

8
2ef.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
"ACATLAN"**

1978 09 14 AM 6 27

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CARGAS VIVAS
EN EDIFICIOS PARA OFICINAS EN EL D. F.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
I N G E N I E R O C I V I L
P R E S E N T A
GUILLERMO CERVANTES VAZQUEZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. SONIA E. RUIZ GOMEZ.



ACATLAN, EDO. DE MEXICO.

1997

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES "ACATLAN"
PROGRAMA DE INGENIERIA CIVIL

SR. CERVANTES VAZQUEZ GUILLERMO
ALUMNO DE LA CARRERA DE INGENIERIA CIVIL
P R E S E N T E

De acuerdo a su solicitud presentada con fecha de 23 de Mayo de 1996 me complace notificarle que esta Jefatura de Programa le ha bien asignarle el siguiente tema de trabajo profesional titulado "ANALISIS ESTADISTICO DE CARGAS VIVAS EN EDIFICIOS PARA OFICINAS EN EL D.F." el cual se desarrollara como sigue:

1. INTRODUCCION
2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION
3. METODOLOGIA
4. ESTIMACION DE CARGAS VIVAS DE OFICINAS
5. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS
6. RESULTADOS DE LA INVESTIGACION
7. CONCLUSIONES

Asi mismo fue designado como asesor de tesis el Dra. SONIA E. RUIZ GONZALEZ, pido a usted, tomar nota en cumplimiento de lo especificado en la Ley de Profesiones, debiera prestar Servicio Social durante un tiempo minimo de seis meses, como requisito basico para sustentar examen profesional, asi como de la disposicion de la Direccion General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del trabajo profesional, el titulo del trabajo realizado. Esta comunicacion debiera publicarse en el interior del trabajo profesional.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Acatlan Edo. de México a 11 de Agosto de 1997



ING. JUAN CARLOS FRAJOSO
Jefe del Programa de Ingeniería Civil
UNEP "ACATLAN"
JEFATURA DEL
PROGRAMA DE INGENIERIA

Delatorato.

A mi padre.

Guillermo y Marina

Para el apogeo, comprensión y orientación de todos los demás.

Agradecimiento:

A la D^{na.} Sonia E. Ruiz Gómez

Por su gran apoyo y orientación en la realización de este trabajo.

A los docentes y personal de las siguientes instituciones:

*Dirección General de Institutos Tecnológicos y Dirección General de
Estudios Técnicos Agropecuarios de la SEP*

Subdirecciones P.F.P.E. y P.F.P.P.F. del Instituto Mexicano del Petróleo

Ingenieros Civiles Asociados - Ingenieros Civil

*Coordinaciones de Mecánica Aplicada y Estructuras del Instituto de
Ingeniería de la U.N.A.M.*

Por su amable colaboración en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
I CONCEPTOS BÁSICOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA	
1.1 Distribución de frecuencias	3
1.2 Parámetros de las funciones de distribución	5
1.2.1 Tendencia central	5
1.2.2 Dispersión	7
1.3 Funciones de distribución de probabilidad	9
1.3.1 Distribuciones probabilísticas discretas	9
1.3.2 Distribuciones probabilísticas continuas	11
1.3.3 Función de distribución exponencial	12
1.3.4 Función de distribución Gamma	13
1.3.5 Función de distribución Extrema Tipo I	13
1.4 Introducción a Procesos Estocásticos	15
1.4.1 Proceso de Poisson	16
1.5 Método Montecarlo	17
1.5.1 Que es y para que sirve el metodo de Montecarlo?	17
1.5.2 Sorteo de una variable aleatoria discreta	18
1.5.3 Sorteo de una variable aleatoria continua	18

II MODELO DE CARGAS VIVAS COMO PROCESO ESTOCÁSTICO

II 1 Cargas sostenidas	21
II 2 Carga sostenida máxima	21
II 3 Cargas extraordinarias	23
II 4 Carga extraordinaria máxima	24
II 5 Carga total máxima	25
II 6 Método de simulación de Montecarlo	27

III ESTIMACIÓN DE CARGAS EN PISOS DE OFICINAS

III 1 Medicion de mobiliario, equipo y objetos de oficinas	29
III 1 1 Herramientas de trabajo	29
III 1 2 Clasificación y metodología	30
III 1 3 Histogramas de equipo y objetos de oficina	32
III 2 Estimación de la carga viva en los diversos edificios	35
III 2 1 Procedimiento general de estimación de cargas	35
III 2 2 Estimación de cargas sostenidas en el edificio 2 del Instituto de Ingeniería de la UNAM	39
III 2 3 Estimación de cargas en el edificio de la SEP	40
III 2 4 Estimación de cargas en el edificio SIPP del IMP	42
III 2 5 Estimación de cargas en el edificio SIPP del IMP	43
III 2 6 Estimación de cargas en el edificio de ICA-Ingeniería	45
III 3 Resultados del muestreo de cargas vivas	46
III 4 Área total muestreada	47

IV ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

IV 1 Metodología	63
IV 1 1 Obtención de los parámetros básicos	63
IV 1 2 Ajuste de resultados	69
IV 2 Resultados del análisis estadístico	72
IV 2 1 Resultados del análisis de cada uno de los edificios	72
IV 2 2 Resultado de los cinco edificios	77
IV 2 3 Histogramas de cargas sostenidas y funciones de distribución de probabilidades Gamma ajustadas	79

V RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA DE CARGAS NOMINALES

V 1 Valores de carga viva que recomienda el RCDF-93	81
V 1.1 Tipos de acciones	81
V 1.2 Valores nominales de carga viva	81
V 2 Valores de carga viva que recomienda el ANSI A 58.1-1994	83
V 3 Comparación de las reducciones permitidas por el RCDF-93 y el ANSI A 58.1-1994	85
V 4 Datos de entrada y resultados de la simulación	86
V 5 Probabilidades de excedencia de las cargas que recomienda el RCDF-93 y el ANSI A 58.1-1994	92
V 6 Propuesta de reducción de los valores de carga viva para oficinas	93
V 6.1 Comparación de las reducciones que permite el RCDF el ANSI con la ley de reducción propuesta	95

CONCLUSIONES	97
---------------------	-----------

APÉNDICES

APÉNDICE 1	100
APÉNDICE 2	108
APÉNDICE 3	109

REFERENCIAS	113
--------------------	------------

INTRODUCCIÓN

El diseño de las diversas estructuras en ingeniería civil está acompañado de un gran número de incertidumbres, que el ingeniero debe cubrir mediante modelos matemáticos que le ofrezcan seguridad y economía, así como, mediante un criterio racional.

Los investigadores estudian detalladamente los modelos empleados en ingeniería que describen el comportamiento de las diferentes partes de una estructura, así como, los factores que influyen en este. Esto, con la finalidad de proponer modelos que se apeguen cada vez más al comportamiento real de las estructuras y con esto contribuir a un diseño menos incierto.

La determinación de las cargas a las que se verá sujeta una estructura, es un paso muy importante en el diseño. A partir de la magnitud de estas, se elige uno u otro tipo de estructuración y se diseñarán los diversos miembros que conforman a la estructura. En general un buen diseño deberá cumplir lo siguiente:

1. Una estimación adecuada de las solicitaciones que actuarán durante la vida útil de la estructura.
2. Los modelos que se empleen tanto para el análisis como para el diseño deberán representar en lo posible el comportamiento real de la estructura.

Cumplir con los puntos anteriores no es tan sencillo como se pudiera pensar. La mayoría de las solicitaciones no se pueden prever con exactitud, tal es el caso de las cargas vivas, las cargas por sismo y viento, entre otras, si además consideramos las incertidumbres asociadas con los modelos empleados (en muchos casos son extremadamente simplificados) para representar a la estructura, se puede ver claramente que un buen diseño va más allá del empleo de fórmulas y de sofisticadas herramientas de cómputo.

El Reglamento de Construcciones del Distrito Federal 1993 propone valores de cargas vivas para diferentes usos de estructuras, estos valores no están fundamentados sobre estudios recientes que respalden su validez, de aquí surge la necesidad de realizar estudios sobre cargas vivas que permitan dictaminar si los valores propuestos por el reglamento de construcciones para el Distrito Federal son adecuados.

Este trabajo se enfoca a analizar los valores nominales de la carga viva máxima propuestos por el RCDF-93 para edificios destinados a oficinas.

El presente estudio tiene como objetivos principales

- **Obtener datos estadísticos de cargas vivas a partir de un muestreo en edificios de oficinas en el D.F.**
- **Obtener los valores medios y desviaciones estándar de cargas vivas máximas para diferentes áreas de influencia mediante simulación por el método de Montecarlo**
- **Comparar los valores de cargas vivas para oficinas que propone el RCDF-93 con los que propone el ANSI A 58 I-1994 y con los obtenidos de la simulación así como determinar las probabilidades de excedencia para cada caso**
- **Con base en lo anterior emitir un juicio sobre los valores que propone el RCDF-93**

Este trabajo consiste fundamentalmente de tres etapas. En la primera se realiza un muestreo de cargas vivas en edificios de oficinas, para esto fue necesario pesar físicamente parte del mobiliario que se encuentra en las oficinas y formar un catálogo de pesos. Se estimó la carga viva de cinco edificios de oficinas correspondientes a una área muestreada de aproximadamente 15,000 m².

La segunda etapa consiste en realizar un análisis estadístico con los datos derivados del muestreo para obtener los datos que alimenten el modelo de simulación.

Finalmente, en una tercera etapa se alimenta el modelo de simulación de Montecarlo y se obtienen valores de cargas vivas para diferentes áreas de influencia, se obtienen las probabilidades de excedencia para los valores de el RCDF-93, el ANSI A 58 I-1994 y los obtenidos de la simulación. Se comparan los valores que proponen ambos reglamentos con los obtenidos del modelo de simulación, de esta comparación, se comprueba que los valores de cargas vivas para oficinas que propone el RCDF-93 son adecuados para áreas tributarias pequeñas, (menores a 16 m²) pero para áreas mayores son muy conservadores, además de que no mantienen una probabilidad de excedencia relativamente constante para diferentes valores del área tributaria.

Con base en lo anterior se propone una ecuación de reducción de la carga viva en función del área, para valores del área tributaria mayores que 16 m².

I. CONCEPTOS BÁSICOS DE PROBABILIDAD Y ESTADÍSTICA

La probabilidad y la estadística han demostrado en los últimos años, ser una herramienta muy poderosa para modelar diversos fenómenos en las distintas ramas del conocimiento, entre ellas la ingeniería civil.

En el presente capítulo se exponen los conceptos básicos de probabilidad y estadística que se utilizan tanto para el tratamiento estadístico como para la modelación matemática de las cargas vivas.

1.1 DISTRIBUCIÓN DE FRECUENCIAS

Cuando por diversos motivos tenemos una cantidad considerable de datos numéricos que son resultado de un experimento y es necesario interpretarlos, debemos presentarlos de tal manera que nos proporcionen una idea clara de lo que dichos datos como conjunto representan.

Una forma conveniente es presentar los datos en un orden creciente de magnitud (en orden jerarquizado), sin embargo, incluso de esta forma resulta difícil adquirir una idea clara y más aun, si son muchos los datos que se tienen. Por esta razón cuando se tienen más de 30 o 40 datos, es más conveniente ordenarlos en intervalos de clase, regularmente de la misma amplitud e indicando el número de datos que hay en cada intervalo, esto recibe el nombre de **frecuencia de clase**.

La elección de la amplitud y del número de intervalos es importante ya que de ello dependerá el poder dar una rápida y buena interpretación del conjunto de datos.

Al ordenar los datos en intervalos de clase obtenemos una **distribución de frecuencias**.

La **frecuencia acumulada** se define como la suma de las frecuencias de todos los intervalos de clase por debajo del valor especificado.

Si lo que nos interesa es conocer la proporción de cierto intervalo entonces la frecuencia acumulada se divide entre el número total de datos.

La distribución de frecuencias se puede representar gráficamente de diferentes formas la más común es representarla mediante un **histograma** en el que los intervalos de clase se marcan en el eje horizontal y la frecuencia en el eje vertical. La fig. 1.1 muestra un ejemplo de esta representación.

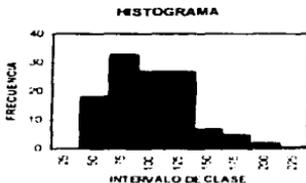


Fig. 1.1

La elección de la amplitud de clase tiene la finalidad de facilitar el cálculo y además dicha elección deberá proporcionar una idea clara del comportamiento de los datos en estudio.

En ocasiones, la frecuencia dentro de un intervalo de clase se presenta como un punto cuya abscisa es la del punto medio de clase, a este punto se le conoce como **marca de clase**. Al unir las marcas de clase obtenemos un **polígono de frecuencias**.

Al trazar un polígono de frecuencias es usual indicar los valores de los puntos medios y no los límites de clase como en el caso del histograma. La línea entre los puntos no es significativa por lo que los valores medios no se deben de leer en relación con ella.

Cuando es de interés conocer la proporción de los datos dentro de los distintos intervalos de clase, se grafica la **frecuencia relativa**. Se define como la frecuencia dividida entre el número total de datos.

La frecuencia acumulada también se puede representar gráficamente. Los intervalos de clase se marcan en el eje horizontal y la frecuencia acumulada se representa como ordenada en el extremo derecho, de esta manera las ordenadas representan el área a la izquierda de la ordenada correspondiente al histograma. Esta curva recibe también el nombre de **ojiva**.

En la fig. 1.2 se aprecia la curva de frecuencia acumulada correspondiente al histograma de la fig 1.1

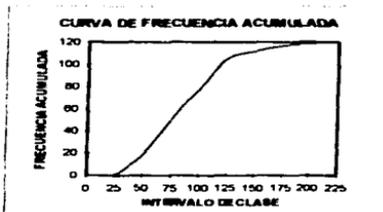


Fig. 1.2

1.2 PARÁMETROS DE LAS FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN

Cuando tenemos un conjunto de datos, este puede caracterizarse por dos grupos de expresiones matemáticas. A estos grupos de expresiones se les conoce como "Tendencia Central" y "Dispersión".

1.2.1 Tendencia Central

La tendencia central se mide en base a promedios. Los elementos sometidos a prueba se conocen como **muestras** y a la totalidad de estos como **población**.

Existen varios tipos de "promedios":

- media aritmética
- mediana
- moda

Media Aritmética

Esta medida de tendencia central es la más común, se le denomina simplemente promedio o media. La media es un valor tal que la suma de las desviaciones o diferencias entre los datos y dicho valor es cero. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Ec. 1.1

Mediana

La mediana de un conjunto de datos es el valor central (de enmedio) de estos al ordenarlos jerárquicamente. Al decir valor central nos estamos refiriendo a la distancia desde los extremos tomando los datos como elementos y no por su valor numérico.

Matemáticamente se puede expresar de la siguiente manera: si el número de datos es impar se puede representar como $2m+1$, entonces, la mediana será el $(m+1)$ -ésimo valor. En cambio si el número de datos es par, puede estar representado por $2m$, y la mediana será la media aritmética de el m -ésimo y el $(m+1)$ -ésimo valores.

El área de un histograma es proporcional al número de datos, entonces la **mediana** será aquel valor que **divide al histograma en dos áreas iguales**.

Moda

Si tenemos un conjunto de datos discretos la moda será aquel valor que se repita más veces. Si la distribución es continua la moda será el punto medio de clase que posea la mayor frecuencia en el histograma que represente los datos.

Señal o Asimetría

Resumiendo, la **moda es el valor correspondiente al punto más alto de la curva, la mediana divide el área en dos partes iguales y la media pasa por el centroide de la figura**. La mediana se encuentra entre la media y la moda o coincide con ellas. **Cuando estos tres parámetros no coinciden la curva de distribución es asimétrica**. Es **señada** hacia la derecha cuando la mediana se encuentra a la derecha de la moda, y **señada** hacia la izquierda en caso contrario.

La **asimetría** suele ser resultado de causas naturales y es característica de múltiples distribuciones, sin embargo existen variables que están distribuidas de manera simétrica.

1.2.2 Dispersión

En el punto anterior se expusieron los parámetros que miden la tendencia central de un conjunto de datos, sin embargo, es tan importante medir la tendencia central como la dispersión.

Supongamos que se desea obtener la media de los siguientes valores: 900, 1000 y 1100, la media es 1000, para los siguientes tres valores 500, 1000 y 1500 la media también es 1000, pero la distribución de los valores de los dos grupos anteriores es diferente, de aquí la importancia de tener parámetros que midan la dispersión de los datos.

Existen varias medidas de dispersión:

- varianza
- desviación estándar
- desviación media
- coeficiente de variación

Varianza

Si la población finita o conjunto de valores está formado por n observaciones, cuya media es μ podemos expresar la desviación respecto a la media, $(x_i - \mu)$, de cada observación. La desviación cuadrada media recibe el nombre de varianza, su valor se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}$$

Ec. 1.2

Desviación Estándar

En algunas ocasiones la varianza no es tan práctica debido a que sus unidades son los cuadrados de las unidades de la variable. Dado que muchas características numéricas de las distribuciones se expresan directamente en términos de la raíz cuadrada de la varianza, es preferible referirse a dicha raíz cuadrada como desviación estándar, se calcula como sigue:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

Ec. 1.3

La ecuación 1.1 es aplicable cuando se desea obtener la media de un conjunto de n medidas que han sido realizadas, por lo que μ es el valor de la media. En muchos casos solo se analiza una muestra de una determinada población. Para estos casos se desconoce la media real y solo se tiene el promedio de los datos medidos \bar{x} . En estos casos se calculan las desviaciones respecto a la media de la muestra y no respecto a μ , por lo que se emplea $(n-1)$ en el denominador de las ecuaciones 1.2 y 1.3 para estimar la varianza σ^2 y la desviación estándar σ .

Es importante tener en cuenta la diferencia entre emplear una u otra modalidad de las ecuaciones 1.2 y 1.3 para emplearlas correctamente.

En el Apéndice 2, se presentan expresiones alternativas a las ecuaciones 1.1 a 1.3 para obtener media, varianza y desviación estándar, en función de la frecuencia y la marca de clase de cada intervalo.

Desviación Media

En algunos casos en lugar de la desviación estándar se utiliza la desviación media que está dada por la siguiente expresión:

$$d_m = \frac{\sum (x_i - \bar{x})}{n}$$

Ec. 1.4

Coefficiente de Variación

La desviación estándar se expresa en las mismas unidades que la variable. En algunos casos es conveniente expresar la dispersión de los datos en forma porcentual, esto se logra mediante el coeficiente de variación definido como:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}}(100)$$

Ec. 1.5

Coefficiente de Asimetría

El coeficiente de asimetría y no es una medida de la dispersión, sirve para indicar el sesgo o asimetría de una distribución. Así si $\gamma > 0$ la distribución será positivamente asimétrica, si $\gamma < 0$, la distribución será negativamente asimétrica, y si $\gamma = 0$ la distribución será simétrica.

El coeficiente de asimetría se calcula mediante la siguiente expresión:

$$y = \frac{1}{n} \frac{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3}{\sigma^3}$$

Ec 16

1.3 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD

Existen dos tipos básicos de variables: las **variables continuas**, las cuales difieren en cifras infinitesimales ya que pueden tomar *todos los valores comprendidos dentro de un intervalo*, y las **variables discretas** que solo pueden tener ciertos *valores específicos dentro de un intervalo*.

Las variables continuas y las discretas no están separadas de manera inevitable. Si los valores de una variable que está distribuida continuamente se agrupan en intervalos y después se les da un tratamiento en grupos, el problema se convierte en un problema de variables discretas. Por el contrario cuando una variable discreta está constituida por una gran cantidad de clases, su distribución se aproxima a la de una variable continua y en muchas ocasiones resulta conveniente emplear dicha aproximación.

1.3.1 Distribuciones probabilísticas discretas

Si una variable aleatoria x puede asumir valores discretos $x_0, x_1, x_2, \dots, x_k$ con sus respectivas probabilidades $p_0, p_1, p_2, \dots, p_k$, en las que $p_i > 0$ para todas las i

$$\sum_{i=0}^k p_i = 1$$

entonces la probabilidad $p(x_i) = p_i$, caracteriza una distribución probabilística discreta (fig. 1.3) para la variable aleatoria x .

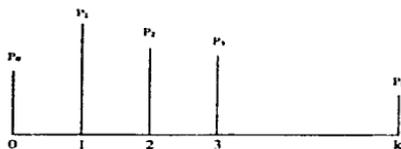


Fig. 1.3 Distribución probabilista de una variable aleatoria discreta x

La función de distribución acumulada de una variable aleatoria discreta se define como:

$$P(X) = \sum_{i=1}^n p_i$$

Dicha función es de tipo escalón y es constante en cada intervalo como se muestra en la figura 1.4

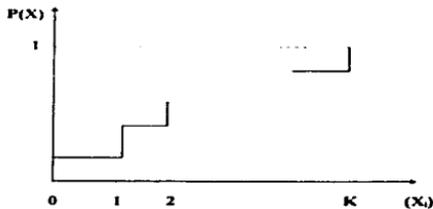


Fig. 1.4 Función de distribución acumulada (f.d.a.) de una variable aleatoria discreta x .

