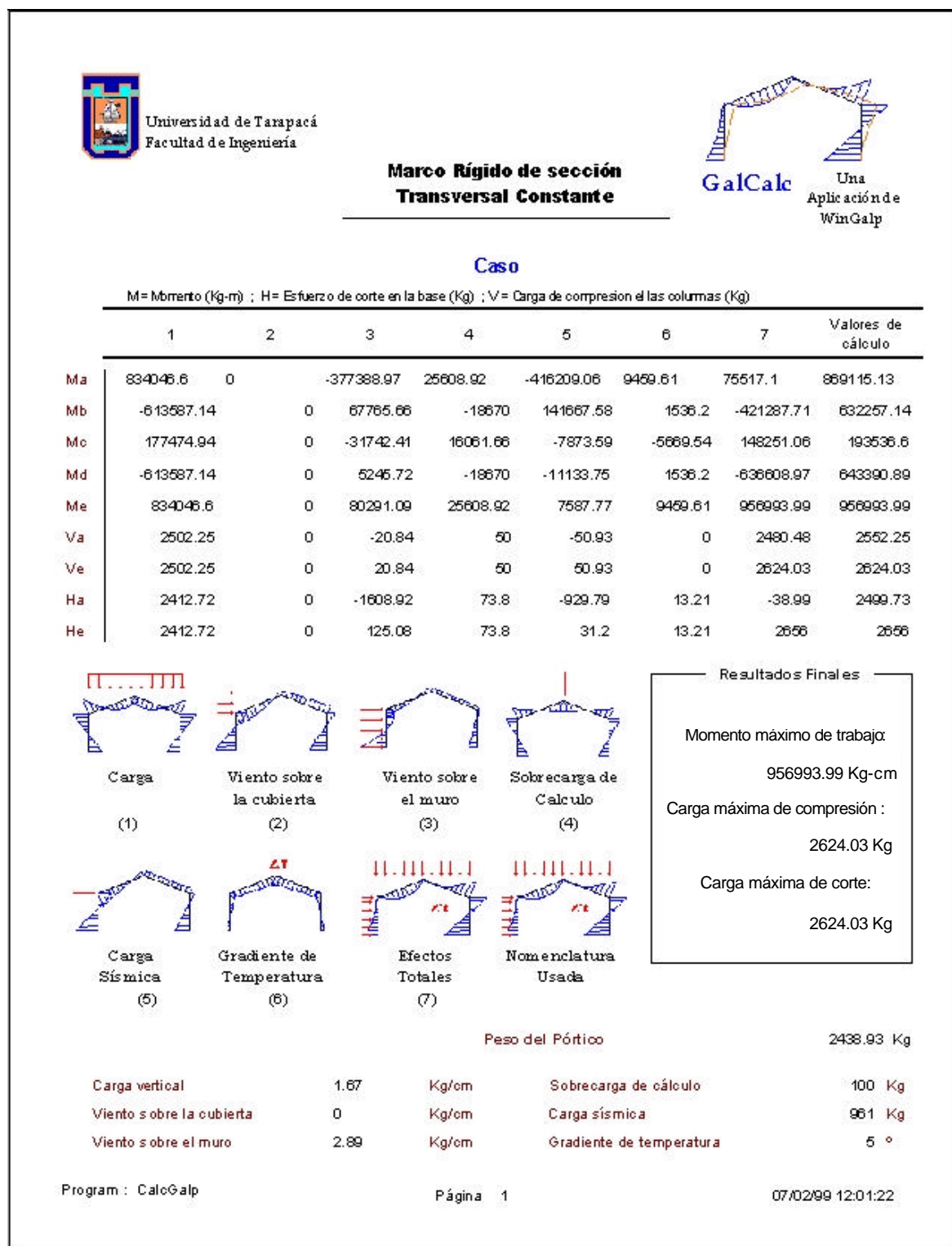


Fig. 12.- Informe con el cálculo de las dimensiones requeridas y esfuerzos de trabajo sobre la placa base, fundaciones y pernos de anclaje

CONCLUSIONES

La aplicación de soluciones computacionales a problemas ingenieriles, como el cálculo de galpones, resulta de gran importancia para los ingenieros calculistas, ya que se pueden efectuar cálculos en un tiempo muy breve lo que de ser calculados manualmente resultaría laborioso.

En la elección de las dimensiones de los perfiles para los distintos elementos del galpón, como cerchas, costaneras y columnas, el programa da muy buenos resultados, pues con él, se obtienen los perfiles más livianos, y por tanto, más económicos.

El programa ha sido ejecutado para dimensiones de galpones comunes. Para dimensiones mayores, conviene modular el diseño en dos o más marcos que abarquen la amplitud de luz deseada.

Se deja abierta la posibilidad de repetir los cálculos tantas veces como sea necesario para aproximarse a los esfuerzos admisibles de los materiales. En ciertos casos es preferible considerar aspectos estéticos y no es necesario que las tensiones de trabajo y desplazamientos sean tan próximos a los admisibles.

Con el programa se obtiene un gran avance en el diseño de galpones, ya que resta lo que se refiere a los componentes que deben ser diseñados sin un cálculo previo, como por ejemplo, las puertas, los goussets, y las placas para fijación de las cerchas.

La obtención de reportes con información de los resultados, en tiempo de ejecución, permite la comparación y análisis de la variación de los esfuerzos en función a los elementos seleccionados para el galpón.

En el cálculo de galpones con computador, se pueden lograr minuciosos detalles y una gran variedad de tipos de galpones. Este trabajo representa un paso más en la aplicación de la computación a un problema estructural, como es el cálculo de un galpón.

REFERENCIAS

- [1] R. Nonnast; "El proyectista de estructuras metálicas", Editorial Paraninfo S.A, Madrid 1991.
- [2] E. Popov; "Introducción a la Mecánica de Sólidos", Editorial Limusa, México 1986.
- [3] Instituto Chileno del Acero, ICHA; "Manual de Diseño para Estructuras de Acero", Editorial Universitaria S.A, Santiago 1976.
- [4] NCh427.cR76, Construcción -Especificaciones para el cálculo, fabricación y construcción de Construcciones de acero.
- [5] NCh428.Of57, Ejecución de Construcciones de acero.
- [6] NCh432.Of71, Cálculo de la acción del viento sobre las construcciones
- [7] NCh433.Of93, Diseño sísmico de edificios.
- [8] NCh1537.Of86, Diseño estructural de edificios - Cargas permanentes y sobrecargas de uso.