1.3.2 Distribuciones probabilísticas continuas

Anteriormente se explicó como los datos de una variable continua se pueden representar mediante un histograma y un polígono de frecuencias. Si la amplitud del intervalo de clase tendiera a cero tanto el histograma como el polígono de frecuencias se acercarían a la forma de una curva continua. Si en dicha curva la frecuencia fuera estandarizada de manera que el área bajo dicha curva fuera igual a la unidad, entonces se determinaría una distribución probabilística continua donde $p(x)$ es la función de densidad de probabilidad

$$\int_{-\infty}^{\infty} p(x) dx = 1$$

Por consiguiente, la probabilidad de que un valor x quede comprendido entre x_1 y x_2 será

$$\text{probabilidad}(x_1 < x < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

La función de distribución acumulada $P(X)$, para una variable continua se define como la probabilidad de obtener un valor menor o igual a X , matemáticamente se expresa como

$$P(X) = \int_{-\infty}^x p(x) dx$$

Esperanza

Si x es una variable aleatoria discreta y tiene una distribución probabilística p , la media de x será

$$E(x) = \sum p_i x_i$$

para el caso de que x sea continua tenemos

$$E(x) = \int_{-\infty}^{\infty} xp(x) dx$$

que también se puede expresar como $\mu = E(x)$

A continuación se presentan algunas funciones de distribución de probabilidades que se utilizan en capítulos posteriores

1.3.3 Función de distribución exponencial

Esta función de distribución se empleará posteriormente para generar los intervalos de tiempo de las cargas sostenidas. La función de distribución exponencial está definida por la siguiente expresión

$$f_T(t) = \nu_0 e^{-\nu_0 t} \quad \text{Ec. 17}$$

cuya función de distribución acumulada es

$$F_T(t) = 1 - e^{-\nu_0 t}, \quad t \geq 0 \quad \text{Ec. 18}$$

donde:

ν_0 es el número promedio de sucesos por unidad de tiempo
 t es un intervalo de tiempo.

El valor de la media de $f_T(t)$ está dado por

$$M(t) = \frac{1}{\nu_0} \quad \text{Ec. 19}$$

y la varianza por:

$$V(t) = \frac{1}{\nu_0^2} \quad \text{Ec. 1.10}$$

1.3.4 Función de distribución Gamma

La función de distribución Gamma se utilizara mas adelante para la generacion de las intensidades de carga sostenida. Pier (ref 8) ha mostrado que la carga sostenida queda bien representada por una función de este tipo. Esto se comprobo con los datos obtenidos del muestreo que se realizo en este estudio en cinco edificios de oficinas en la ciudad de Mexico.

La función de distribución Gamma esta descrita por la siguiente expresion

$$f_{x_t}(x) = \frac{\lambda(\lambda x)^{k-1} e^{-\lambda x}}{\Gamma(k)}$$

donde $\Gamma(k)$ esta dado por

Ec. 1.11

$$\Gamma(k) = \int_0^{\infty} e^{-u} u^{k-1} du$$

Ec. 1.12

teniendo como restricciones de inicio: $\lambda > 0$ y $k > 0$

La media y la varianza están dadas por la siguientes expresiones

$$M(x) = \frac{k}{\lambda}$$

Ec. 1.13

$$V(x) = \frac{k}{\lambda^2}$$

Ec. 1.14

1.3.5 Función de distribución Extrema Tipo I

Esta función de distribución se empleará para representar el comportamiento de la carga extraordinaria maxima. Se define mediante la siguiente expresion:

$$f_x(y) = \alpha e^{-\alpha(y-u)} \cdot e^{-\alpha(u-u)}$$

Ec. 1.15

Su distribución acumulada es

$$F_x(y) = e^{-\alpha(y-u)}, \quad -\infty < y < \infty, \quad \alpha > 0, \quad u > 0$$

Ec. 1.16

donde:

α es un medida de dispersión
 u es la moda de la distribución

El valor de la media se obtiene mediante la siguiente expresión

$$M(y) = u + \frac{\sum}{\alpha} = u + \frac{0.577}{\alpha}$$

Ec. 1.17

La varianza esta dada por.

$$V^2(y) = \frac{\pi^2}{6\alpha^2} = \frac{1.645}{\alpha^2}$$

Ec. 1.18

La desviación estándar es.

$$D(y) = \frac{\pi}{\sqrt{6}\alpha} = \frac{1.282}{\alpha}$$

Ec. 1.19

En la ref. 16 se puede obtener una explicación más detallada de estas y otras funciones de distribución de probabilidad

1.4 INTRODUCCIÓN A PROCESOS ESTOCÁSTICOS

La palabra estocástico es sinónimo de aleatorio. Un proceso estocástico es un sistema que se desarrolla en el tiempo a través del cual pasa por fluctuaciones al azar. Se puede describir un sistema definiendo una familia de variables aleatorias, $\{X_t\}$, donde X_t mide, en el instante t , el aspecto del sistema en estudio.

Los valores que puede tomar X_t son llamados sus estados y los cambios en el valor X_t reciben el nombre de transacciones entre sus estados.

Los modelos estocásticos son aplicables a cualquier sistema en el que exista variabilidad al azar en el transcurso del tiempo.

Por proceso estocástico se entiende una familia de variables aleatorias $\{X_t\}$, donde t es un punto en un espacio E , llamado espacio parametral, y donde para cada $t \in E$, X_t es un punto en un espacio S , llamado espacio de estados.

La familia $\{X_t\}$ podría ser la trayectoria de una partícula que se mueve al azar en un espacio S , siendo X_t su posición en el instante t . Un registro de estas trayectorias se conoce como realización del proceso.

Mediante la teoría de probabilidades se pueden determinar relaciones entre las X_t para diferentes valores fijos de t .

Algunas aplicaciones de procesos estocásticos en la ingeniería civil son las siguientes:

- Sismología (ocurrencia de temblores, acelerogramas, respuesta de estructuras, efecto del filtro del subsuelo)
- Variaciones espaciales de las propiedades de los materiales (suelo, roca)
- Predicción de avenidas, oleaje
- Filtraciones en materiales permeables o fisurados
- Geoestadística

y en este estudio se utilizan para modelar los cambios de ocupación de las cargas sostenidas a través del tiempo.

Suponiendo que $X(t)$ es un proceso real y continuo, y que $F(x,t)$ es la función de distribución acumulada derivada del proceso mencionado. Entonces la función de distribución de probabilidades para este proceso es

$$f_x(x,t) = \frac{\partial F_x(x,t)}{\partial x}$$

Para un valor fijo de t se puede definir la media y la varianza de la variable aleatoria correspondiente

La media esta dada por la siguiente expresion

$$M[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} xf_1(x, t) dx$$

y la varianza por

$$V[X(t)] = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 f_1(x, t) dx - M[X(t)]^2$$

1.4.1 Proceso de Poisson

Un proceso de Poisson tiene las siguientes características

- Cualquier punto tiene la misma probabilidad de ocurrir en cualquier instante
- La ocurrencia de cada evento es independiente de la de los demás eventos
- Solo una ocurrencia se puede presentar en un determinado tiempo

El proceso queda definido como sigue

$$P(X = r) = \frac{(v_r T)^r}{r!} \exp^{-v_r T}$$

donde,

- r es el número de ocurrencias
- v_r es el indice medio de ocurrencia
- T es el periodo de tiempo

El modelo de simulación que se utiliza en este trabajo supone que los cambios en la carga sostenida y la forma en que se presentan las cargas extraordinarias obedecen a un proceso de Poisson

1.5 MÉTODO DE MONTECARLO

1.5.1 ¿Qué es y para que sirve el método Montecarlo?

El método Montecarlo es un método numérico que permite resolver problemas matemáticos mediante la simulación de variables aleatorias.

Dos puntos importantes dentro del método Montecarlo son:

Primero se tiene que elaborar un programa para la realización de una prueba aleatoria, la cual posteriormente se repetirá N veces, de manera que cada prueba sea independiente de las demás. Mediante la utilización de este método es posible obtener una mayor exactitud dependiendo del número de pruebas. Además un problema puede ser resuelto por distintas variantes del método que permiten elevar la exactitud.

Mediante este método es posible simular cualquier proceso que dependa de factores aleatorios.

Este método genera variables aleatorias a partir de una función de distribución de probabilidades al mismo tiempo que permite simularlas.

En las etapas iniciales del desarrollo del método Montecarlo los investigadores intentaban obtener cada variable aleatoria construyendo una ruleta apropiada. Por ejemplo para obtener los valores de la variable aleatoria con la siguiente distribución:

x_1	0.5
x_2	0.25
x_3	0.125
x_4	0.125

Se podría emplear la ruleta mostrada en la fig. 1.3 que está dividida en partes proporcionales a las p_i .

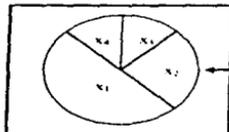


Fig. 1.3

Sin embargo no es necesaria, ya que los valores de cualquier variable aleatoria se pueden obtener efectuando transformaciones de una sola variable aleatoria. Suele emplearse con este fin la variable aleatoria γ' , definida en el intervalo $(0,1)$, y su densidad es $p(x)=1$, se dice entonces que esta uniformemente distribuida en $(0,1)$. De esta forma cualquiera que sea el intervalo (a',b') que este dentro de $(0,1)$, la probabilidad de que γ' tome un valor perteneciente al intervalo (a',b') es igual a la longitud de este intervalo.

1.5.2 Sorteo de una variable aleatoria discreta

Si queremos obtener valores de la variable aleatoria ξ que tiene la siguiente distribución

$$\xi \sim (x_1, p_1, x_2, p_2, \dots, x_n, p_n)$$

Consideremos el intervalo $0 \leq \gamma' < 1$ dividiéndolo en n intervalos de longitudes p_1, p_2, \dots, p_n . Es evidente que las coordenadas de los puntos de división serán $\gamma = p_1, \gamma = p_1 + p_2, \dots, \gamma = p_1 + p_2 + \dots + p_n$. Indiquemos con $i, 2, \dots, n$ los intervalos obtenidos, como se observa fig. 1.4.



Fig. 1.4

Con esto concluyen los preparativos del sorteo de ξ . Cada vez que tengamos que realizar un experimento y sortear el valor de ξ , tomaremos un valor de γ' y construiremos el punto $\gamma = \gamma'$. Si este punto aparece en el intervalo correspondiente al número i , aceptaremos que $\xi = x_i$ para este experimento.

1.5.3 Sorteo de una variable aleatoria continua

Si deseamos obtener valores de una variable aleatoria ξ distribuida con densidad $p(x)$ en el intervalo (a,b)

Los valores de ξ se pueden determinar mediante la siguiente expresión

$$\int_a^{\xi} p(x) dx = \gamma'$$

de modo que una vez escogido el valor γ' se resuelve la igualdad anterior y se obtiene el valor de ξ .

Un ejemplo que ilustra esto es el siguiente

Si se dice que la variable aleatoria ξ está uniformemente distribuida en el intervalo (a,b) si su distribución es constante en este intervalo

$$p(x) = \frac{1}{b-a} \quad a < x < b$$

entonces, planteando la expresión tenemos

$$\int_a^b \frac{dx}{b-a} = \gamma'$$

de donde obtenemos

$$\xi = a + \gamma'(b-a)$$

II. MODELO DE CARGAS VIVAS COMO PROCESO ESTOCÁSTICO

En este capítulo se describe la representación de las cargas vivas como proceso estocástico y se hace una descripción del modelo de simulación de Montecarlo desarrollado por Soriano y Ruiz, (ref. 1) el cual se emplea posteriormente en este trabajo.

Una estructura durante su vida útil se ve sujeta a variaciones aleatorias de la carga viva. Estas variaciones se pueden representar mediante modelos matemáticos que representen el comportamiento aleatorio de dichas cargas.

El modelo adoptado en este trabajo para representar las cargas vivas considera que la **carga viva total** (fig. II.1 c) que actúa sobre una planta de oficinas está compuesta por **cargas sostenidas** (fig. II.1 a) y **cargas extraordinarias** (fig. II.1 b).

El mobiliario y el personal que normalmente labora en un oficina están representados por las **cargas sostenidas** cuya intensidad se considera constante durante ciertos intervalos de tiempo, hasta que ocurre un nuevo cambio de ocupación. Durante estos intervalos de tiempo se presentan eventos inusuales de sobrecarga, estos están representados por las **cargas extraordinarias**, cuya magnitud puede alcanzar valores muy altos de carga viva, pero su duración es pequeña comparada con la de las cargas sostenidas, por lo que se consideran que ocurren en un instante. Ejemplos de este tipo de cargas son las fiestas, o cuando se hace una remodelación en donde es necesario almacenar el mobiliario y demás objetos en una área relativamente pequeña con el fin de dejar espacio libre para poder llevar a cabo dicho trabajo.

En las siguientes figuras se representan esquemáticamente las cargas vivas.



Fig. II.1 Representación esquemática de las cargas vivas.

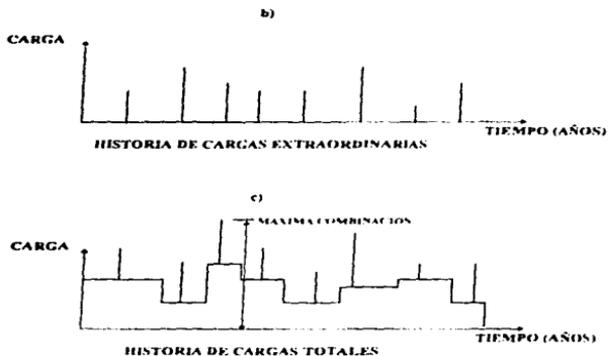


Fig. II.1 (cont.) Representación esquemática de las cargas vivas:
 a) cargas sostenidas, b) cargas extraordinarias, c) suma de la cargas sostenidas y las extraordinarias.

II.1 CARGAS SOSTENIDAS

Se considera que la carga sostenida en un área cualquiera se mantiene constante durante cierto intervalo de tiempo hasta que ocurre un cambio de ocupación, se supone que estos cambios siguen un proceso de Poisson.

Pier (ref 8) encontró que la magnitud de las cargas vivas puede ser representada por una función de distribución de probabilidades Gamma.

Ellinwood y Culver (ref 5) analizaron la carga viva sostenida y llegaron a las siguientes conclusiones.

La media es independiente del área de piso A , esto es

$$E(u) = m_u \quad \text{Ec. II 1}$$

pero la varianza si depende del área

$$\text{Var}(u) = \sigma_u^2 + \frac{\sigma_v^2}{A} \quad \text{Ec. II 2}$$

m_u , σ_u^2 y σ_v^2 se determinan experimentalmente a partir de datos de cargas vivas de servicio

donde

- u es la carga sostenida uniformemente repartida sobre el área de piso
- m_u es la media de la carga viva de servicio
- σ_u^2 es la varianza de la carga viva de servicio, esta en función de un área de piso
- σ_v^2 es una constante experimental que resulta de un ajuste razonable de datos de pequeñas áreas de servicio

Cuando la carga real sostenida no es uniforme sobre un área de piso las ecuaciones II 1 y II 2 se modifican como sigue

$$E(L) = m_u + m_l \quad \text{Ec. II 3}$$

$$\text{Var}(L) = \sigma_u^2 + \frac{k\sigma_v^2}{A} \quad \text{Ec. II 4}$$

donde:

- l** es la carga real sostenida, la cual no esta uniformemente repartida sobre el área de piso
- k** está en función de una superficie particular de influencia

Ellinwood y Culver (ref. 5) sugirieron un valor de $k = 2.2$, el cual se considera suficientemente exacto para diseño. Este el valor que se emplea en este estudio.

II.2 CARGA SOSTENIDA MÁXIMA

Como ya se ha mencionado, se considera que las cargas sostenidas permanecen constantes durante ciertos periodos de tiempo hasta que hay un cambio de ocupación, se supone que estos cambios siguen un proceso de Poisson, por lo que el tiempo entre cambios de cargas sostenidas, puede ser modelado por una función de distribución de probabilidades exponencial. McGuire y Cornell (ref. 6) hacen ver que los valores máximos de las cargas sostenidas, se modelan entonces mediante una función de distribución de probabilidades Extrema Tipo I.

II.3 CARGAS EXTRAORDINARIAS

En la ref. 5 aparece el siguiente modelo de cargas extraordinarias, que es el mismo que se emplea en este trabajo.

Este modelo supone que las cargas extraordinarias se presentan siguiendo un proceso de Poisson y además que durante cada evento la gente se reúne en grupos. El número de cada uno de estos, es también, un proceso de Poisson, con media que depende del área designada por A_i .

$$E(E) = \frac{m_u m_u \bar{\lambda}}{A_i}$$

Ec. II.5

$$\text{Var}(E) = \frac{\lambda k (m_u \sigma_u^2 + m_u^2 \sigma_u^2 + m_u^2 m_u^2)}{A_i^2}$$

Ec. II.6

$$\bar{\lambda} = \left(\frac{A_i - 155}{6.3} \right)^2$$

Ec. II.7

donde

E	representa las cargas extraordinarias
\bar{K}	es el promedio de celdas cargadas en un área
k	es un valor que considera que la carga real no está uniformemente distribuida, su valor se supone igual a 2.2
m	es la media
σ	es la desviación estándar
A_i	es el área de influencia

Los subíndices W y R se refieren al peso de una persona y al número de gentes en un grupo, respectivamente

En este estudio se consideran los siguientes valores

m_w	= 68.04 kg
σ_w	= 11.34 kg
m_k	= 4 personas
σ_k	= 2 personas

II.4 CARGA EXTRAORDINARIA MÁXIMA

Se supone que la magnitud de las cargas extraordinarias puede representarse por una función tipo Gamma. Al igual que las carga sostenida máxima los valores máximos de las cargas extraordinarias siguen una función de distribución Extrema Tipo I.

Yi-Kwei Wen desarrollo en 1977, (ref. 13) una aproximación para obtener la media y la desviación estándar de las cargas extraordinarias máximas suponiendo que estas están asociadas a una función tipo Gamma. Las expresiones que propuso son las siguientes

$$\mu_{e_w} = \mu_s + p\sigma_s$$

Ec. II.8

$$p = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N + 0.5772 \frac{1 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N \frac{\sigma_s}{\mu_s}}{2 \frac{\sigma_s}{\mu_s} + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N}$$

Ec. II.9

24

$$\sigma_{s_0} = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \sigma_s C_2$$

Ec II 10

$$C_1 = \frac{1 + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N \frac{\sigma_s}{\mu_s}}{2 \frac{\sigma_s}{\mu_s} + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N}$$

Ec II 11

Posteriormente, el mismo autor, en 1979 (ref 14) propuso una expresión para evaluar p con la que se obtienen mejores resultados. Esta es la siguiente:

$$p = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln N \left(1 + 0.1 \left(\frac{\sigma_s}{\mu_s} \right)^4 \right)$$

Ec II 12

donde

- μ_s , es la media de la intensidad de la carga de un evento extraordinario
- σ_s , es la desviación estandar de la intensidad de la carga de un evento extraordinario

II.5 CARGA TOTAL MÁXIMA

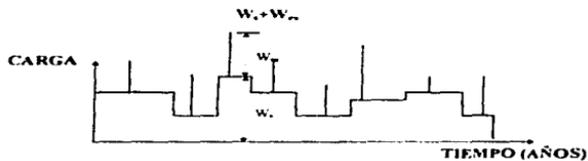
La carga total máxima que actúa en una determinada área se supone formada por una carga sostenida más una carga extraordinaria.

Entonces la máxima carga viva originada por la combinación de la carga sostenida y la extraordinaria durante la vida útil de la estructura se puede dar por uno de los siguientes tres casos, según Chalk y Corotis (ref 9)

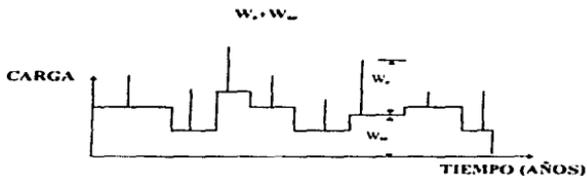
Si definimos

- W_s como carga sostenida máxima durante la vida útil de la estructura
- W_{se} como la carga extraordinaria asociada a W_s
- W_e como la máxima carga extraordinaria que se presenta durante la vida útil de la estructura
- W_{se} como la carga sostenida asociada a W_e

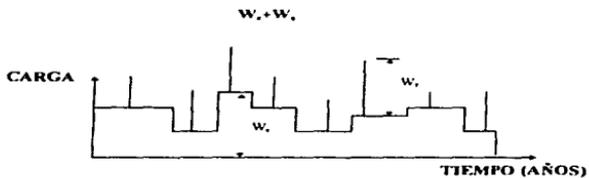
Primer caso



Segundo caso.



Tercer caso.



Entonces un modelo de carga total máxima debe de considerar estos tres casos. En el modelo de simulación que se utiliza en este trabajo, se sigue otro procedimiento que implícitamente considera los tres casos anteriores. Este es el método de Montecarlo.

II.6 MÉTODO DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO

En la sección 1.5 se comentó que mediante el método de Montecarlo se pueden generar números aleatorios y simular variables aleatorias que sigan el comportamiento de una función de distribución de probabilidades en particular.

A continuación se describe el método de simulación de Montecarlo que se utiliza posteriormente Soriano y Ruiz (ref. 1), realizaron un programa de cómputo en lenguaje FORTRAN, el cual utiliza este método. En este trabajo se utiliza dicho programa (ver Apéndice 1).

El programa de simulación requiere de los siguientes datos:

- media de las cargas sostenidas (Ec. II.3)
- varianza de las cargas sostenidas (Ec. II.4)
- media de las cargas extraordinarias (Ecs. II.5 y II.7)
- varianza de las cargas extraordinarias (Ecs. II.6 y II.7)

El modelo consiste en los siguientes pasos:

1. - Generación de la duración de los intervalos de tiempo de la carga sostenida

Dado que se supone que los cambios de ocupación en una oficina obedecen a un proceso de Poisson, los intervalos de duración de las cargas sostenidas se generan aplicando el método Montecarlo a una función de distribución de probabilidades exponencial.

Se generan intervalos de tiempo t , dentro del intervalo de tiempo de vida útil (periodo de retorno $T_R=50$ años para oficinas), considerando un índice de cambios de ocupación de cargas sostenidas $v_c=0.125$ lo que indica un tiempo promedio de cambio de 8 años.

2. - Generación de la magnitud de la carga sostenida instantánea

Con la media y la desviación estándar que se obtengan del muestreo de cargas y mediante las ecuaciones 1.13 y 1.14 se obtienen los parámetros k y λ , de la función de distribución Gamma. (Ec. 1.11) Aplicando el método Montecarlo a la función Gamma y con los parámetros k y λ calculados se genera aleatoriamente la magnitud de las cargas sostenidas.

3 - Generación de la carga extraordinaria máxima

Mediante las ecuaciones II 5 a II 7 se obtiene la media y la desviación estándar de un evento simple extraordinario para el área de influencia que se este simulando. Con estos valores y con las ecuaciones II 8, II 12, II 10 y II 11 se obtiene la media y la desviación estándar de las cargas extraordinarias máximas.

Con la media obtenida por la Ec. II 8, la desviación estándar obtenida por la Ec. II 10, y mediante las ecuaciones I 17 y I 19, se obtienen los parámetros α y ν de la función de distribución Extrema Tipo I (Ec. I 15).

Se obtienen valores aleatorios (método de Montecarlo) de la función de distribución de probabilidades Extrema Tipo I. Con los parámetros previamente determinados (α y ν) se genera de manera aleatoria la intensidad de la máxima carga extraordinaria para cada intervalo de duración de las cargas sostenidas.

- 4 - Se elige la combinación más desfavorable de carga sostenida más carga extraordinaria y se guardan los valores asociados a esta (carga sostenida, extraordinaria y total).
- 5 - Se repiten los pasos anteriores un número N de veces. Donde N es el número de simulaciones que se desean realizar.
- 6 - Se obtienen los **valores medios** y desviaciones estándar de las cargas sostenidas, extraordinarias y totales máximas obtenidas en cada ciclo de la simulación (paso 4).
- 7 - Se realizan los pasos 1 a 6 para diferentes valores del área de influencia.

III. ESTIMACIÓN DE CARGAS EN PISOS DE OFICINAS

En este capítulo se describe la metodología que se siguió para estimar las cargas vivas en los diferentes edificios de oficinas muestreados, así como las características de estos.

La estimación de las cargas vivas en los diferentes pisos de oficinas es una de las etapas más importantes. Tanto los resultados del muestreo como los finales dependen de la precisión con que se hagan las estimaciones.

Los edificios muestreados son los siguientes:

- Edificio 2 del Instituto de Ingeniería (II), de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
- Edificio de la Dirección General de Institutos Tecnológicos (DGI) y Dirección General de Escuelas Técnicas y Agropecuarias (DGETA), de la Secretaría de Educación Pública (SEP)
- Edificio de la Subdirección de Ingeniería de Proyectos de Explotación (SIPE), del Instituto Mexicano del Petróleo (IMP)
- Edificio de la Subdirección de Ingeniería de Perforación y Plantas Industriales (SIPPI), del Instituto Mexicano del Petróleo
- Edificio de Ingenieros Civiles Asociados (ICA), Ingeniería

En lo subsecuente se hará referencia indistinta a las siglas o nombre correspondientes a cada institución.

III.1 MEDICIÓN DE MOBILIARIO, EQUIPO Y OBJETOS DE OFICINAS

III.1.1 Herramientas de trabajo

Una de las etapas principales de este trabajo fue estimar las *cargas vivas instantáneas sostenidas* debidas a personas y mobiliario en diferentes plantas de oficinas. Para lograr esto fue necesario seleccionar las herramientas adecuadas para pesar los objetos que se encuentran dentro de las oficinas.

Inicialmente se propuso una celda de carga conectada a un puente de Winston. Dado que las dimensiones de la celda eran pequeñas (diámetro de 10 cm) se presentaron algunos problemas, por ejemplo la dificultad de colocar un objeto sobre la celda y tratar de equilibrarlo para así poder pesarlo, por lo que se construyó un aditamento en forma de cruz para que se acoplara a la celda, de forma que se tuviera una plataforma de apoyo y una base firme. Una vez realizado esto, se inició una serie de pruebas utilizando dicha celda. Al colocar una carga excentricamente con respecto al centro de la plataforma, se obtuvieron valores distintos de los obtenidos colocando la carga sin excentricidad. Esto condicionaba el uso de la celda y la hacía poco práctica. Por estos motivos se descartó el uso de dicha celda de carga.

Finalmente, se optó por utilizar 2 basculas de palancas equilibradas a base de contrapesos con una plataforma de 10 x 40 cm, con capacidad para 140 kg cada una. Estas basculas reunieron las características requeridas para el proyecto, relativa facilidad para transportarse, capacidad suficiente, facilidad de ajuste y bajo riesgo de descompostura.

Otros aditamentos utilizados para realizar las estimaciones fueron: Hexómetros, gato de patín con capacidad de 2000 kg, fajas de soporte con tirantes útiles para cargar objetos pesados, guantes de nitrilo, polines, tablonés y tablas de madera.

III.1.2 Clasificación y metodología

Para poder estimar las cargas por unidad de área que actúan sobre una planta de oficinas es necesario lo siguiente:

- Conocer los pesos aproximados de los diversos muebles
- Estimar los pesos de los materiales de oficinas (papelería, etc.)
- Contar con las dimensiones de la planta de oficinas por estudiar.

Para cumplir con los objetivos del estudio fue necesario pesar físicamente muebles, objetos y materiales típicos de oficinas, y ordenarlos en un catálogo de referencia.

A continuación se describe brevemente la clasificación de objetos y muebles que se adoptó en este trabajo.

Libros: se pesaban paquetes de libros y se medían sus dimensiones a distintas alturas con el fin de obtener sus promedios (ancho, largo y altura). A partir de estas mediciones se obtiene su peso volumétrico promedio.

Engargolados y carpetas: esta clasificación se eligió debido a que tanto los engargolados como las carpetas tienden a tener un espacio libre entre las hojas, lo que los hace más ligeros. La forma de medirlos y pesarlos fue similar a la de los libros.

Hojas de papel y hojas para impresora: la metodología para su medición fue similar a los anteriores.

Combinados: esta clasificación se empleó para el caso de paquetes los cuales eran una combinación de libros, folders, carpetas, etc.

Folders: esta clasificación es importante ya que los folders son de uso muy frecuente. Muchas veces los archiveros contienen únicamente folders con hojas en su interior.

Archiveros: en este caso se clasificaron en "archiveros antiguos" y "archiveros modernos". Primeramente se pesaron los archiveros vacíos, sin cajones. Esto se hizo, tanto para archiveros modernos como antiguos. Cabe mencionar que la distinción hecha se basó principalmente debido a que los materiales con los que están fabricados influyen significativamente en el peso. Posteriormente se pesaron los cajones para distintas condiciones como "cajón lleno" y "cajón medio lleno". Esto, con el fin de estimar las cargas de la manera más realista posible.

Las dimensiones de los archiveros hicieron necesario que se pesaran auxiliándose de las dos basculas al mismo tiempo, se inclinaba el archivero y se introducía una bascula, de igual forma para el lado opuesto. Con la suma de las dos lecturas se obtenía el peso total. Se tomaban las dimensiones, así como el número de cajones y se diferenciaba entre archivero metálico o de madera.

Escritorios: se clasificaron en chicos, medianos y grandes. Esta clasificación se hizo con base en el tipo de material, las dimensiones y número de cajones.

Los escritorios se pesaron con los cajones llenos, quitando todos aquellos objetos que estuviesen sobre la cubierta. Los objetos que estaban sobre el escritorio se pesaban por separado.

Los escritorios con cuatro patas se pesaron con las dos basculas y dos polines (previamente pesados). Se colocaban sobre las basculas los polines que sirvieron de apoyo a las patas del escritorio, se sumaban las dos lecturas y se restaba el peso de los polines. Así se obtenía el peso del escritorio, al mismo tiempo que se tomaban sus dimensiones (ancho, largo y alto) para obtener las estadísticas de su peso volumétrico y su peso por unidad de área.

Impresoras: estas se dividieron en impresoras laser grandes y chicas, e impresoras de punto grandes y chicas. Igualmente, se pesaban y se tomaban sus dimensiones.

Sillas: las sillas se clasificaron en sillas con y sin coderas, y con ruedas y sin estas. Se pesaron en una bascula auxiliándose de una tabla que sirvió de plataforma (previamente pesada) para poder colocar la silla. Se tomaron las dimensiones en planta. El peso se obtenía restando a la lectura de la bascula el peso de la tabla.

Mesas: para las mesas se siguió el mismo procedimiento utilizado con los escritorios. Se clasificaron en mesas medianas, grandes y de cómputo.

Librerías: para pesar estos también fue necesario emplear dos basculas. Los libreros se dividieron en metálicos y de madera, con y sin vidrios, así como libreros de madera con y sin puertas y libreros grandes y pequeños. Cuando fue posible dichos libreros se pesaron vacíos y llenos. Posteriormente se estimó el peso de lo que contenían. De esta manera se cubrió en parte el sistema de estimación. Dicho sistema (sin necesidad de pesar físicamente los objetos que se encontraban dentro del mueble) se utilizó posteriormente para estimar los pesos.

Se procedió de forma similar para pesar los siguientes tipos de objetos: *monitores, CPU's, teclados y reguladores.*

III.1.3 Histogramas de Equipo y Objetos de oficina

En la figura III-1 se muestran los histogramas de algunos de los objetos que fueron pesados con mayor frecuencia: engargolados, hojas de papel, hoja de computadora, libros, folders, combinados, sillas, escritorios medianos, CPU y monitores.



Fig. III.1 Histogramas de equipo y objetos de oficina

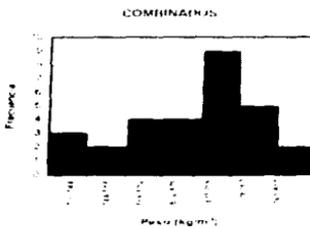
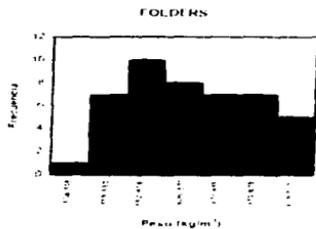
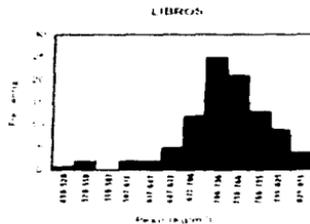


Fig. III.1 Histogramas de equipo y objetos de oficina (continuación).

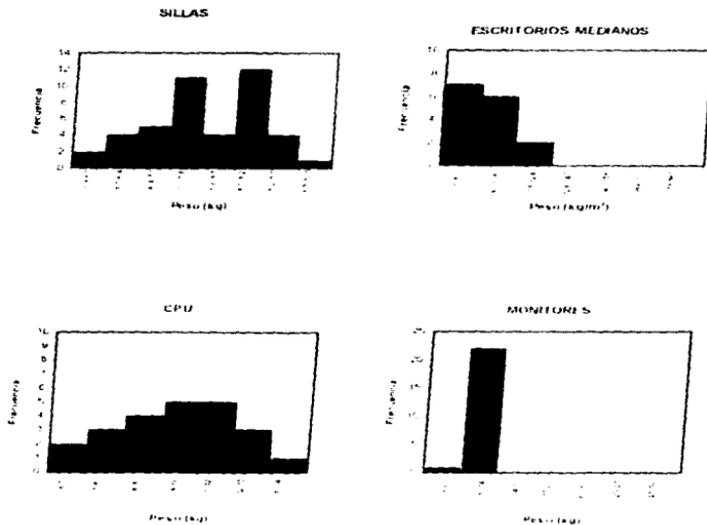


Fig. III.1 Histogramas de equipo y objetos de oficina (continuación).

III.2 ESTIMACIÓN DE LA CARGA VIVA EN LOS DIVERSOS EDIFICIOS

III.2.1 Procedimiento general de estimación de cargas

Para estimar las cargas de los pisos que se estudiarán sin pesar físicamente los objetos (sin embargo, fue necesario pesar algunos objetos) se siguió el procedimiento que a continuación se describe

1. *Arreglos preliminares*

En esta etapa se contacta a las personas indicadas de cada edificio a fin de solicitar autorización para realizar las estimaciones de carga y todo lo que esto involucra. Una vez obtenida la autorización se solicita a los jefes de las oficinas visitadas los planos de las plantas cuyas cargas se estimarán; así mismo se solicita apoyo, de ser posible, del personal de intendencia de la institución que se visita.

2. *Inspección inicial*

Inseguida se realiza un recorrido por las instalaciones, haciendo una inspección visual y observando el tipo de mobiliario predominante, los objetos que no se tengan considerados en el catálogo, la distribución de las divisiones y mobiliario en la planta, así como, la verificación en los planos correspondientes.

3. *Estado de carga*

En esta parte se verifica físicamente el estado de carga de escritorios y archiveros. Esto es, si están llenos, medio llenos, o prácticamente vacíos y además que es lo que contienen (papel, folders, etc.). Se observa con más detalle la distribución del mobiliario.

4. *Selección de la muestra de mobiliario que debe pesarse*

Después de haber inspeccionado el estado de carga y de haber hecho la inspección visual, se elige una muestra que se considere representativa del mobiliario predominante. Así como los objetos de los que no se tienen estadísticas.

5. *División de áreas básicas*

La división de áreas básicas (menores que 20 m²) para las cuales se estimará la carga se hace principalmente con base en los siguientes dos criterios:

- Con base en los requerimientos para el análisis estadístico (para lo cual es necesario considerar áreas relativamente pequeñas)

- La distribución del mobiliario, así como de las divisiones físicas de las oficinas son factores que influyen de manera importante en la selección de las áreas básicas que se consideran en el estudio. Las áreas básicas deberán ser físicamente fáciles de localizar, esto se consigue tratando de que la división imaginaria coincida con divisiones físicas reales como mamparas, columnas pasillos etc.

La división de las áreas básicas debe cumplir lo más cercano posible los puntos anteriores con la finalidad de hacer fácil y rápido el registro. La división se hace en un plano marcando los límites de cada área y asignando un número que permita identificar a cada una de ellas.

6. Obtención de los pesos de las muestras seleccionadas y ampliación del catálogo

En este punto se pesan físicamente los objetos que previamente se han elegido y se comparan con los existentes en el catálogo. Esto, con la finalidad de observar si estos cambian considerablemente con respecto a lo que se tiene previamente asentado. Si es que se tienen registrados se comprueba su valor medio, si no se tienen se anexan a la lista. Con esto se decide el valor de los pesos promedio que se tomarán de los objetos en el edificio en estudio.

7. Formato de registro

La finalidad del formato de registro es la de hacer la estimación más práctica y rápida. El formato debe contener el peso promedio por objeto o el peso por unidad de longitud o volumen de los objetos que se han estimado previamente para cada oficina. Este formato se adapta a las condiciones particulares de cada edificio o piso de oficinas, tanto en tipo de mobiliario y objetos como en pesos promedio. En la Tabla III.1 se muestra un ejemplo de estos formatos.

Tabla III.1 Ejemplo de formato de registro

Objeto	Peso																		
Empaquetados y carpetas	605,17	kg/m ³																	
Hojas de papel	710,46	kg/m ³																	
Hojas para computadora	677,31	kg/m ³																	
Libros	733,29	kg/m ³																	
Combustados	667,75	kg/m ³																	
Folders	624,60	kg/m ³																	
Archiveros																			
Metalicos llenos 3 cajones	105,97	kg.																	
Metalicos llenos 4 cajones	140,00	kg.																	
Metalicos llenos 5 cajones	203,04	kg.																	
Metalicos llenos 2 cajones	70,65	kg.																	
Credenzas	117,83	kg.																	
Anaqueles	178,72	kg.																	
Escritorios																			
Pequeños	65,00	kg.																	
Medianos	100,00	kg.																	

8. Estimación por áreas

Esto consiste en anotar en la hoja de registro lo siguiente

- El edificio en estudio
- El piso cuya carga se esta estimando
- El número de area basica del piso
- El número de muebles u objetos de cierto tipo (contenidos en la hoja de registro)

Preferentemente la division de areas se hara de tal forma que los muebles queden dentro de las areas definidas de manera que no sea dudosa su pertenencia a una u otra area, sin embargo, esto no siempre es posible por lo que se tomara un criterio de quien esta realizando la estimacion el considerarlo perteneciente a una u otra area. De ser necesario se puede considerar cierto porcentaje del peso del mueble actuando en una area y el restante para la otra u otras areas.

9. Obtención de las cargas para cada área básica

De los registros obtenidos se multiplican las cantidades de objetos por su correspondiente peso promedio. Al sumar dichos productos se obtiene la carga total la cual se divide entre valor del area basica correspondiente obteniendose asi la carga por unidad de area. De esta manera se obtiene la carga estimada para las diferentes areas basicas que se seleccionaron.

10. Dibujo de la planta en AutoCad

Se dibuja la planta basandose en los planos y se marca la division de areas adoptadas, asi como la carga por unidad de area estimada para las distintas areas basicas.

Con esto, la informacion queda lista para su analisis estadistico.

El proceso anterior se aplicó en los siguientes edificios

- a) Edificio 2 del Instituto de Ingenieria de la UNAM. Dos pisos correspondientes a las coordinaciones de Mecanica Aplicada y Estructuras. 1º y 2º piso, respectivamente. Para el piso correspondiente a Mecanica Aplicada la carga por unidad de area se obtuvo de haber pesado todos los muebles y objetos que actuaban sobre el piso, con esto se pudo formar un primer catalogo de pesos, que servira de referencia para estimaciones posteriores.
- b) Edificio de la Secretaria de Educacion Publica. Dos pisos correspondientes a la DGIT y un piso correspondiente a la DGETA.
- c) Edificio del Instituto Mexicano del Petróleo. Tres pisos correspondientes al SIPE.

d) Edificio del Instituto Mexicano del Petróleo. Tres pisos correspondientes al SIPP1

e) Edificio de ICA-Ingeniería Civil. Pisos 1, 3, 7 y 9

Enseguida se describen las características generales de estos edificios y el proceso que se siguió para estimar las cargas sostenidas instantáneas actuantes sobre ellos.

III.2.2 Estimación de cargas sostenidas en el Edificio 2 del Instituto de Ingeniería, UNAM

III.2.2.1 Primer nivel. Coordinación de Mecánica Aplicada

En el piso de Mecánica Aplicada del Edificio 2 del Instituto de Ingeniería de la UNAM se pesó físicamente todo cuanto incidía sobre la planta. Al mismo tiempo que se pesaban los objetos se hizo una clasificación de los objetos y mobiliario típico de oficinas con lo que se formó el catálogo de estadísticas de los objetos antes mencionados.

En este piso se utilizó el siguiente procedimiento:

El registro se realizó por cubículos. Se hizo un croquis de las dimensiones de la planta del piso y de sus divisiones (cubículos), así como de todos los muebles y objetos que incidían sobre la planta. En dicho croquis se anotaban las dimensiones del cubículo, la carga actuante y la intensidad de carga por unidad de área, así como la distribución del mobiliario y objetos. De esta manera se obtuvo el croquis en detalle de todas las cargas actuantes.

Posteriormente, se dibujó la planta del piso completo con el programa de cómputo AutoCad. Se incluyeron las áreas donde actuaban las cargas con su respectiva intensidad por unidad de área.

Vale la pena mencionar que el haber pesado absolutamente todo, requirió de bastante tiempo, sin embargo, fue un paso necesario dentro del estudio. Algunas de las razones por las cuales posteriormente sólo se estimó la carga, sin pesar todos los muebles, son las siguientes:

- El tiempo que se llevó el pesar todo el mobiliario.
- La incomodidad que se causó al mover a las personas para pesar el mobiliario, ya que se encontraban laborando.
- El riesgo de causar daños al mobiliario y a los objetos sobre este.

Posteriormente se realizó en este mismo piso una estimación de cargas. Los valores estimados se compararon con los previamente pesados y se obtuvieron errores cercanos a $\pm 5\%$. El error total fue aproximadamente $\pm 3\%$. Es preciso remarcar que este resultado se obtuvo gracias a que la estimación se hizo minuciosamente, cosa que no fue posible en otros casos; sin embargo, la metodología probada dio confianza para decidir que la estimación sin necesidad de pesar todos los muebles tendría un grado de exactitud confiable.

III.2.2.2 Segundo nivel. Coordinación de Estructuras

Este piso presenta características muy similares a las del piso de Mecánica Aplicada del mismo edificio.

A grandes rasgos las características son las siguientes:

Cubiculos que contienen una gran cantidad de libreros, archiveros y equipo de cómputo y que están en áreas relativamente pequeñas, lo que hace que la carga por unidad de área sea mayor en comparación con otras plantas de oficinas que se muestrearon.

Para este piso se siguió el procedimiento general de estimación descrito en la sección III.2.1. Vale la pena mencionar que al encontrarse mobiliario muy similar al del primer nivel (en el cual se pesó todo) la estimación fue sencilla, rápida y confiable.

III.2.3 Estimación de cargas en el edificio de la SEP

Este edificio se localiza en la calle de Dr. Vertiz y Dr. Martínez del Río. Consta de planta baja y tres niveles.

La planta baja y el primer nivel corresponden a las oficinas de la Dirección General de Institutos Tecnológicos (DGIT). El segundo y tercer nivel corresponden a oficinas de la Dirección General de Escuelas Técnicas y Agropecuarias, (DGETA).

La estimación se realiza en dos partes dado que las oficinas de DGIT y DGETA son totalmente independientes. Lo que implica que presenten diferente tipo de mobiliario.

III.2.3.1 Oficinas de la DGIT

Las oficinas de la DGIT presentan las siguientes características:

Una gran cantidad de archiveros de 4 cajones modernos (según se clasificaron previamente) concentrados en gran cantidad a lo largo de ciertas áreas generalmente junto a muros o divisiones de los pisos. Los escritorios son en general de un mismo tipo. No se presenta un gran número de divisiones. Se encuentran algunos cubículos independientes y divisiones a media altura que separan los diferentes Departamentos.

Se observó el contenido de algunos archiveros y el estado de carga en que se encontraban, así como el tipo de material que contenían. Con el apoyo de personal de intendencia de la DGII se pesaron algunos muebles.

De forma similar se pesaron escritorios y se obtuvo su peso promedio.

Otros objetos que se pesaron fueron ventiladores, sillas, portagarrafones, ceniceros de pie y macetas.

Con esta información se estableció un formato de registro acorde con las características de la DGII.

La división de áreas para la planta baja de este edificio se realizó siguiendo las divisiones físicas de dicha planta. Por este motivo se obtuvieron áreas de diferentes formas y tamaños. Esto llevó a un lento y minucioso trabajo para obtener las intensidades de carga por unidad de área.

La realización de la planta en AutoCad se topó con el problema antes mencionado. Esto debido a que las forma de las áreas y los claros entre columnas no son del mismo tamaño, y la planta de la construcción es de forma irregular.

Con lo que respecta al primer nivel sus características son muy similares. En este nivel se dividió el espacio entre columnas en cuatro áreas, así, la subárea ubicada al noroeste sería la No. 1, la ubicada al noreste la subárea 2, la ubicada al suroeste la subárea 3, y la ubicada al sureste la subárea 4.

Se encontró un gran número de libreros con carpetas y folders se tomaron las dimensiones de estos y se multiplicó por su peso volumétrico promedio (previamente obtenido).

III.2.3.2 Piso de la DGETA

Los pisos de la DGETA presentaron características diferentes a los de la DGII en cuanto a mobiliario. Se encontraron archiveros de 3 y 4 cajones de madera y metálicos. Existe una gran variedad de escritorios, también se encontraron anaqueles de diferentes tamaños. En general no existe una tendencia definida de mobiliario predominante. El tipo de mobiliario es antiguo y de distintos tipos y materiales (principalmente metálico y de madera).

Para las oficinas de la DGETA solo se estimó el peso de uno de los dos pisos.

Dado que se encontró una gran variedad de mobiliario la clasificación requirió de mayor cuidado, tomando en cuenta principalmente los siguientes aspectos: los pesos, las dimensiones y el tipo de material.

Existen distintos tamaños de escritorios, tanto de madera como metálicos. Se clasificaron en escritorios chicos, medianos y grandes, se obtuvieron sus respectivos pesos promedio. Cabe mencionar que solo al ser pesados se les pudo clasificar en una u otra categoría.

Sucedo algo similar con los archiveros, de los cuales había una gran variedad. Solo al pesar algunos de ellos se tuvo idea de su clasificación. Para los archiveros se adoptó un peso promedio por cajón metálico y un peso promedio por cajón de madera.

Una vez realizado esto se adoptó el formato de registro para esta planta.

La división de áreas fue igual que para el primer nivel de la DGTI: división entre columnas y 4 subáreas.

El mobiliario pesado se anexó al catálogo.

Ya con el formato de catálogo adaptado, se procedió a realizar el registro de carga. Esto presentó cierta dificultad, ya que era necesario observar bien el mobiliario y clasificarlo correctamente, dada su gran variedad.

Una vez terminado el registro se procedió a hacer lo siguiente:

- se obtuvieron las cargas por cada área
- se realizó el plano de AutoCad señalando sus respectivas cargas vivas por unidad de área.

III.2.4 Estimación de Cargas en el edificio SIPE del IMP

Este edificio forma parte de las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo ubicado sobre la avenida de los Cien Metros. Presenta las siguientes características:

Edificio de planta regular, con algunos cubículos y un gran número de divisiones a media altura. Dichas divisiones están acondicionadas para que se les instalen testiradores que al mismo tiempo sirven como escritorios. Anexos a estos existen portaplano, gavetas y lámparas. Las divisiones se consideraron parte del mobiliario modular.

La distribución de los módulos es uniforme y las tres plantas son similares en cuanto a mobiliario y divisiones. Se encontraron además, archiveros de 3 y 5 cajones, mesas de cómputo y un número pequeño de escritorios, así como portaplanos horizontales de gran tamaño y portaplanos verticales de tamaño menor.

En este caso se pesó, con la ayuda de personal de intendencia del IMP, lo siguiente: el mobiliario modular (tramos de mampara, gavetas, portaplanos, restridores y lámparas principalmente), archiveros de 3 y 5 cajones, mesas de cómputo, portaplanos verticales y horizontales, cajas archiveras de cartón, así como todos aquellos objetos que ameritaban pesarse debido a sus características especiales.

Los resultados de pesos obtenidos para objetos contemplados en el catálogo no variaron mucho, sin embargo, se ajustaron para el estado de carga específico de cada piso. Para objetos no contemplados en el catálogo se obtuvieron sus pesos promedios. De estos podemos resaltar los planeros verticales (por su gran peso y dimensiones). Se decidió pesar únicamente uno. Su peso fue de alrededor de 300 kg. Esto no hizo práctico pesar otros.

Una vez hecho esto se adaptó la forma de registro para los pisos del SIPE del IMP. La división de las áreas se hizo aprovechando las divisiones que coinciden con ejes de columnas. De esta manera cada franja se dividió en dos áreas y cada una de estas en dos subáreas. El registro de estos pisos se facilitó gracias a la similitud de sus módulos.

La mayor parte del personal que labora en este edificio son hombres por lo que se consideró un peso promedio de 80 kg por persona. Esto se pudo observar debido a que en el momento de estar pesando el mobiliario la gente se acercaba y solicitaba que se le pesase. Se observó que tomar un valor de 80 kg por persona representaría adecuadamente el peso promedio.

La realización de la planta en AutoCad fue más sencilla dada la geometría regular del edificio.

III.2.5 Estimación de Cargas en el edificio SIPP del IMP

Este edificio está ubicado en las instalaciones del Instituto Mexicano del Petróleo. Presenta características similares al edificio SIPE de ese mismo Instituto.

Dentro de las características generales se puede mencionar que presenta una planta rectangular. Si se divide la planta en su longitud mayor considerando dos franjas extremas y una franja central, se tiene que en las franjas extremas existen cubículos divididos de pared a piso. En su gran mayoría son similares entre sí, exceptuando algunos que son de tamaño menor.

En el área restante que correspondería a la franja central se encuentran algunos cubículos, algunas zonas con mobiliario modular, zonas ocupadas por escritorios y algunos libreros de madera y metálicos y grandes cubos de luz que van desde la planta baja hasta el último nivel. Estas no se consideraron como áreas cargadas.

En este edificio los escritorios, los libreros metálicos, los planeros etc. presentaron cierta variedad, sin embargo, esta variedad no fue obstáculo para que el mobiliario se clasificase dentro de rangos más o menos bien definidos.

Se observó el estado de carga del mobiliario, se seleccionaron los muebles que fueran representativos del estado de carga observado y se pesaron con ayuda del personal de intendencia del IMP.

Se pesaron archiveros, escritorios, restridores, escritorios-restridor, libreros de madera y metálicos con vidrios entre otros, así como aquellos objetos que por sus características se consideraban especiales.

Existe una cantidad considerable de libreros de madera, en los cuales generalmente se guardan carpetas. Se vació uno de estos libreros y se obtuvo su peso vacío. Se pesó un gran número de carpetas escogidas de forma aleatoria. Estas, en general, presentaron un peso muy similar. Con esto se obtuvo un peso promedio para las carpetas del SIPPI en particular.

También se encontró un número no despreciable de libreros metálicos con vidrios y que en su gran mayoría se encontraban llenos. Se pesaron algunos. Estos no presentaron una gran discrepancia entre sus pesos. Posteriormente, dichos pesos se compararon con los del catálogo para condiciones similares de carga (llenos). Se observaron resultados muy similares, lo que confirmaba la confiabilidad de catálogo usado para el estudio.

En todos los casos, se tomó el peso promedio de objetos que se consideró más apegado a las condiciones reales.

La división de áreas para el sentido longitudinal del edificio se hizo considerando el espacio entre columna y columna. Para el sentido corto se dividió en cuatro áreas iguales. Con esta división la mayoría de los cubículos localizados en las franjas extremas (del sentido longitudinal) abarcaban exactamente un área básica, lo que facilitó el registro de cargas, sin embargo, en algunos casos los cubículos abarcaban parte de un área básica y parte de otra. Esto requirió de mayor cuidado para registrar cada parte de la carga en el área correspondiente y posteriormente complementar dichas áreas básicas que habían quedado incompletas (debido a que el cubículo sólo abarcaba parte de las áreas, sin que abarcara una completa). Una vez adoptada la división de áreas básicas se elaboró la forma de registro adecuada a las condiciones de carga y mobiliario del edificio.

Se procedió al registro de las cargas estimadas para cada área básica. Posteriormente se hizo el cálculo de las intensidades de carga.

Finalmente, se realizó el dibujo en AutoCad con las respectivas intensidades de carga. Dadas las características del edificio el dibujo se elaboro relativamente rapido

III.2.6 Estimación de Cargas en el edificio de ICA-Ingenieria

Edificio de planta baja y 10 niveles ubicado en Rio Hecerra No. 27, destinado a oficinas. Este presenta las siguientes características:

Plantas rectangulares con cubículos en su perimetro y mobiliario modular en el centro. Se encontro una uniformidad en el tipo de muebles. Todo el mobiliario es de madera: escritorios, archiveros, credenzas, libreros y mobiliario modular, excepto sillas y sillones.

La inspeccion inicial fue relativamente sencilla por la uniformidad del mobiliario. Se escogieron cuatro de las diez plantas (pisos 1, 3, 7 y 9) con que cuenta el edificio. La seleccion de la muestra de objetos por pesar no presento dificultad debido a la uniformidad de los objetos.

La division de areas fue un poco diferente a las que se habian realizado en los edificios antes muestreados (que coincidian con las divisiones fisicas de las oficinas). En este caso las divisiones que se encontraron se podian clasificar dentro de tres tipos: cubiculos grandes, cubiculos chicos y mobiliario modular. Sin embargo, dado que las dimensiones de los cubiculos no permitian que se pudieran tomar como un area con sus subareas debido a que se obtendrian superficies relativamente grandes para fines del tratamiento estadístico, se opto por tomar areas de dimensiones pequeñas de manera que en la mayoria de los casos esas pequeñas areas quedaran completamente dentro de los diferentes cubiculos. La division se realizo guiandose en los plafones del techo, utilizandolos como guias de referencia para la localización de las areas basicas.

En este caso, para la adecuacion del formato de registro referente a muebles de oficina se utilizaron los pesos medidos en el sitio. Esto, debido a que se trataba de un tipo de muebles que no se tenían considerados en el catalogo.

El registro de las cargas fue lento debido a la gran cantidad de areas que se tenían, así como la dificultad de localizarlas correctamente con base solo en los plafones de los techos. Por otro lado, algunas areas basicas quedaban parte en un cubiculo y parte fuera de este. Esto mismo sucedio con el mobiliario modular ya que las divisiones no coincidían con las areas basicas preseleccionadas. Esto implicó tiempo y cuidado para registrar correctamente las cargas estimadas.

Finalmente, se calcularon las intensidades de carga por unidad de area, y se dibujaron las plantas en AutoCad.

III.3 RESULTADOS DEL MUESTREO DE CARGAS VIVAS

A continuación se presentan las figuras que ilustran los resultados obtenidos, un croquis en planta señala la carga por unidad de área, acompañado de gráficas de barras tridimensionales que muestran claramente la distribución de las cargas vivas en los diferentes edificios muestreados

Las figuras corresponden a los siguientes edificios

- **Edificio 2 del Instituto de Ingeniería, UNAM:**

- III 3 1 A Instituto de Ingeniería, Coordinación de Mecánica Aplicada
- III 3 1 B Instituto de Ingeniería, Coordinación de Estructuras

- **Edificio SEP:**

- III 3 2 A Edificio SEP, DGIT, planta baja
- III 3 2 B Edificio SEP, DGIT, piso 1
- III 3 2 C Edificio SEP, DGETA, piso 2

- **Edificio SIPE, IMP:**

- III 3 3 A SIPE, planta baja
- III 3 3 B SIPE, piso 1
- III 3 3 C SIPE, piso 2

- **Edificio SIPPI, IMP:**

- III 3 4 A SIPPI, planta baja
- III 3 4 B SIPPI, piso 1
- III 3 4 C SIPPI, piso 2

- **Edificio ICA:**

- III 3 5 A ICA, piso 1
- III 3 5 B ICA, piso 3
- III 3 5 C ICA, piso 7
- III 3 5 D ICA, piso 9

III.4 ÁREA TOTAL MUESTREADA

En la Tabla III.2 se detalla el área muestreada para cada edificio así como el área total

Edificio	Área básica (m ²)	Área total (m ²)
Instituto de Ingeniería	1 00 x 1 00	464 00
SEP	3 65 x 3 65	6 711 80
SIPE, IMP	3 30 x 3 30	2 740 20
SIPPI, IMP	3 30 x 3 30	2 613 60
ICA	2 55 x 2 55	2 360 40
	Área Total Muestreada	14,890.00

Tabla III.2 Área muestreada

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

182	120	96	108	78	51	172	180	204	198	214	261	34	45	46	118	84	82	170	107	81	61	84	158	173	144	8	41	74	
171	142	114	74	40	50	204	170	180	107	183	260	52	73	71	167	117	80	125	41	40	77	113	117	111	116	29	40	66	
160	166	108	51	42	112	236	149	83	44	152	296	70	82	85	217	147	71	44	54	3	72	142	78	82	66	45	72	56	
127	72	10																											
61	73	15	147	176	133	49	74	52	51	43	54	51	39	26							31	70	71	35	51	26	45	71	65
54	35	17	249	294	261	72	54	114	122	85	66	92	72	51							22	46	54	90	51	53	130	130	130
78	41	20	157	220	297	236	141	143	102	66	64	101	60	11							40	44	121	80	73	66	105	127	126
83	64	53	136	311	266	290	223	151	122	102	102	112	64	16							54	42	130	60	78	70	123	120	117
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

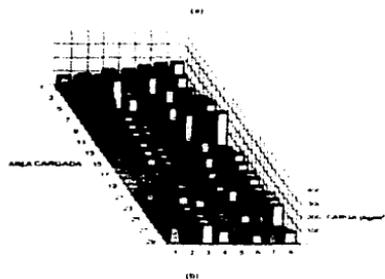


Figura III.3.1.B Planta correspondiente al INSTITUTO DE INGENIERIA, ESTRUCTURAS

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

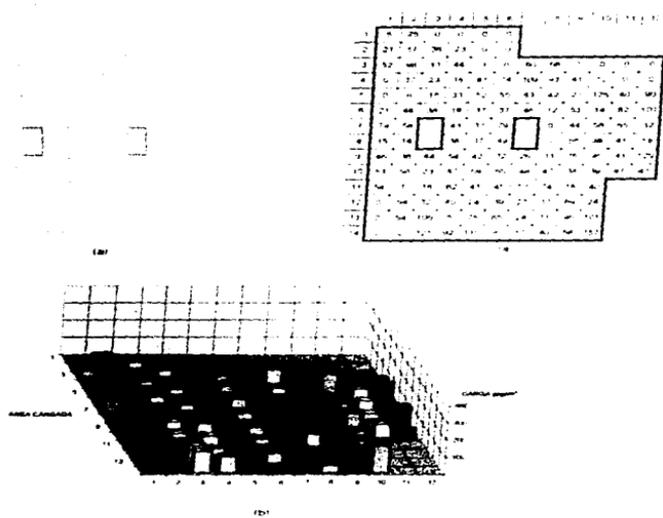


Figura III.3.2.A Planta correspondiente a SEP-DGIT, planta baja

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

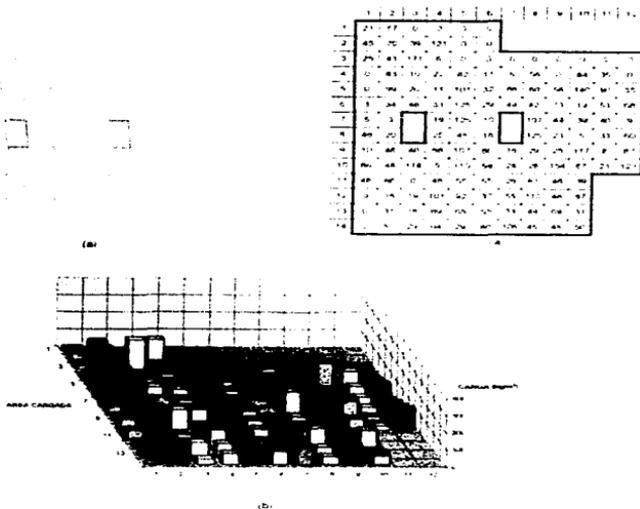


Figura III.3.2.B Planta correspondiente a SEP-DGIT, piso 1

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	81	142	56	24	0	0	0	0	0	0	0	0
3	21	63	17	6	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	80	68	0	19	33	54	0	0	0	0	0
5	0	39	128	24	53	75	8	56	11	66	5	0
6	0	0	51	84	67	78	53	82	56	28	37	0
7	0	0	0	0	0	24	53	78	68	58	17	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	42	103
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17	11	103
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

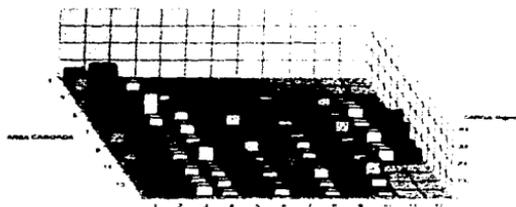
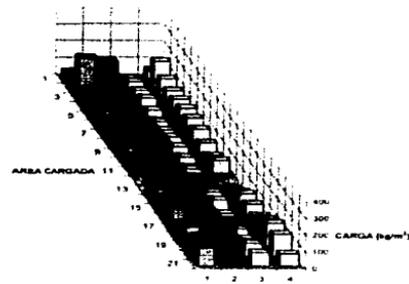


Figura III.3.2.C Planta correspondiente a SEP-DGETA, piso 2

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

(a)



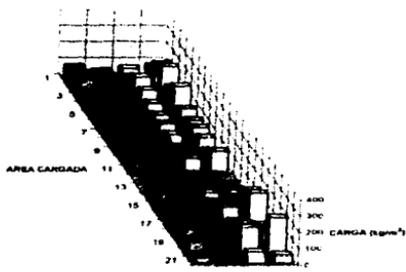
(b)

Figura III.3.3.A Planta correspondiente al IMP - SIPE, planta baja

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS



(a)



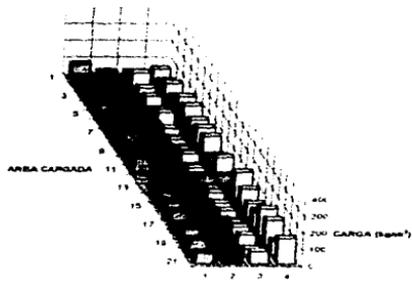
(b)

Figura III.3.3.B Planta correspondiente al IMP - SIPE, piso 1

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS



(a)



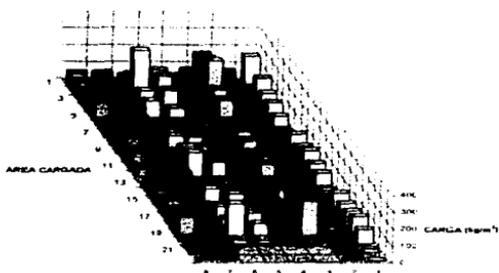
(b)

Figura III.3.3.C Planta correspondiente al IMP - SIPE, piso 2

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS



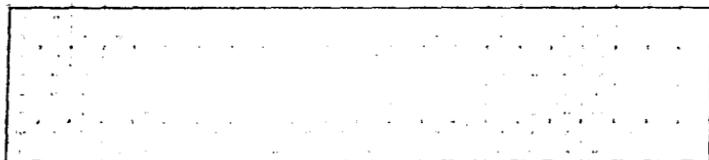
(a)



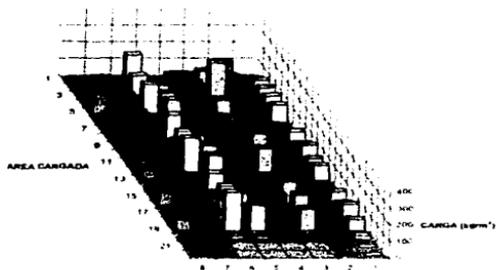
(b)

Figura III.3.4.A Planta correspondiente al IMP SIPPI, planta baja

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS



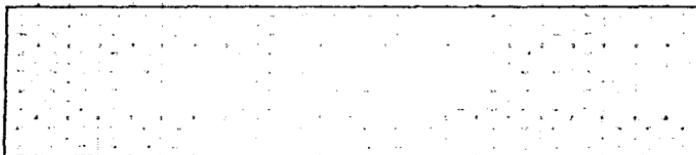
(a)



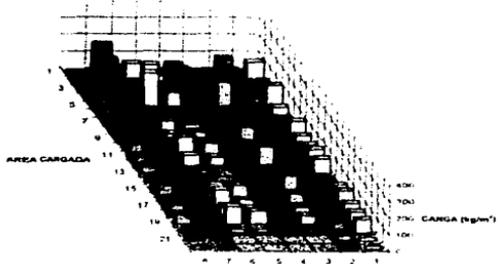
(b)

Figura III.3.4.B Planta correspondiente al IMP SIPPI, piso 1

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS



(a)



(b)

Figura III.3.4.C Planta correspondiente al IMP SIPPI, piso 2

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	67	59	48	64	91	56	66	36	62	67	59
2	129	32	64	79	42	103	47	58	156	104	64
3	62	62	36	129	92	14	67	116	40	56	70
4	100	74	93	27	97	54	117	56	103	45	72
5	118	147	26	154	64	52	114	124	67	75	102
6	135	46	141	112	58	26	101	110	91	62	42
7	63	106	64	124	174	61	121	64	112	34	119
8	116	123	71	105	275	114	116	114	117	66	66
9	101	161	46	116	132	114	269	156	43	14	67
10	148	17	60	123	276	113	119	157	99	79	133
11	123	124	58	15	46	27	101	91	103	43	124

(a)



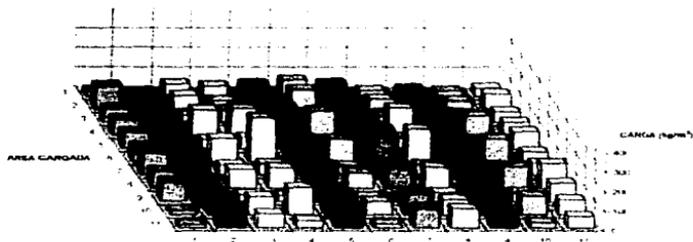
(b)

Figura III.3.5.A Planta correspondiente a ICA, piso 1

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	24	15	56	43	57	78	74	25	24	14	40
2	138	21	68	40	74	18	78	43	35	41	70
3	68	27	32	58	32	25	25	29	33	25	53
4	70	43	129	136	136	123	89	133	110	138	94
5	79	41	48	54	25	17	42	76	41	42	85
6	74	70	118	224	117	114	104	74	104	115	74
7	108	33	48	74	44	44	41	51	53	32	74
8	84	31	76	103	117	28	77	107	133	103	126
9	56	33	32	27	52	22	21	44	30	47	43
10	20	22	14	136	47	37	103	25	17	54	76
11	13	37	11	36	37	12	48	58	74	25	59

(a)



(b)

Figura III.3.5.B Planta correspondiente a ICA, piso 3

CARGAS VIVAS INSTANTANEAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	74	67	61	56	51	46	41	37	33	29	24
2	66	61	43	39	35	31	26	22	19	15	11
3	100	89	57	109	96	86	48	104	57	17	83
4	112	96	105	82	142	54	291	65	183	151	42
5	107	96	103	162	110	40	45	103	123	61	104
6	95	54	108	117	54	52	41	176	101	63	78
7	130	43	111	149	10	73	97	123	58	58	101
8	101	42	112	56	181	75	89	49	61	61	77
9	107	42	97	141	71	57	109	172	110	17	91
10	115	71	97	130	195	45	58	78	71	11	104
11	99	29	219	62	65	19	67	44	45	115	22

(a)



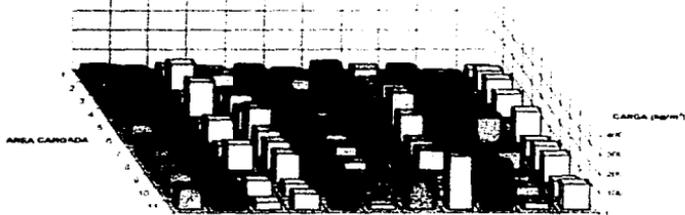
(b)

Figura III.3.5.C Planta correspondiente a ICA, piso 7

CARGAS VIVAS INSTANTÁNEAS

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	44	34	52	37	44	29	62	47	69	19	40
2	107	76	127	86	40	55	54	40	37	15	122
3	45	46	41	62	49	114	47	141	12	20	128
4	81	33	101	117	144	35	142	121	125	29	117
5	103	30	95	109	89	11	59	105	142	45	111
6	104	42	121	176	230	10	231	159	174	112	143
7	86	59	55	134	43	15	291	82	99	11	81
8	103	54	137	143	52	41	74	79	43	96	122
9	104	40	79	154	26	63	17	14	44	17	143
10	121	40	89	62	19	49	10	34	21	47	11
11	109	67	91	80	143	23	154	124	229	15	128

(a)



(b)

Figura III.3.5.D Planta correspondiente a ICA, piso 9

IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS

IV.1 METODOLOGÍA.

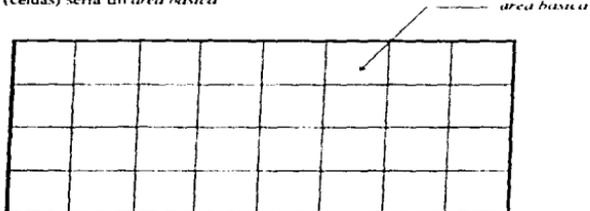
Con los pesos obtenidos para cada área en que se dividieron las diferentes plantas de los edificios evaluados, y dividiendo esos pesos entre su área actuante, para tener su carga en kg/m^2 , se procedió al análisis estadístico de los datos, que consiste en obtener la media (μ), la desviación estándar (σ), la varianza (σ^2), el coeficiente de variación (C.V.) y el coeficiente de asimetría (γ) para diferentes conjuntos de áreas básicas, con los datos de varianza se ajusta una recta en función del inverso del área, se grafica el coeficiente de variación en función del área y se ajusta una curva de tipo logarítmico. Adicionalmente se obtienen histogramas de cargas para cada uno de los edificios, a los que se les ajusta una función de distribución de probabilidades tipo Gamma. Esta metodología se detalla en las siguientes secciones.

IV.1.1 Obtención de los parámetros básicos

En esta sección se describe la obtención de μ , σ , σ^2 , C.V. y γ .

1 - Se tomó como *área básica* cada una de las celdas en que se dividió la planta al momento de hacer el levantamiento, en todos los casos fueron menores que 20 m^2 .

Por ejemplo, si el siguiente croquis fuera la planta de un edificio, cada uno de los cuadros pequeños (celdas) sería un *área básica*.



- 2.- Con los valores de carga actuantes (kg/m^2) en estas *áreas básicas* y mediante las ecuaciones descritas en la sección 1.2 se obtiene la media, la varianza, la desviación estándar, el coeficiente de variación y el coeficiente de asimetría.

Por ejemplo, si de la planta anterior tuvieramos los siguientes datos de carga (kg/m^2) en cada una de las celdas de las *áreas básicas*:

25	37	48	89	45	65	20	19
34	27	76	35	18	30	8	55
77	49	82	17	33	30	29	44
12	19	77	23	46	55	12	86

Tomando celdas iguales a un *área básica* tendríamos

$$n = 32$$

$$n-1 = 32-1 = 31$$

$$\Sigma x_i = 25+37+48+89+45+65+20+19+34+27+76+35+18+30+8+55+77+49+82+17+33+30+29+44+12+19+77+23+46+55+12+86$$

$$\Sigma x_i = 1322$$

$$\text{Media muestral } (\mu) = 1322/32 = 41,3125 \text{ kg/m}^2$$

$$\Sigma(x_i - \mu)^2 = (25-41,3125)^2 + (37-41,3125)^2 + (48-41,3125)^2 + (89-41,3125)^2 + (45-41,3125)^2 + (65-41,3125)^2 + (20-41,3125)^2 + (19-41,3125)^2 + (34-41,3125)^2 + (27-41,3125)^2 + (76-41,3125)^2 + (35-41,3125)^2 + (18-41,3125)^2 + (30-41,3125)^2 + (8-41,3125)^2 + (55-41,3125)^2 + (77-41,3125)^2 + (49-41,3125)^2 + (82-41,3125)^2 + (17-41,3125)^2 + (33-41,3125)^2 + (30-41,3125)^2 + (29-41,3125)^2 + (44-41,3125)^2 + (12-41,3125)^2 + (19-41,3125)^2 + (77-41,3125)^2 + (23-41,3125)^2 + (46-41,3125)^2 + (55-41,3125)^2 + (12-41,3125)^2 + (86-41,3125)^2$$

$$\Sigma(x_i - \mu)^2 = 17,566.875$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 17,566,875/31 = 566,67338 \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$$

$$\text{Desviación Estándar } (\sigma) = \sqrt{566,67338} = 23,8049 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{Coeficiente de Variación (C.V)} = 23,8049/41,3125 = 0,5762 = 57,62 \%$$

$$\text{Coeficiente de Asimetría } (\gamma) = 0,640947$$

- 3 -De igual manera se continúa con el procedimiento, ahora tomando conjuntos de áreas de dos, cuatro, ocho y dieciséis *áreas básicas*, de cada uno de esos conjuntos se obtienen sus correspondientes valores de media, varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría

El que se tomen dos, tres, cuatro, ocho, nueve etc conjuntos de áreas básicas dependerá del número total de estas que tenga la planta en estudio. Esto es, que dichos números tendrán que ser múltiplos del número total de áreas básicas

Es por eso, que para este caso se han elegido conjuntos de 2, 4, 8 y 16 los cuales son múltiplos de 32 que es el número total de áreas básicas

Para nuestro ejemplo, ahora tomando celdas de dos áreas básicas

25	37	48	89	45	65	20	19
34	27	76	35	18	30	8	55
77	49	82	17	33	10	29	44
12	19	77	23	46	55	12	86

tendremos

$$n = 16$$

$$n-1 = 16-1 = 15$$

$$\begin{aligned} \Sigma x_i = & [(25+34)/2] + [(37+27)/2] + [(48+76)/2] + [(89+35)/2] + [(45+18)/2] + [(65+30)/2] + [(20+8)/2] \\ & + [(19+55)/2] + [(77+12)/2] + [(49+19)/2] + [(82+77)/2] + [(17+23)/2] + [(33+46)/2] + [(10+55)/2] \\ & + [(29+12)/2] + [(44+86)/2] \end{aligned}$$

$$\Sigma x_i = 661$$

El valor de la media, que debe ser igual que la que se obtuvo con celdas de un *área básica*, será de

$$\text{Media muestral } (\mu) = 661 / 16 = 41.3125 \text{ kg/m}^2$$

Notese que la suma de dos *áreas básicas* se dividió entre 2 debido a que al sumarlas se estaba considerando el área doble, o sea, si tenemos una carga de 25 kg/m² en un *área básica*, y le sumamos 34 kg/m² de otra *área básica*, tendremos 25+34 = 79 kg actuando en 2m², de ahí que se divida entre 2, para finalmente tener 79/2 = 39.5 kg/m². De manera análoga, para tres *áreas básicas* se dividirá entre 3, para cuatro *áreas básicas* se dividirá entre 4, etc

$$\begin{aligned} \Sigma(x_i - \mu)^2 = & (29.5 - 41.3125)^2 + (32 - 41.3125)^2 + (62 - 41.3125)^2 + (62 - 41.3125)^2 + (31.5 - 41.3125)^2 + (47.5 - \\ & 41.3125)^2 + (14 - 41.3125)^2 + (37 - 41.3125)^2 + (44.5 - 41.3125)^2 + (34 - 41.3125)^2 + (79.5 - \\ & 41.3125)^2 + (20 - 41.3125)^2 + (39.5 - 41.3125)^2 + (42.5 - 41.3125)^2 + (20.5 - 41.3125)^2 + (65 - \\ & 41.3125)^2 \end{aligned}$$

$$\Sigma(x_i - \mu)^2 = 4956.4375$$

Mediante las ecuaciones correspondientes, (ver sección 1.2) se obtiene

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 4956.4375 / 15 = 330.4291 \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$$

$$\text{Desviación Estándar } (\sigma) = \sqrt{330.4291} = 18.1777 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

$$\text{Coeficiente de Variación (CV)} = 18.1777 / 41.3125 = 0.44000 = 44.00 \%$$

$$\text{Coeficiente de Asimetría } (\gamma) = 0.55825235$$

Ahora, tomando celdas de 4 *áreas básicas*

25	37	48	89	45	65	20	19
34	27	76	35	18	30	8	55
77	49	82	17	33	10	29	44
12	19	77	23	46	55	12	86

tendremos

$$n = 8$$

$$n-1 = 8-1 = 7$$

$$\Sigma x_i = [(25+34+37+27)/4] + [(48+76+89+35)/4] + [(45+18+65+30)/4] + [(20+8+19+55)/4] + [(77+12+49+19)/4] + [(82+77+17+23)/4] + [(33+46+39+55)/4] + [(29+12+44+86)/4]$$

$$\Sigma x_i = 330.5$$

$$\text{Media muestral } (\mu) = 330.5 / 8 = 41.3125 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Varianza } (\sigma^2) = 870.4682/7 = 124.3526 \text{ (kg/m}^3\text{)}^2$$

$$\text{Desviación Estándar } (\sigma) = \sqrt{124.3526} = 11.15135 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

$$\text{Coeficiente de Variación (CV)} = 11.1513/41.3125 = 0.26992 = 26.99 \%$$

$$\text{Coeficiente de Asimetría } (\gamma) = 0.59208339$$

Ahora, tomando celdas de 8 áreas básicas

25	37	48	89	45	65	20	19
34	27	76	35	18	30	8	55
77	49	82	17	33	30	29	44
12	19	77	23	46	55	12	86

tendremos

$$n = 4$$

$$n-1 = 4-1 = 3$$

$$\Sigma x_i = [(25+34+77+12+37+27+49+19) / 8] + [(48+76+82+77+89+35+17+23) / 8] + [(45+18+33+46+65+30+30+55) / 8] + [(20+8+29+12+19+55+44+86) / 8]$$

$$\Sigma x_i = 165.25$$

Media muestral (μ) = $165.25 / 4 = 41.3125 \text{ kg/m}^2$

Varianza (σ^2) = $304.7031/3 = 101.567708 \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$

Desviación Estándar (σ) = $\sqrt{101.567708} = 10.07808 \text{ (kg/m}^2\text{)}$

Coefficiente de Variación (CV) = $10.07808/41.3125 = 0.24394 = 24.39 \%$

Coefficiente de Asimetría (γ) = 1.60489364

Ahora, tomando celdas de 16 áreas básicas

25	37	48	89	45	65	20	19
34	27	76	35	18	30	8	55
77	49	82	17	33	30	29	44
12	19	77	23	46	55	12	86

tendremos

$n = 2$

$n-1 = 2-1 = 1$

$\sum x_i = [(25+34+77+12+37+27+49+19+48+76+82+77+89+35+17+23) / 16] + [(45+18+33+46+65+30+30+55+20+8+29+12+19+55+44+86) / 16]$

$\sum x_i = 82.625$

Media muestral (μ) = $82.625 / 2 = 41.3125 \text{ kg/m}^2$

Varianza (σ^2) = $34.03125/1 = 34.03125 \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$

Desviación Estándar (σ) = $\sqrt{34.03125} = 5.83363094 \text{ (kg/m}^2\text{)}$

Coefficiente de Variación (CV) = $5.83363/41.3125 = 0.14120 = 14.12\%$

Coefficiente de Asimetría (γ) = indefinido

- 4 -Ya contando con todo ese conjunto de datos de una determinada área y sus correspondientes valores de media (los cuales no varían al ir tomando diferentes áreas), varianza, desviación estándar, coeficiente de variación y coeficiente de asimetría, se procede a realizar las gráficas correspondientes. Esto se describe en la siguiente sección. Los resultados obtenidos para el caso de nuestro ejemplo, se sintetizan en la Tabla IV.1

No. de áreas	32	16	8	4	2
Área (m ²)	1.0000	2.0000	4.0000	8.0000	16.0000
1/A (1/m ²)	1.0000	0.5000	0.2500	0.1250	0.0625
Media (kg/m ²)	41.3125	41.3125	41.3125	41.3125	41.3125
Varianza (kg/m ²)	566.6713	110.4291	124.3526	101.8677	34.0312
Dev. Std. (kg/m ²)	23.8049	10.5087	11.1513	10.0930	5.8336
Coef. de Variación	0.5762	0.2560	0.2699	0.2439	0.1412
Coef. de Asimetría	0.6409	0.5582	0.5926	1.0048	***

Tabla IV.1

IV.1.2 Ajuste de Resultados

Con los valores de la Tabla IV.1 se puede elaborar una figura como la que se muestra en la Fig. IV.1. Esta presenta el valor de la varianza en el eje de las ordenadas contra el valor del inverso del área en el eje de las abscisas. La serie de puntos dispersos en la gráfica corresponden a los datos obtenidos, mismos que se ajustan, mediante regresión lineal, como sigue

$$\text{Varianza} = m \left(\frac{1}{A} \right) + b$$

donde

- m es la pendiente de la recta
- 1/A es el inverso del área
- b es el valor de la ordenada al origen

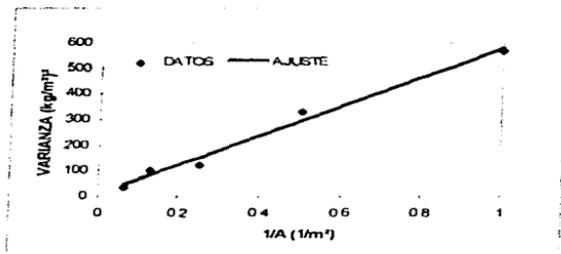


Figura IV.1

Otro tipo de gráfica que se puede elaborar es como la de la Fig. IV.2. En esta se muestra el coeficiente de variación en el eje de las ordenadas contra el valor del área tributaria en (m²) en el eje de las abscisas. En esta gráfica los puntos dispersos corresponden a los datos mostrados en la Tabla IV.1, a los cuales se les puede ajustar una curva, en este caso de tipo logarítmica.

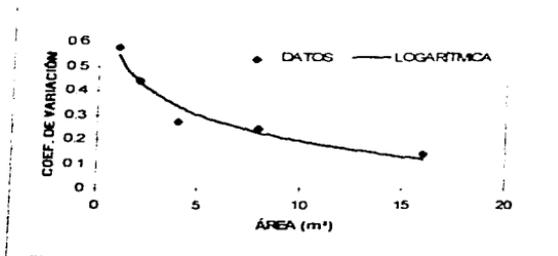


Figura IV.2

Estos ajustes y los que posteriormente se presentan se realizaron mediante la hoja de cálculo Microsoft Excel ver 5.0.

Por otro lado, con los valores de cargas actuantes estimados para los distintos edificios es posible realizar un *histograma de cargas* como el de la Fig. IV.3, asociado a cierta área. Para hacer esto, se toman todos los datos de carga de las *arcas básicas* agrupados en rangos de carga y sacando la frecuencia de los mismos. A dicho *histograma de cargas* se puede ajustar una función de distribución de probabilidades tipo Gamma, que es la que supone el modelo de simulación. Esta función se ajusta siguiendo las expresiones de la sección I.3.4.

En este ejemplo los datos fueron inventados por lo que la forma del histograma no corresponde a una función de distribución tipo Gamma, razón por la cual que no se ajustó dicha curva. Sin embargo para los datos obtenidos del muestreo se realizaron los ajustes correspondientes que se presentan posteriormente.

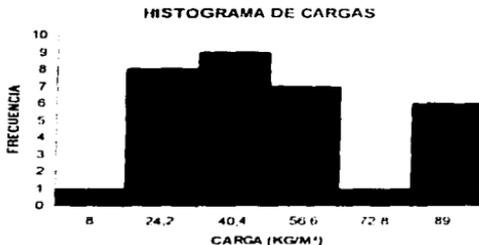


Figura IV.3

Para el caso de nuestro ejemplo, con los resultados hasta aquí obtenidos es posible alimentar el modelo de simulación de Monte Carlo y obtener valores medios de cargas sostenidas, extraordinarias y totales. Esto se muestra en el Apéndice 3.

IV.2 RESULTADOS DEL ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La metodología descrita en la sección IV.1 se siguió para cada uno de los edificios muestreados obteniéndose los siguientes resultados

IV.2.1 Resultados del análisis de cada uno de los edificios

La incertidumbre de la carga viva sostenida en función del área de piso se muestra en las figuras IV.4.A a IV.4.E. En estas se presentan gráficas de coeficiente de variación (σ/μ) contra el área (figs. a) y varianzas (σ^2) contra inverso del área (figs. b) para cada uno de los cinco edificios analizados.

En estas figuras se puede apreciar como el coeficiente de variación disminuye conforme el área aumenta y también como la varianzas aumenta conforme el área disminuye.

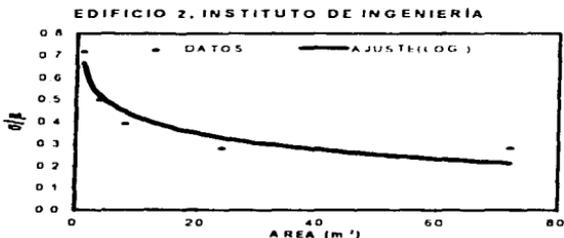


Fig. IV.4.A.1 Coeficiente de variación en función del área

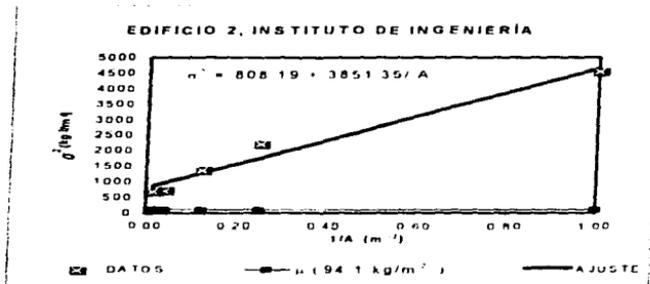


Fig. IV.4.A.2 Varianza en función del área

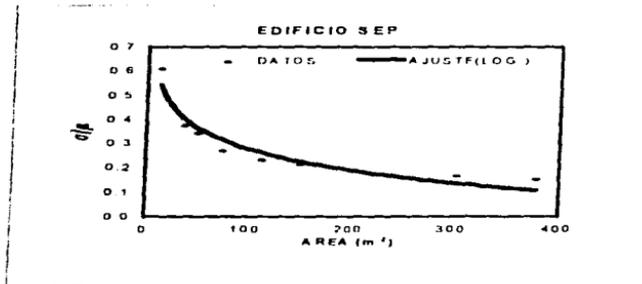


Fig. IV.4.B.1 Coeficiente de variación en función del área

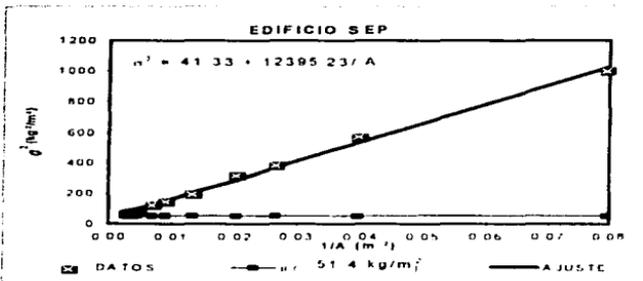


Fig. IV.4.B.2 Varianza en función del área

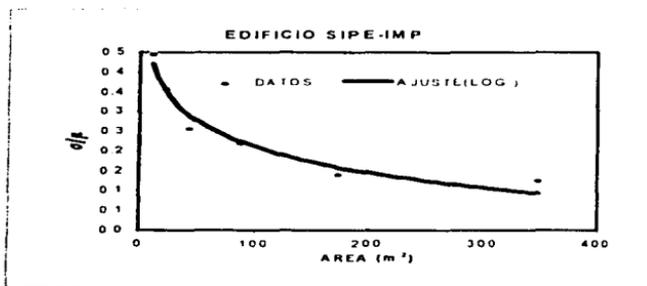
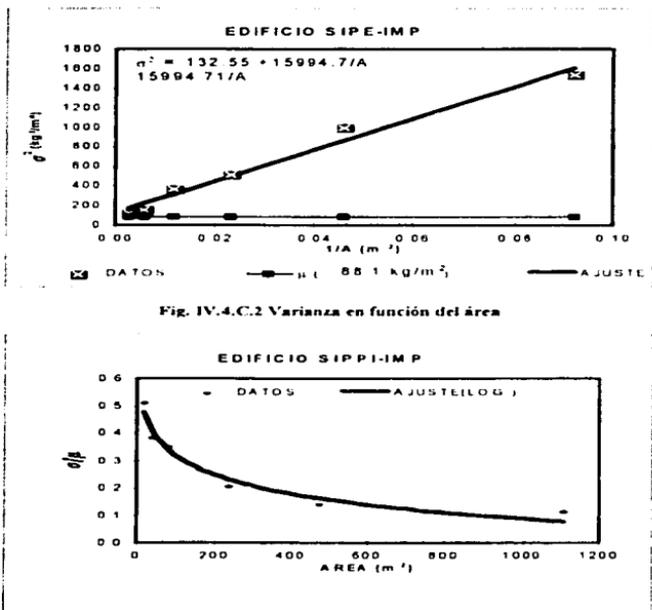


Fig. IV.4.C.1 Coeficiente de variación en función del área



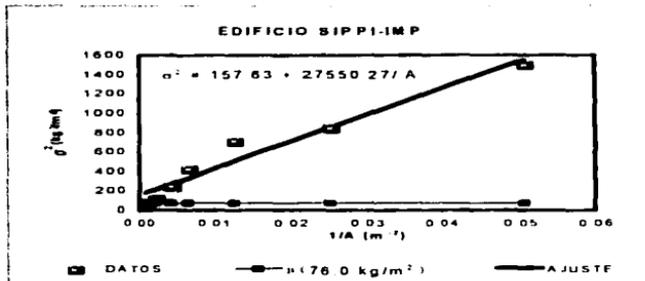


Fig. IV.4.D.2 Varianza en función del área

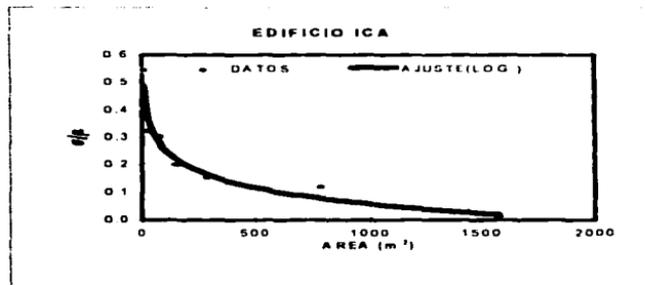


Fig. IV.4.E.1 Coeficiente de variación en función del área

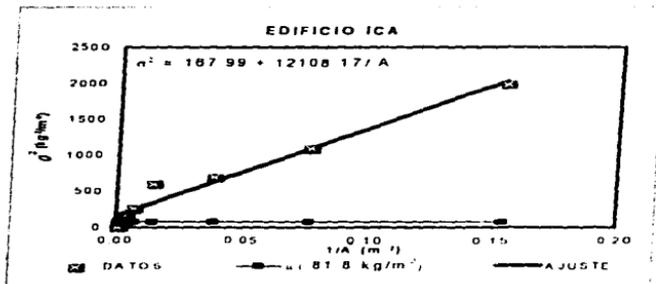


Fig. IV.4.E.2 Varianza en función del área

IV.2.2 Resultado de los cinco edificios

Una vez realizado un análisis independiente para cada uno de los edificios muestreados es necesario realizar un análisis que considere a todos los edificios. Esto se consigue realizando los ajustes (a una curva logarítmica para el caso de coeficiente de variación y a una recta para el caso de la varianza) considerando todos los puntos de todos los edificios. El resultado de lo anterior se muestra en la fig. IV.5

Fig. IV.5 Incertidumbre de las cargas en función del área, resultado de los cinco edificios analizados

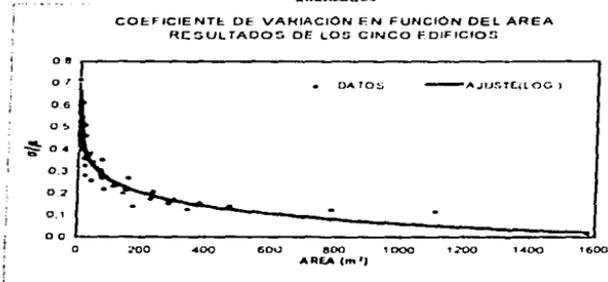


Fig. IV.5.A Coeficiente de variación en función del área

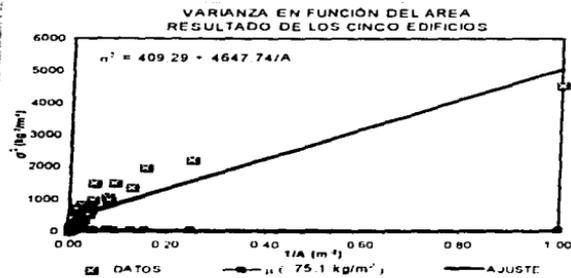


Fig. IV.5.B Varianza en función del área

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

IV.2.3 Histogramas de cargas sostenidas y funciones de distribución de probabilidades Gamma ajustadas

El modelo de simulación de Montecarlo supone que la magnitud de las cargas sostenidas sigue una función de distribución de probabilidades tipo Gamma. Dado que en este trabajo se emplea posteriormente dicho modelo es importante corroborar en lo posible las hipótesis que lo sustentan.

Debido a que se tiene información de las cargas sostenidas derivada del muestreo es posible realizar histogramas de las cargas sostenidas y ajustar una función de distribución Gamma. Esto se aprecia en la fig. IV.6.

Como se puede apreciar en la fig. IV.6 la función de distribución Gamma tiene un comportamiento aceptable por lo que se puede afirmar que la función de distribución de probabilidades Gamma reproduce adecuadamente la magnitud de las cargas sostenidas y por lo tanto esta forma se empleara en el modelo de simulación de Montecarlo.

Fig. IV.6 Histogramas de cargas vivas sostenidas y funciones de distribución de probabilidad Gamma ajustadas



Fig. IV.6.A Edificio 2 del Instituto de Ingeniería, UNAM

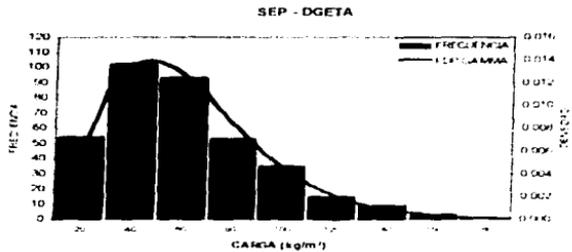


Fig. IV.6.B Edificio SEP

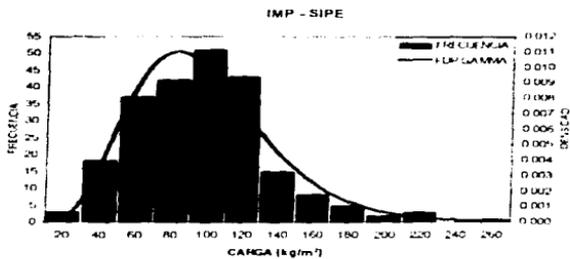


Fig. IV.6.C Edificio SIPE, IMP

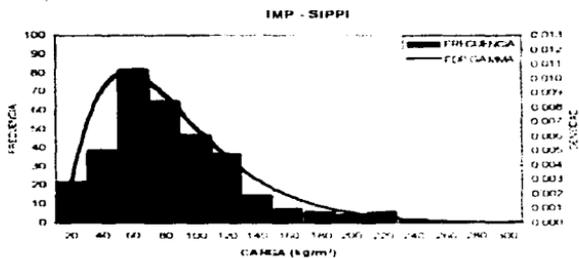


Fig. IV.6.D Edificio SIPP-IMP

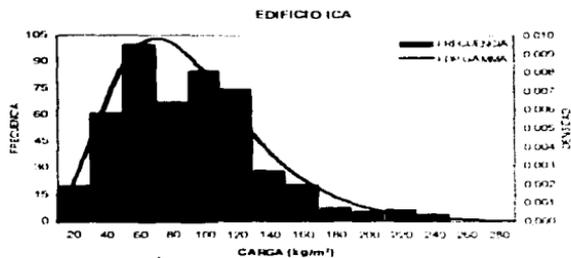


Fig. IV.6.E Edificio ICA-Ingenieria

V. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA DE CARGAS NOMINALES

V.1 VALORES DE CARGA VIVA QUE RECOMIENDA EL RCDF-93

V.1.1 Tipos de acciones

El reglamento de construcciones para el Distrito Federal considera tres categorías de acciones de acuerdo con la duración en que actúan sobre las estructuras con su intensidad máxima

- I. **Acciones permanentes:** son las que obran en forma continua sobre la estructura y cuya intensidad varía poco con el tiempo. Las principales acciones que pertenecen a esta categoría son la carga muerta, el empuje estático de tierras y de líquidos y las deformaciones y desplazamientos impuestos a la estructura que varían poco con el tiempo como los debidos a presfuerzos o a movimientos diferenciales permanentes de los apoyos.
- II. **Acciones variables:** son las que obran sobre la estructura con una intensidad que varía significativamente con el tiempo. Las principales acciones que entran en esta categoría son la carga viva, los efectos de temperatura, las deformaciones impuestas y los hundimientos diferenciales que tengan una intensidad variable con el tiempo, y las acciones debidas al funcionamiento de maquinaria y equipo, incluyendo los efectos dinámicos que pueden presentarse debido a vibraciones, impacto o frenaje.
- III. **Acciones accidentales:** son las que no se deben al funcionamiento normal de la edificación y que pueden alcanzar intensidades muy grandes durante lapsos cortos de tiempo. Pertenecen a esta categoría las acciones sísmicas, los efectos de viento, explosiones, incendios y otros fenómenos que pueden presentarse en casos extraordinarios.

V.1.2 Valores nominales de carga viva

El RCDF-93 define a las cargas vivas como las fuerzas que se producen por el uso y ocupación de las edificaciones y que no tienen un carácter permanente, recomienda valores de cargas vivas para diferentes usos de estructuras, para cada uso recomienda tres valores de carga viva W , W_1 y W_n , que a continuación se describen

- W** es la **carga viva media** que se debe emplear para el cálculo de asentamientos diferidos y para el cálculo de flechas diferidas
- W_i** es la **carga viva instantánea** que corresponde al valor máximo probable que puede alcanzar la carga viva en el lapso en que pueda presentarse una acción accidental. Esta se deberá usar para diseño sísmico y por viento y cuando se revisen distribuciones de carga más desfavorables que la uniformemente repartida sobre toda el área
- W_m** es la **carga viva máxima** que corresponde al valor máximo probable que se puede presentar durante la vida útil de la estructura. Se debe emplear para diseño estructural por fuerzas gravitacionales y para calcular asentamientos inmediatos en suelos, así como en el diseño estructural de los cimientos ante cargas gravitacionales

Además, especifica que cuando el efecto de la carga viva sea favorable para la estabilidad de la estructura su intensidad se considerará igual a cero, a menos que pueda justificarse otro valor acorde con la definición del artículo 187 del RCDF-93. Durante el proceso de edificación deberán considerarse las cargas vivas transitorias que puedan producirse, estas incluirán el peso de los materiales que se almacenan temporalmente, el de vehículos y equipos, el de colado de plantas superiores que se apoyen en la planta que se analiza y del personal necesario, no siendo este último peso menor de 150 kg/m². Se considerará además, una concentración de 150 kg en el lugar más desfavorable

Para el caso de oficinas los valores nominales de la carga viva son los siguientes

$$\begin{aligned} W &= 100 \text{ kg/m}^2 \\ W_i &= 180 \text{ kg/m}^2 \\ W_m &= 250 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Para elementos con **área tributaria mayor de 36 m²**, W_m podrá reducirse de acuerdo con la siguiente expresión

$$W_m = 180 + \frac{420}{\sqrt{A_t}}$$

Ec. V.1

donde

A_t es el área tributaria (m²)

En el artículo 109 del RCDF-93 se muestran los valores de cargas nominales para diferentes usos de estructuras

En este estudio se analiza únicamente la máxima carga viva probable durante la vida útil de estructuras destinadas a oficinas (W_m)

V.2 VALORES DE CARGA VIVA QUE RECOMIENDA EL ANSI A.58.1-1994

El ANSI recomienda como carga equivalente a W_m del RCDF-93, una carga L_m que para el caso de estructuras destinadas a oficinas es

$$L_m = 50 \text{ psf} \approx 245 \text{ kg/m}^2$$

El ANSI A.58.1-1994 permite una reducción de la carga viva que está en función del área de influencia a diferencia del RCDF-93 en el que la reducción está en función del área tributaria (ver fig. V.1)

El área de influencia (A_i) es cuatro veces el área tributaria (A_t) para una columna, en el caso de vigas esta relación depende del tipo de estructuración. En este caso se considerará un caso particular en el que el área de influencia es dos veces el área tributaria, esto se aprecia en la fig. V.1b

La reducción que permite el ANSI es la siguiente

$$L = L_m \left(0.25 + \frac{1.5}{\sqrt{A_i}} \right) \text{ psf}$$

Ec. V.2

donde:

- L carga viva reducida (psf)
- L_m carga viva especificada sin reducción (psf)
- A_i área de influencia (ft^2)

Fig. V.1 Area tributaria y de influencia

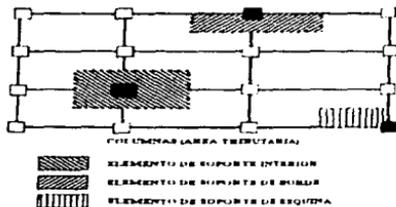


Fig. V.1a Area tributaria en columnas

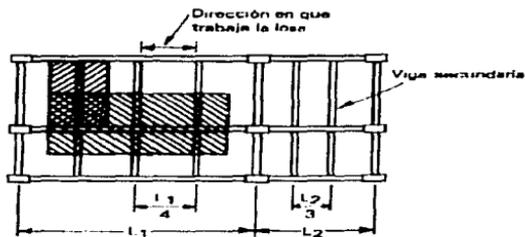


Fig. V.1b Area tributaria en vigas

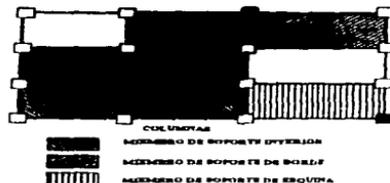


Fig V 1c Área de influencia en columnas



Fig V 1d Área de influencia en vigas

V.3 COMPARACIÓN DE LAS REDUCCIONES PERMITIDAS POR EL RCDF-93 Y EL ANSI A.58,1-1994.

En la figura V 2 se muestran gráficamente las ecuaciones V 1 y V 2 en función del área de tributaria (la equivalencia del área de influencia a tributaria se realizó de acuerdo a lo descrito en la sección anterior). En dicha figura se aprecia una diferencia importante entre los valores de carga viva que proponen uno y otro reglamento, también se puede observar que el ANSI permite reducción de los valores de la carga L_0 para valores del área tributaria menores que 16 m^2 .

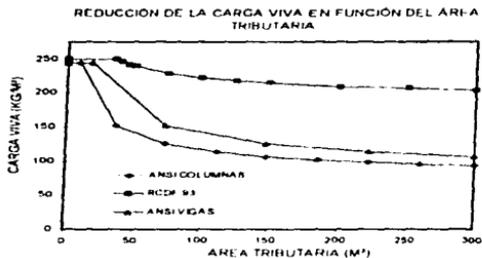


Fig. V.2

V.4 DATOS DE ENTRADA Y RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

El modelo de simulación se alimenta de acuerdo con lo descrito en la sección II 6 con los datos obtenidos en el capítulo IV. Los datos con los que se alimentó el modelo de simulación son los siguientes:

La simulación se realiza para los siguientes valores de área de influencia:

18.5, 37.2, 74.4, 111.5, 148.7, 185.9, 223.1 y 260.3 m² que corresponden a 200, 400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400 y 2800 ft², respectivamente. Estos valores de área de influencia se utilizan para determinar la **media** y la **varianza de las cargas sostenidas** de acuerdo con las ecuaciones II 3 y II 4. Estas ecuaciones son las siguientes:

Edificio 2 del Instituto de Ingeniería:

$$\mu = 941 \text{ kg/m}^2 \quad \sigma^2 = 80819 + \frac{2.2(385135)}{A_i} \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$$

Edificio de la SFP

$$\mu = 514 \quad , \quad \sigma^2 = 4133 + \frac{2.2(12395.23)}{A_i}$$

Edificio SIPE del IMP

$$\mu = 881 \quad , \quad \sigma^2 = 13255 + \frac{2.2(15994.71)}{A_i}$$

Edificio SIPP1 del IMP

$$\mu = 760 \quad , \quad \sigma^2 = 15783 + \frac{2.2(27550.27)}{A_i}$$

Edificio de ICA

$$\mu = 818 \quad , \quad \sigma^2 = 16799 + \frac{2.2(12108.17)}{A_i}$$

Del análisis estadístico de los cinco edificios en conjunto se obtuvo lo siguiente

$$\mu = 751 \text{ kg/m}^2 \quad , \quad \sigma^2 = 40929 + \frac{2.2(4647.74)}{A_i} \text{ (kg/m}^2\text{)}^2$$

donde

- μ es la media de las cargas sostenidas (kg/m²)
- σ^2 es la varianza de las cargas sostenidas (kg/m²)²
- A_i es el área de influencia

La media y varianza de un evento simple extraordinario se obtiene con las ecuaciones II 5 a II 7 considerando los valores de m_w , σ_w , m_R y σ_R descritos en la sección II 3 para cada uno de los valores de área de influencia mencionados anteriormente así como para cada uno de los cinco edificios y para los cinco edificios juntos

En las tablas V 1 a V 6 se muestran los datos de entrada y los resultados de la simulación para cada uno de los edificios y para el caso que se consideran los cinco edificios en conjunto

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A _i (m ²)	μ _i (kg/m ³)	σ _i (kg/m ³)	μ _{ac} (kg/m ³)	σ _{ac} (kg/m ³)	E _{ac} (kg/m ²)	Var _{ac} (kg/m ²) ²	E _c (kg/m ²)	Var _c (kg/m ²) ²	E _{ac-c} (kg/m ²)	Var _{ac-c} (kg/m ²) ²
18 58	94.08	15.57	39.14	39.82	154.17	2058.42	121.80	1604.09	275.98	2131.21
37.16	94.08	12.20	45.67	30.41	125.37	1224.91	123.76	1243.91	249.13	1367.18
74.32	94.08	30.38	37.05	19.37	82.12	563.08	128.16	991.86	210.27	895.76
111.48	94.08	29.75	31.44	14.57	63.37	355.39	129.91	842.73	193.27	723.68
148.64	94.08	29.43	27.73	11.85	52.65	263.54	130.88	775.90	183.53	722.94
185.81	94.08	29.23	25.06	10.08	45.76	206.26	131.50	741.01	177.26	692.96
222.97	94.08	29.10	23.04	8.82	40.75	154.52	131.77	715.81	172.51	674.44
260.13	94.08	29.01	21.44	7.87	37.05	129.47	131.82	702.51	168.88	662.21

Tabla V.1 Instituto de Ingeniería

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A _i (m ²)	μ _i (kg/m ³)	σ _i (kg/m ³)	μ _{ac} (kg/m ³)	σ _{ac} (kg/m ³)	E _{ac} (kg/m ²)	Var _{ac} (kg/m ²) ²	E _c (kg/m ²)	Var _c (kg/m ²) ²	E _{ac-c} (kg/m ²)	Var _{ac-c} (kg/m ²) ²
18 58	51.41	38.86	39.14	39.82	149.68	2340.86	86.23	2845.45	235.91	2805.48
37.16	51.41	27.85	45.67	30.41	126.29	1223.77	75.50	1163.66	202.29	1245.36
74.32	51.41	20.21	37.05	19.37	87.79	504.60	69.91	514.51	157.69	561.49
111.48	51.41	16.92	31.44	14.57	69.38	364.03	67.16	534.66	136.55	358.90
148.64	51.41	15.00	27.73	11.85	58.01	276.19	66.18	239.73	124.19	269.52
185.81	51.41	13.72	25.06	10.08	50.51	182.90	65.17	194.01	115.62	211.03
222.97	51.41	12.80	23.04	8.82	45.17	144.24	64.45	163.03	109.62	174.70
260.13	51.41	12.10	21.44	7.87	40.91	122.56	64.15	147.88	105.06	151.68

Tabla V.2 Edificio SEP

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A _i (m ²)	μ _i (kg/m ³)	σ _i (kg/m ³)	μ _{ac} (kg/m ³)	σ _{ac} (kg/m ³)	E _{ac} (kg/m ²)	Var _{ac} (kg/m ²) ²	E _c (kg/m ²)	Var _c (kg/m ²) ²	E _{ac-c} (kg/m ²)	Var _{ac-c} (kg/m ²) ²
18 58	88.07	45.03	39.14	39.82	145.41	2546.26	131.77	2917.98	277.18	2275.71
37.16	88.07	32.87	45.67	30.41	124.97	1263.00	118.73	1327.78	243.70	1423.31
74.32	88.07	24.62	37.05	19.37	84.99	522.54	112.60	656.71	197.60	630.42
111.48	88.07	21.18	31.44	14.57	66.81	325.03	110.17	438.03	176.97	416.77
148.64	88.07	19.23	27.73	11.85	55.77	241.30	108.96	335.73	164.72	332.42
185.81	88.07	17.95	25.06	10.08	48.40	188.10	108.20	275.57	156.59	276.45
222.97	88.07	17.05	23.04	8.82	43.26	145.15	107.31	238.27	150.58	236.22
260.13	88.07	16.37	21.44	7.87	39.31	123.44	106.94	211.70	146.25	215.18

Tabla V.3 Edificio SIPE, IMP

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A_i (m ²)	μ_i (kg/m ²)	σ_i (kg/m ²)	μ_{σ_i} (kg/m ²)	σ_{σ_i} (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)	E_i (kg/m ²)	Var_i (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)
18.58	76.01	58.49	39.14	39.82	135.92	2712.20	145.06	5809.29	289.29	5118.06
37.16	76.01	42.30	45.67	30.41	117.73	1439.28	121.55	2849.72	241.28	2084.62
74.32	76.01	31.21	47.05	19.37	81.84	822.52	112.32	1091.18	194.18	966.42
111.48	76.01	26.49	31.44	14.57	64.33	356.67	107.42	722.65	171.78	661.45
148.64	76.01	23.70	27.73	11.85	54.05	263.74	104.57	540.51	158.62	511.20
185.81	76.01	22.00	25.06	10.08	47.60	196.11	103.05	430.57	150.05	414.62
222.97	76.01	20.73	23.04	8.82	41.73	149.20	101.70	357.18	143.43	350.10
260.13	76.01	19.77	21.44	7.87	37.89	124.56	100.72	312.28	138.61	306.63

Tabla V.4 Edificio SIPP, IMP

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A_i (m ²)	μ_i (kg/m ²)	σ_i (kg/m ²)	μ_{σ_i} (kg/m ²)	σ_{σ_i} (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)	E_i (kg/m ²)	Var_i (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)
18.58	81.77	40.03	39.14	39.82	149.36	2370.68	117.58	2260.47	266.94	2438.97
37.16	81.77	29.76	45.67	30.41	126.79	1208.11	107.63	1107.15	234.42	1271.82
74.32	81.77	22.96	37.05	19.37	86.53	505.29	103.29	574.74	189.81	582.15
111.48	81.77	20.18	31.44	14.57	67.43	321.81	102.19	407.80	169.62	397.01
148.64	81.77	18.64	27.73	11.85	56.00	241.68	101.85	321.60	152.85	318.02
185.81	81.77	17.65	25.06	10.08	48.53	188.29	101.45	271.21	149.98	272.90
222.97	81.77	16.92	23.04	8.82	43.21	143.29	101.18	237.39	144.39	239.13
260.13	81.77	16.45	21.44	7.87	39.16	124.27	100.86	217.11	140.02	218.46

Tabla V.5 Edificio ICA-Ingenieria

DATOS DE ENTRADA					RESULTADOS DE LA SIMULACION					
A_i (m ²)	μ_i (kg/m ²)	σ_i (kg/m ²)	μ_{σ_i} (kg/m ²)	σ_{σ_i} (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)	E_i (kg/m ²)	Var_i (kg/m ²)	F_{σ_i} (kg/m ²)	Var_{σ_i} (kg/m ²)
18.58	75.10	30.90	39.14	39.82	157.00	1959.84	96.66	1249.44	253.69	1935.96
37.16	75.10	26.17	45.67	30.41	129.55	1096.81	95.22	835.99	224.77	1138.11
74.32	75.10	23.39	37.05	19.37	86.05	502.95	97.88	615.88	183.93	630.11
111.48	75.10	22.39	31.44	14.57	66.20	334.16	99.38	524.12	165.58	485.69
148.64	75.10	21.88	27.73	11.85	54.46	255.29	100.93	451.68	155.39	435.50
185.81	75.10	21.56	25.06	10.08	47.18	194.20	101.40	415.03	148.58	399.87
222.97	75.10	21.34	23.04	8.82	41.60	147.30	101.90	386.90	143.50	374.46
260.13	75.10	21.19	21.44	7.87	37.70	123.68	102.04	370.07	139.74	360.76

Tabla V.6 Cinco edificios

donde

- A_i es el área de influencia
- μ_s es la media de las cargas sostenidas
- σ_s es la desviación estándar de las cargas sostenidas
- μ_e es la media de las cargas extraordinarias
- σ_e es la desviación estándar de las cargas extraordinarias
- $E_{s,sim}$ es la media de las cargas sostenidas obtenidas por simulación
- $Var_{s,sim}$ es la varianza de las cargas sostenidas obtenidas por simulación
- $E_{e,sim}$ es la media de las cargas extraordinarias obtenidas por simulación
- $Var_{e,sim}$ es la varianza de las cargas extraordinarias obtenidas por simulación
- $E_{t,sim}$ es la media de las cargas totales obtenidas por simulación
- $Var_{t,sim}$ es la varianza de las cargas totales obtenidas por simulación

En la figura V.3 se muestra el comportamiento de la carga sostenida y la extraordinaria en función del área tributaria para el caso en que se analizaron los cinco edificios en conjunto. Se puede apreciar como la carga sostenida permanece prácticamente constante en tanto que la carga extraordinaria muestra una mayor variación y por lo mismo tiene una notable influencia en la carga total.

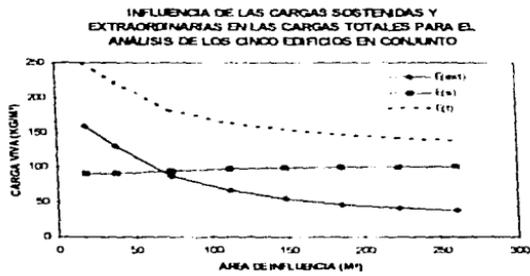


Fig. V.3

En la fig. V.4 se muestran gráficamente los valores de cargas vivas totales obtenidos de la simulación para cada edificio y para los cinco en conjunto.

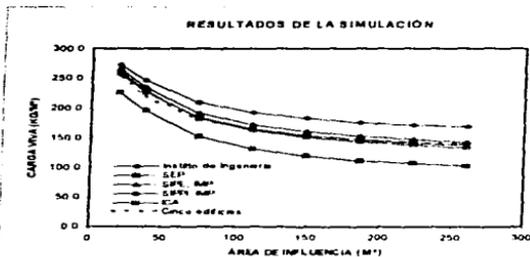


Fig. V.4

En la fig V 5 se puede observar que los resultados obtenidos mediante la simulacion para los cinco edificios en conjunto son muy similares a los que se obtienen con la ecuacion V.2 que corresponde al ANSI

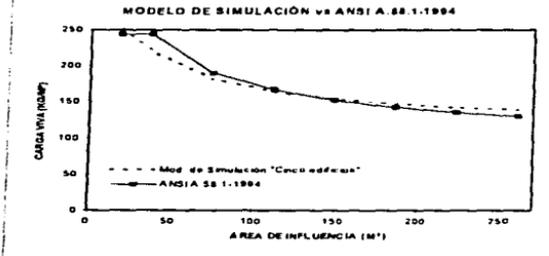


Fig. V.5

V.5 PROBABILIDADES DE EXCEDENCIA DE LAS CARGAS QUE RECOMIENDA EL RCDF-93 Y EL ANSI A.58.1-1994

Con base en los parámetros α y u de la función de distribución Externa Tipo I, se puede determinar la probabilidad que tiene un cierto valor de carga de ser excedido para un periodo de tiempo dado

$$P\{y > y_c\} = 1 - e^{-\frac{y - u}{\alpha}}$$

Ee V.3a

Asimismo, con base en cierta probabilidad de excedencia se puede obtener la carga viva correspondiente con la siguiente expresión

$$y = u - \alpha \ln(-\ln P)$$

Fe V.3b

donde

P es la probabilidad de excedencia para la cual se desea determinar el valor de la carga y es la máxima carga viva

Con base en los resultados obtenidos (media y varianza de las cargas totales) del modelo de simulación para el caso en que se analizaron los cinco edificios simultáneamente se obtienen los parámetros α y u mediante las ecuaciones 1.17 y 1.18 de la función de distribución Externa Tipo I. Una vez obtenidos estos parámetros mediante la ecuación V.3a se obtienen las probabilidades de excedencia para diferentes valores de carga viva de acuerdo con las ecuaciones V.1 y V.2 correspondientes al RCDF-93 y al ANSI A.58.1-1994 respectivamente. Los resultados se muestran en la Tabla V.7

A_i (m ²)	$E(t)$ (kg/m ²)	$Var(t)$ (kg/m ²)	α	u	RCDF- W_{90}	Prob Exced	ANSI L_{90}	Prob Exced
18.59	249.88	1732.43	0.1503	47.37	250	0.430	244.00	0.490
37.18	221.90	1009.73	0.1969	42.54	250	0.166	244.00	0.206
74.36	182.09	553.20	0.2660	35.14	250	0.014	190.42	0.300
111.54	164.18	443.27	0.2971	31.70	216.14	0.007	166.65	0.383
148.72	154.00	402.67	0.3117	29.71	228.63	0.005	152.50	0.461
185.90	147.31	373.62	0.3236	28.40	223.46	0.004	142.84	0.530
223.08	142.45	353.17	0.3329	27.46	219.65	0.003	135.71	0.589
260.26	138.87	343.41	0.3376	26.75	216.72	0.003	130.15	0.642

Tabla V.7 Probabilidades de excedencia

En la fig. V.6 se puede observar que los valores de carga viva que se obtienen de acuerdo al RCDF-93 no mantienen una probabilidad de excedencia constante y que para valores del área tributaria mayores a 60 m^2 las probabilidades de excedencia son muy pequeñas. Por otro lado los valores que propone el ANSI A 58.1-1994 tampoco mantienen una probabilidad de excedencia constante, sin embargo, dichas probabilidades se encuentran dentro de un intervalo más estrecho y sus valores no son menores que 20%.

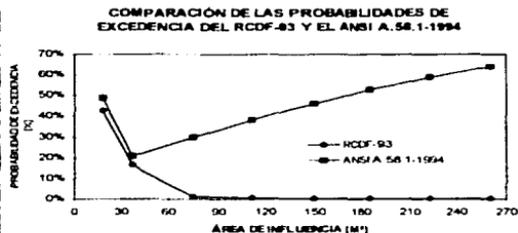


Fig. V.6

V.6 PROPUESTA DE REDUCCIÓN DE LOS VALORES DE CARGA VIVA PARA OFICINAS.

Con base en los resultados obtenidos es posible proponer una expresión en función del área tributaria mediante la cual se obtengan los valores de carga viva reducidos para áreas mayores que 36 m^2 . Para esto, es necesario analizar detalladamente los resultados obtenidos.

De la fig. V.4 se destacan las siguientes observaciones:

- 1 - Los valores correspondientes al edificio 2 del Instituto de Ingeniería son notablemente mayores a los de los demás edificios e incluso a los resultados totales.
- 2 - Los valores obtenidos para los cinco edificios juntos están por debajo de los correspondientes al edificio SIPE, IMP y, como se acaba de mencionar, a los del Instituto de Ingeniería.

3 - Los valores del edificio de la SEP son considerablemente menores a los de los demás edificios, y recordando que solo se analizaron cinco edificios la contribución a la tendencia de los resultados totales (línea discontinua) es importante

4 - Los valores de cargas vivas mostrados en la fig. V.4 son en todos los casos considerablemente menores a los que se obtienen con la ecuación V.1 que corresponde a la reducción permitida por RCDF-93. Los resultados para el análisis de los cinco edificios juntos son parecidos a los que propone el ANSIA 58.1-1994 (ver fig. V.5).

Para proponer una ecuación que defina la reducción de los valores de carga viva en función del área tributaria es necesario considerar los puntos enumerados anteriormente. Aunado a esto, se consideran los siguientes criterios:

- la ecuación debe proporcionar valores de carga viva que mantengan probabilidades de excedencia relativamente similares para diferentes valores del área tributaria
- la ecuación debe estar del lado de la seguridad, por lo que deberá proporcionar valores que estén por arriba de los correspondientes a los del edificio 2 del II, y además considerar, aunque de forma burda, incertidumbres como las asociadas a los cambios de uso de las edificaciones que en muchas ocasiones ponen en condiciones desfavorables a las estructuras y que no están consideradas dentro del modelo de simulación de Montecarlo utilizado en este trabajo.

Con base en lo anterior se propone la siguiente ley de reducción para elementos cuya área tributaria sea mayor que 36 m²:

$$W_m = 107.6 \cdot \frac{852.5}{\sqrt{A_t}}$$

Ec. V.4

donde

W_m es la carga viva por unidad de área (kg/m²)
 A_t es el área tributaria (m²)

En la fig. V.7 se muestra un ajuste mediante mínimos cuadrados que permite ver los resultados de los cinco edificios juntos, los resultados correspondientes al Instituto de Ingeniería y los valores que se obtienen de la ecuación de reducción propuesta.



Fig. V.7

V.6.1 Comparación de las reducciones que permite el RCDF-93 y el ANSI A.58.1-1994 con la ley de reducción propuesta

En la fig V.8 se muestra una comparación entre los valores de carga viva que propone el RCDF-93, el ANSI A 58.1-1994 y la reducción que se propone. Se puede apreciar que la ecuación V.4 proporciona valores más pequeños que los correspondientes al RCDF-93, pero mayores a los del ANSI A 58.1-1994.

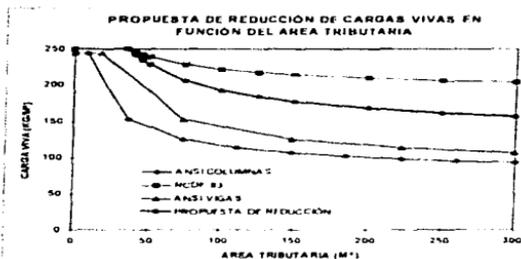


Fig. V.8

En la fig. V.9 se muestra la probabilidad de excedencia de los valores de carga viva que se obtienen de la ecuación V.4, y se comparan con los de la ecuación V.2 (ANSI A 58.1-1994), se puede apreciar la probabilidad de excedencia de las cargas vivas obtenidas con la ley de reducción propuesta mantiene una probabilidad de excedencia mayor y más uniforme

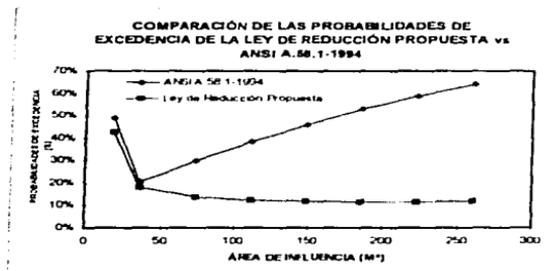


Fig. V.9

CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos del muestreo de cargas, y del modelo de simulación de Montecarlo se concluye lo siguiente:

1. Los histogramas de cargas sostenidas derivadas del muestreo hacen ver que la función de distribución de probabilidades Gamma que se utiliza en el modelo de simulación **representa adecuadamente** el comportamiento de las cargas sostenidas en un instante dado.
2. Los valores de carga viva que proponen el ANSI A 58.1-1994 y el RCDF-93 para áreas pequeñas son muy similares, pero para áreas mayores que 36 m² (área tributaria para el RCDF-93 y área de influencia para el ANSI A 58.1-1994) ambos códigos permiten una reducción en los valores de carga viva. Se pudo comprobar que la reducción que permite el RCDF-93, es muy conservadora y además, los valores tienen una probabilidad de excedencia demasiado pequeña (ver fig. V.6).
3. Por lo descrito en el punto anterior fue necesario proponer una reducción de los valores de carga viva para áreas mayores que 36 m², que proporcionara valores de carga menos conservadores y que mantuviera una probabilidad de excedencia relativamente similar para diferentes áreas cargadas.
4. Los valores de carga viva obtenidos mediante el modelo de simulación para los cinco edificios muestreados son menores que los valores que se obtienen al analizar el Edificio 2 del Instituto de Ingeniería de la UNAM. Por otro lado se pudo detectar durante el muestreo de cargas sostenidas que algunas áreas destinadas a oficinas **no son usadas como tales** (se utilizan como pequeñas bodegas, salas de cómputo etc.). Esto difícilmente se puede predecir en el diseño. No se considero dentro del modelo de simulación.
5. Dado lo descrito en el punto anterior se propone una reducción cuyos valores estén por arriba de los obtenidos de la simulación del edificio del II, UNAM. La reducción propuesta para elementos cuya área tributaria sea mayor que 36 m² es la siguiente:

$$W_s = 107.6 \cdot \frac{852.5}{\sqrt{A_t}} \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

6. Otro aspecto que vale la pena hacer notar es que los valores de las medias de las cargas sostenidas son menores al valor de W_s (carga instantánea) del RCDF-93. Esto indica que el

valor de $W_s=180 \text{ kg/m}^2$ recomendado en el RCDF-93 para estimar las fuerzas sísmicas y de viento es un valor conservador

- 7 Es importante mencionar que en nuestro país es frecuente que se cambie el uso de los edificios, poniendo en ocasiones a las estructuras en condiciones desfavorables para las cuales no fueron diseñadas. De aquí que es importante que los ingenieros concienticen a los usuarios de los riesgos que implican los cambios de usos de las construcciones.
- 8 Es recomendable realizar este tipo de estudios para otros tipos de uso de estructuras. Actualmente se está analizando el caso de cargas vivas en salones de clase en escuelas públicas en el Distrito Federal.

APÉNDICE I

ESTE PROGRAMA PUEDE SER UTILIZADO SI SE TECLEA COMO ESTA A CONTINUACION
DEBE COMPILARSE EN FORTRAN 77 Y TENER DISPONIBLES LAS SIGUIENTES
SUBROUTINAS: GGUSS,GGEXN Y GGAMR

```

SLARGE
.....
** UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO **
** DEPTO-ESTRUCTURAS **
** ING. J. ALBERTO SORIANO M. **
.....

```

```

* PROGRAMA: DDF LIVE.EXE
* "GENERA CON EL METODO MONTECARLO LA
* MAXIMA CARGA VIVA
*

```

```

* .....
* NOTA:
* SE APLICO LA FORMULA
* MEJORADA DE WEN
* .....

```

```

-----
**
** CONSTANTES DE PROYECTO:
**
-----

```

```

* TR (PERIODO DE RETORNO, VIDA UTIL DE LA CONSTRUCCION)
* V(s) (INDICE MEDIO DE CAMBIOS DE OCUPANCIA)
* NR (NUMERO DE SIMULACIONES)
* DSEED (SEMILLA -valor comprendido entre 1 y 2147483647.DD -)
* Vls (MEDIA, SE OBTIENE DE DATOS DE CARGAS VIVAS DE SERVICIO)
* Sls (DISPERSION, SE OBTIENE DE DATOS DE CARGAS VIVAS DE SERVICIO)
* Vex (CONSTANTE EXPERIMENTAL, EN ESTE CASO SE TOMO COMO 1)
* Uex (MEDIA)
* SEX (DISPERSION)

DOUBLE PRECISION DSEED
DIMENSION R(1000),T(1000),SUMA(1000),Y(1000),F(1000),ALEAT(1000),
*
* RAIZ(5000),UM(1000),ALFA(1000),YY(1000),WK(2000),AI(8),
* CL(1000),LS(1000),SUPY(5000),SUPLS(5000),RUPCL(5000)

```

CHARACTER*12 ARCH1

```

REAL VS, XM, YY, A, LMDA, R, WK, LS, CL, DEX, ULS, SLS, SA2, RS2, UW, UR, SR, SW
INTEGER MH, TR, CONT, NSIM

WRITE(*,*)
.....
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
DEFFI-ESTRUCTURAS
ING: J. ALBERTO SORIANO M.
.....
PROGRAMA: DDY_LIVE.EXE
"GENERA CON EL METODO MONTECARLO LA:
MAXIMA CARGA VIVA
.....
NOTA: SE APLICO LA FORMULA
MEJORADA DE WEN
.....
DATOS DE PROYECTO:
.....
WRITE(*,*) Nombre del archivo donde desea guardar los resultados:
WRITE(*,*) CASO ?:
READ(*,*) (A) ARCH1
OPEN(1, FILE=ARCH1, STATUS='NEW')

```

```

.....
**
** ENTRADA DE DATOS
**
**
.....

```

```

WRITE(*,*) Tr [asos] ?:
READ(*,*) TR
WRITE(*,*) Tr [asos] =', TR
WRITE(*,*) Vs [1/asos] ?:
READ(*,*) VS
WRITE(*,*) Vs [1/asos] =', VS
XM=1/VS
WRITE(*,*) Vex [1/asos] ?:
READ(*,*) VER
WRITE(*,*) Vex [1/asos] =', VER
WRITE(*,*) ULS [psf] ?:
READ(*,*) ULS
WRITE(*,*) ULS [psf] =', ULS
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) PARA EL CALCULO DE SLS DEBERA INDICAR LOS DATOS:
WRITE(*,*) Sa y Ss QUE SE OBTUVIERON DE RESULTADOS EXPERIMENTALES

```

```

WRITE(*,*) ' Var(Ls) = Sa + Sa/A '
WRITE(*,*) ' Sa [paf]^2 ?:'
READ(*,*)SA2
WRITE(*,*) ' Sa [paf]^2 =',SA2
WRITE(*,*) ' Sa [paf]p ?:'
READ(*,*)SS2
WRITE(*,*) ' Sa [paf]p =',SS2

*** SEMILLA O VALOR ALEATORIO PARA QUE INICIE EL PROCESO DE SIMULACION
DSEED=126666.000

WRITE(*,*) '% de simulaciones NSIM ?:'
READ(*,*)NSIM
WRITE(*,*) ' NSIM =',NSIM

.....
** SE IMPRIMEN EN EL ARCHIVO DE RESULTADOS LAS CONSTANTES DE DISEÑO **
**
.....

WRITE(1,*) '*****UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO*****'
WRITE(1,*) '***** DEPTO-ESTRUCTURAS *****'
WRITE(1,*) '***** ING. J. ALBERTO SORIANO M. *****'
WRITE(1,*)
WRITE(1,*) 'PROGRAMA: DDF LIVE.EKR'
WRITE(1,*) '***** GENERA CON EL METODO MONTECARLO LA: *****'
WRITE(1,*) '***** MAXIMA CARGA VIVA*****'
WRITE(1,*)
WRITE(1,*) 'NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS : ',ARCHI
WRITE(1,*)
WRITE(1,*)
WRITE(1,*) 'CONSTANTES DE PROYECTO : '
WRITE(1,*) 'Tr [años ] = ',TR
WRITE(1,*) 'Vc [1/años] = ',VS
WRITE(1,*) 'Vex [1/años]= ',VEX
WRITE(1,*) 'ULs [paf] = ',ULS
WRITE(1,*) 'Sa [paf]^2 = ',SA2
WRITE(1,*) 'Sa [paf]p = ',SS2
WRITE(1,*)
WRITE(1,*) 'RESULTADOS DEL PROGRAMA : '
WRITE(1,*)

.....
**
** DATOS PARA GENERAR LA CARGA VIVA EXTRAORDINARIA MAXIMA
**
.....

```

```

WRITE(*,*) .....
WRITE(*,*) **
WRITE(*,*) **          CONSTANTES DE PROYECTO:
WRITE(*,*) **
WRITE(*,*) .....
WRITE(*,*)

AI(1)=200
AI(2)=400
AI(3)=800
AI(4)=1200
AI(5)=1600
AI(6)=2000
AI(7)=2400
AI(8)=2800

DO 200 II=1,8

*** REPRESENTAN CONSTANTES EXPERIMENTALES DE DATOS DE CARGAS VIVAS
*** (ESTAS CONSTANTES PERMITEN DETERMINAR EL CAMBIO DE LA VARIANZA
*** CON EL AREA SA Y Ss)

SLS=SQRT(SA2+SS2/AI(II))

*** REPRESENTAN LA MEDIA Y LA DESVIACION ESTANDAR DEL PESO DE UNA
*** PERSONA
UN=150
SM=25

*** REPRESENTAN LA MEDIA Y LA DESVIACION ESTANDAR DEL NUMERO DE
*** PERSONAS QUE SE ENCUENTRAN ENTRE UN AREA DE 300 Y 670 ft**2
UR=6
SR=2

*** CK CONVIERTE LA CARGA A UN VALOR EQUIVALENTE UNIFORMENTE DISTRIB
CK=2.2

*** EL NUMERO DE CARGAS EN UN AREA DADA CA, ESTA DADA POR:
CA=(AI(II)-155)/6.3**0.5

*** ESTAS ECUACIONES PERMITEN DETERMINAR LA MEDIA Y LA DESVIACION
*** ESTANDAR DE LA CARGA VIVA EXTRAORDINARIA
UEX=CA*UN*UR/AI(II)
SEX=SQRT((CA*CK*(UR*SM**2+UN**2*SR**2+UM**2*UR**2))/AI(II)**2)

WRITE(1,*) ' AREA(ft2)      Uls      Sls      Uex      Sex'
WRITE(1,60)AI(II),ULS,SLS,UEX,SEX

DEX=SEX/UEX
WRITE(*,*)
WRITE(*,*) ' AI [ft2] =',AI(II)
WRITE(*,*) ' Uls [paf] =',ULS
WRITE(*,*) ' Sls [paf] =',SLS
WRITE(*,*) ' Uex [paf] =',UEX
WRITE(*,*) ' Sex [paf] =',SEX

```

```

.....
**
** IMPORTANTE: se tomaron Uls y Sls para obtener los parametros
** Lambda y K (factor de forma -A-) de la funcion gamma
**
.....
*
* LAMDA
* LMDA=ULS/(SLS**2)
*
* FACTOR DE FORMA
* A=(ULS**2)/(SLS**2)
*
.....
**
** INICIA EL PROCESO DE GENERACION DE NSIM SIMULACIONES
**
.....
DSEED=126666.000
NR=NSIM
CALL OGURS(DSEED,NR,N)
DO 5 N=1,NSIM
5 RAIE(N)=R(N)

WRITE(*,*) ' Espere un momento ...'
WRITE(*,*)

SUMY=0.0
SUMLS=0.0
SUMSCL=0.0
CONT=0

DO 100 L=1,NSIM

SUMA(0)=0

.....
**
** LA SEMILLA SEGUIRA UN PROCESO ALEATORIO
**
.....
DSEED=RAIE(L)*2147483647.DO

*
* RESULTABA NECESARIO SEÑALAR EL NUMERO DE DESVIACIONES " NR "
* A SER GENERADAS, EN ESTE CASO SE PROPUSO NR=1000
* NR=1000

.....
**
** SE GENERAN TIEMPOS ALEATORIOS MEDIANTE UNA F.D.P EXPONENCIAL
**
.....

```

```

CALL GGEXN(DSEED,XM,NR,R)
DO 10 I=1,NR
T(I)=R(I)
SUMA(I)=SUMA(I-1)+T(I)
IF(SUMA(I)-TM)10,40,30
30 T(I)=TM-SUMA(I-1)
GOTO 40
10 CONTINUE
40 WRITE(*,90)I,I,L

```

```

.....
* GENERA NUMEROS ALEATORIOS ENTRE (0,1)
*

```

```

CALL GGUBS(DSEED,NR,R)
DO 42 N=1,I
42 ALEAT(N)=R(N)

```

```

.....
* GENERA LA CARGA SOSTENIDA S(t) EN UN PUNTO ARBITRARIO EN EL TIEMPO *

```

```

* FACTOR DE FORMA
A=(ULS**2)/(SLS**2)
CALL GGAMR(DSEED,A,NR,WK,R)
DO 45 N=1,I
45 R(N)=R(N)/LMDA

```

```

.....
* EN ESTE CICLO SE DETERMINA LA CARGA EXTRAORDINARIA MAXIMA, MEDIANTE *
* UNA FUNCION EXTREMA TIPO I Y LA FORMULA MEJORADA DE WIEN
*

```

```

SUPT=0.0
SUDY(L)=0.0
SUPRND=0.0
SUDU=0.0
SUDA=0.0
SUDS(L)=0.0
SUDPL(L)=0.0

DO 50 J=1,I
C1=0.77989*ALOG(VER*T(J))
C2=(1-C1*DEK)/(2*DEK+C1)
P=C1*(1+0.1*DEK**3)
UEM=UEK+P*SEK
SEM=UEK*DEK*1.282*C2
ALFA(J)=1.282/SEM
IF(ALFA(J).LE.(1E-6))GOTO 50
UM(J)=UEM-0.5772/ALFA(J)
IF(UM(J).LE.(1E-6))GOTO 50
YY(J)=ALEAT(J)

```

```

Y(J)=UM(J)-(ALOG(-ALOG(YY(J)))/ALFA(J)
IF(Y(J).LE.(1E-6))GOTO 50
CL(J)=Y(J)+R(J)
** EN ESTE IF SE SELECCIONA LA CARGA COMBINADA MAXIMA QUE RESULTA DE
** EN LOS "N" PROCESOS DE SIMULACION.
IF(CL(J).GE.SUPCL(L))THEN
  SUPY=Y(J)
  SUPY(L)=Y(J)
  SUPRND=YY(J)
  SUPU=UM(J)
  SUPA=ALFA(J)
  SUPLS(L)=R(J)
  SUPCL(L)=CL(J)
ELSE
  SUPT=SUPT
  SUPY(L)=SUPY(L)
  SUPRND=SUPRND
  SUPU=SUPU
  SUPA=SUPA
  SUPLS(L)=SUPLS(L)
  SUPCL(L)=SUPCL(L)
ENDIF
IF(J.GE.I)GOTO 70
50 CONTINUE
70 CONT=CONT+1
  SUPY(CONT)=SUPY(L)
  SUPLS(CONT)=SUPLS(L)
  SUPCL(CONT)=SUPCL(L)
  SUMY=SUMY+SUPY(CONT)
  SUMLS=SUMLS+SUPLS(CONT)
  SUMCL=SUMCL+SUPCL(CONT)
60 FORMAT(5F12.3)
90 FORMAT(1H+ ' Ciclo : ',I2,' ,8 de simulaci6n ... ',I4)
100 CONTINUE
UY=SUMY/CONT
US=SUMLS/CONT
UCL=SUMCL/CONT
SBY=0.0
SLS=0.0
SECL=0.0

```

```
DO 110 N=1,CONT
  SSY=SSY+(SUPT(N)-UY)**2
  SSLS=SSLS+(SUPLS(N)-USS)**2
110  SSCL=SSCL+(SUPCL(N)-UCL)**2
```

```
VY=SSY/CONT
VLS=SSLS/CONT
VCL=SSCL/CONT
```

```
WRITE(1,*) ' E[ext]      Var[ext]      E[ls]      Var[ls]
2E[t]      Var[t]'
WRITE(1,120)UY,VY,USS,VLS,UCL,VCL
WRITE(1,*)
WRITE(*,*) ' E[ext] [peF] =',UY
WRITE(*,*) ' Var[ext] [peF] =',VY
WRITE(*,*) ' E[ls] ] [peF] =',USS
WRITE(*,*) ' Var[ls] ] [peF] =',VLS
WRITE(*,*) ' E[t ] [peF] =',UCL
WRITE(*,*) ' Var[t ] [peF] =',VCL
```

```
120 FORMAT(6F12.3)
```

```
200 CONTINUE
```

```
CLOSE(1)
STOP
END
```

APÉNDICE 2

Las siguientes expresiones se pueden usar alternativamente a las expresiones 11 a 13 respectivamente

La media se obtiene de la siguiente forma

$$\bar{x} = \frac{f_1 c_1 + f_2 c_2 + f_3 c_3 + \dots + f_n c_n}{n} = \frac{\sum f c}{n}$$

la varianza mediante la siguiente expresión

$$\sigma^2 = \frac{f_1 (c_1 - \bar{x})^2 + f_2 (c_2 - \bar{x})^2 + f_3 (c_3 - \bar{x})^2 + \dots + f_n (c_n - \bar{x})^2}{n} = \frac{\sum f (c - \bar{x})^2}{n}$$

por lo tanto la desviación estándar se obtiene como sigue

$$\sigma = \sqrt{\frac{f_1 (c_1 - \bar{x})^2 + f_2 (c_2 - \bar{x})^2 + f_3 (c_3 - \bar{x})^2 + \dots + f_n (c_n - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{\sum f (c - \bar{x})^2}{n}}$$

donde

- c_i es la marca de clase del intervalo i
 f_i es la frecuencia del intervalo i

APÉNDICE 3

UTILIZACIÓN DEL PROGRAMA DE SIMULACIÓN DE MONTECARLO

En este apéndice se explica la utilización del programa cuyo listado se muestra en el Apéndice 1.

En la tabla A3.1 se muestra los resultados del ajuste de los datos de varianza que aparecen en la tabla IV.1

No. de áreas	1/A (1/m ²)	Varianza (kg/m ²) ²	Ajuste (kg/m ²) ²
32	1	566.6733	578.5631625
16	0.5	330.4291	295.1734625
8	0.25	124.3526	153.4786125
4	0.125	101.5677	82.6311875
2	0.0625	34.0312	47.207475

Tabla A3.1

El ajuste se hizo mediante mínimos cuadrados utilizando la hoja de cálculo "Microsoft Excel"

Con estos datos siendo las ordenadas los valores del ajuste y las abscisas el inverso del área, se puede obtener la ecuación de la recta que se muestra en la fig. IV.1. La ecuación correspondiente es:

$$\sigma^2 = \frac{(566.7794)}{A} + 11.7437 \quad [\text{kg/m}^2]^2$$

Para considerar que la carga real no está uniformemente distribuida es necesario incluir el factor k, que en este estudio se consideró igual a 2.2 (ver sección II.1), entonces la ecuación para fines de obtener los datos para el programa de simulación queda como sigue:

$$\sigma^2 = \frac{2.2(566.7794)}{A} + 11.7437 \quad [\text{kg/m}^2]^2 \quad \text{ó} \quad \sigma^2 = \frac{563.03}{A} + 0.4926 \quad [\text{psi}]^2$$

Corrida del programa

La entrada de datos al programa es mediante el teclado, los datos solicitados son los siguientes en el orden que se muestra:

- Nombre del archivo de resultados libre
- Período de retorno: Tr [años]
- Índice de cambios de ocupación de cargas sostenidas Vs [1/años]
- Índice de cambios de ocupación de cargas extraordinarias Vex [1/años]
- Media de las carga sostenidas U1.s [psf]
- Ordenada al origen de la recta de varianza ajustada Sa [psf]²
- Pendiente de la recta de varianza ajustada Ss [psf]

donde: l [psf] l lb/ft²

Para el caso del ejemplo que se ha manejado en el capítulo 4 los datos son los siguientes:

- Nombre del archivo de resultados Apén3.res
- Período de retorno: 50 [años] (para oficinas)
- Índice de cambios de ocupación de cargas sostenidas 0.125 [1/años]
- Índice de cambios de ocupación de cargas extraordinarias 1 [1/años]
- Media de las carga sostenidas 8.4615 [psf]
- Ordenada al origen de la recta de varianza: 0.4926 [psf]²
- Pendiente de la recta de varianza 563.03 [psf]

En la siguiente página se muestra el archivo de resultados generado por el programa de simulación en donde:

AREA es el área de influencia [ft²]

μ_s es la media de las cargas sostenidas [psf]

σ_s es la varianza de las cargas sostenidas [psf]

μ_{ex} es la media de las cargas extraordinarias [psf]

σ_{ex} es la desviación estándar de las cargas extraordinarias [psf]

$E_{s,sim}$ es la media de las cargas extraordinarias obtenidas por simulación [psf]

$Var_{s,sim}$ es la varianza de las cargas extraordinarias obtenidas por simulación [psf]²

E_s es la media de las cargas sostenidas obtenidas por simulación [psf]

Var_s es la varianza de las cargas sostenidas obtenidas por simulación [psf]²

E_{total} es la media de las cargas totales obtenidas por simulación [psf]

Var_{total} es la varianza de las cargas totales obtenidas por simulación [psf]²

PROGRAMA: DDF_LIVE.EXE
 "GENERA CON EL METODO MONTECARLO LA:
 MAXIMA CARGA VIVA"

NOMBRE DEL ARCHIVO DE RESULTADOS : apendix.res

CONSTANTES DE PROYECTO :

Tc [años] = 50
 Vs [1/años] = 1.000000E-001
 Vea [1/años] = 1.0000000
 Uls [psf] = 8.4610000
 Ss [psf] = 4.926000E-001
 Ss [psf]p = 163.0100000

RESULTADOS DEL PROGRAMA :

AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
200.000	8.462	1.819	8.018	8.156		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
33.913	59.925	8.823	3.427	42.736	58.667	
AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
400.000	8.462	1.179	7.354	6.229		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
28.237	31.767	8.708	1.935	36.945	31.396	
AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
800.000	8.462	1.094	7.589	1.967		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
19.549	11.374	8.698	1.264	28.248	13.122	
AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
1200.000	8.462	1.981	6.440	2.984		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
15.462	8.722	8.724	.999	24.186	8.461	
AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
1600.000	8.462	.919	5.675	2.427		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
13.020	6.896	8.787	.653	21.607	6.583	
AREA (ft ²)	Uls	Sls	Ssx	Ssx	E[ft]	Var[ft]
2000.000	8.462	.880	5.134	2.064		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[ft]	Var[ft]	
11.387	5.594	8.798	.779	20.185	5.295	

AREA(fL2)	ULs	SLs	Uex	Sex		
2400.000	8.462	.853	4.719	1.806		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[t]	Var[t]	
10.182	4.407	8.813	.722	18.995	4.158	
AREA(fL3)	ULs	SLs	Uex	Sex		
2800.000	8.462	.933	4.391	1.613		
E[ext]	Var[ext]	E[ls]	Var[ls]	E[t]	Var[t]	
9.282	3.881	8.829	.696	18.111	3.656	

REFERENCIAS

1. Soriano, J. A. y Ruiz, S. E., "Modelación matemática de las cargas vivas en edificios", Informe para el Departamento del Distrito Federal Parte I, diciembre 1995
2. Vázquez M., Cervantes G., Urrego O., Soriano J. A. y Ruiz S. E., "Estudio estadístico sobre cargas actuantes en pisos de oficinas en el Distrito Federal", Informe para el Departamento del Distrito Federal Parte II, diciembre de 1995.
3. Kennedy, J. y Neville, A. Estadística para ciencias e ingeniería, editorial Harla, México segunda edición 1982.
4. Coleman, R. Procesos Estocásticos, editorial Limusa, México primera edición 1976.
5. Ellingwood, B. y Culver, Ch., "Analysis of live loads in office buildings", *Journal of the Structural Division*, ASCE, 1977, ST8, 1551-1560.
6. McGuire, R. K. y Cornell, C. A., "Live loads effects in office buildings", *Journal of the Structural Division*, ASCE, 1974, ST7, 1351-1366.
7. Soriano, J. A., Análisis Teórico Sobre Cargas Vivas en Edificios Tesis de Maestría, DEPEI, UNAM 1996.
8. Pier, J. C., "A Stochastic Live Load Model for Buildings" Research Report R71-35 Massachusetts Institute of Technology Department of Civil Engineering, Cambridge, Mass., Septiembre de 1971.
9. Chalk, Philip L. y Corotis, Ross B. "Probability model for design live loads", *Journal of the Structural Division*, Octubre, 1980, ST10, 15753 pp. 2017-2033.
10. Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (Criterios de Diseño Estructural, Cargas Vivas), Editorial SISTA S.A. de C.V. México 1995
11. Sóbol, I. M. Método de Montecarlo, editorial MIR, Moscú, segunda edición 1983.
12. Meli, R. Diseño Estructural, editorial Limusa, México, quinta reimpresión 1993.

13. Wen, Yi-Kwei. "Statistical Combination of Extreme Loads", Journal the of Structural Division, Mayo, 1977, ST5, 12390, pp. 1079-1093.
14. Wen, Yi-Kwei. "Statistics of Extreme of Live Load", Journal of the Structural Division, Octubre, 1979, ST10, 14886, pp. 4893-1900.
15. American National Standards Institute (Minimum Design Loads for Building and other Structures), Editorial ASCE, New York, U.S.A., 1994, pp 1-7, 92-98.
16. Benjamin, Jack R. y Cornell, C. Allin 1970. Probability Statistics and Decision for Civil Engineering, editorial McGraw-Hill, 1970.
17. Spiegel, Murray R. Teoría y Problemas de Probabilidad y Estadística tr. Jairo Osuna Suarez, editorial Mc Graw Hill, México 1991.