



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

**CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE
APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO
ARMADO**

Estuardo René Morales Calderón

Asesorado por el Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Guatemala, agosto de 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE
APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO
ARMADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA

FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

ESTUARDO RENÉ MORALES CALDERÓN

ASESORADO POR EL ING. MARIO RODOLFO CORZO ÁVILA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Angel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Agr. Jose Alfredo Ortiz Henrincx
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañón Contreras
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Nicolás Guzmán Saenz
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO ARMADO,

tema que fue aprobado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería civil el 10 de marzo de 2010.



ESTUARDO RENÉ MORALES CALDERÓN.

Guatemala junio de 2,010

Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco.
Director de la Escuela de Ingeniería Civil.
Facultad de Ingeniería.
Universidad de San Carlos de Guatemala.

Ingeniero Montenegro:

Me dirijo a usted para manifestarle que he revisado el trabajo de graduación: **CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO ARMADO;** Elaborado por el estudiante universitario: Estuardo René Morales Calderón, Quien conto con la asesoría del suscrito.

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

Agradezco a usted la atencion a la presente

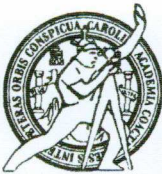
Atentamente,


Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila
Ingeniero Civil Col. 2089
Asesor.

Mario Rodolfo Corzo
INGENIERO CIVIL
Colegiado No. 2089



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



Guatemala,
30 de julio 2010

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

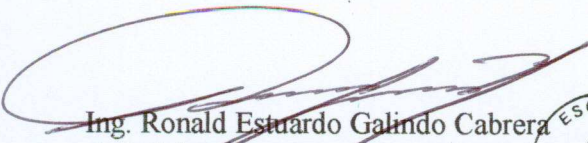
Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO ARMADO**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Estuardo René Morales Calderón, quien contó con la asesoría del Ing. Mario Rodolfo Corzo Ávila.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Ronald Estuardo Galindo Cabrera
Jefe del Departamento de Estructuras



FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
ESTRUCTURAS
USAC

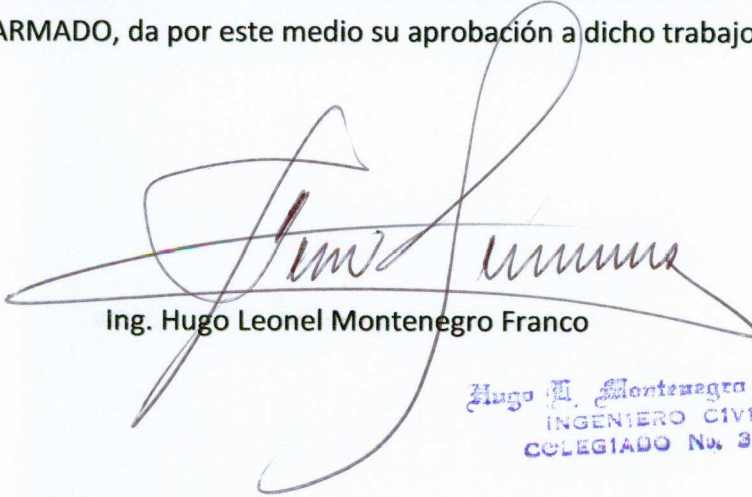
/bbdeb.



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
www.ingenieria-usac.edu.gt



El Director de la Escuela Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Mario Rodolfo Corzo Ávila y del Jefe del Departamento de Estructuras, Ingeniero Ronald Estuardo Galindo Cabrera, al trabajo de graduación del estudiante Estuardo René Morales Calderón, titulado CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO ARMADO, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.



Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco

Hugo L. Montenegro Franco
INGENIERO CIVIL
COLEGIADO N.º 3177

Guatemala, septiembre de 2010

PROGRAMA DE
INGENIERIA CIVIL
ACREDITADO POR



Más de 130 Años de Trabajo Académico y Mejora Continua

PERIODO 2009-2012

Universidad de San Carlos
de Guatemala




Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG-SEPT.-2010

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **CRITERIO DE ANÁLISIS, DISEÑO, EJECUCIÓN Y EJEMPLOS DE APLICACIÓN SOBRE SISTEMAS DE ESCALERAS DE CONCRETO ARMADO**, presentado por el estudiante universitario **Estuardo René Morales Calderón**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.


Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, Septiembre de 2010

/cc
Col. Ings.2010

ACTO QUE DEDICO A:

DIOS

Por darme el privilegio de despertar cada día con fuerzas renovadas, con sueños, anhelos y por darme la familia tan especial que me ha dado y por permanecer fiel a mi lado siempre.

Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente; no temas ni desmayes, por que Jehova tu Dios estará contigo en dondequiera que vayas. Josue 1:9

MI FAMILIA

Por ser siempre los pilares de mi esfuerzo y brindarme apoyo a cada instante: Emily Andrea López Méndez y Estuardo Sebatían Morales López.

MIS PADRES

Por haber sido el medio que DIOS empleó para bendecirme con la vida, con el cariño y apoyo que cuando más necesité me brindaron. Mario René Morales Chacón y Nora Ileana Calderón de Morales.

MIS HERMANOS

Por ser siempre tan especiales cada uno a su manera: Ervin René Morales Calderón, Mery Analeé Morales Calderón, Cindy Michelle Morales Calderón y Mario David Morales Calderón.

MIS AMIGOS

Lusvin Garcia, Edgar Clara, Luis Perez, Juan Luis Irving, Guillermo Mejia y Sergio López.

DEMÁS FAMILIA

Mis suegros Hania Emilia Mendez Leal, Luis Stuardo; mis cuñados Lopez Vasquez, Stuardo Andres Lopez Mendez, Kevin Roberto Daniel Lopez Mendez y Hania Ester Lopez Mendez,

DEDICADO A LA MEMORIA DE FRANCISCO JAVIER CALDERÓN MONFORTH
QUE EN PAZ DESCANCE

AGRADECIMIENTOS A:

Mi señor y salvador Cristo Jesus.

Mis padres, hermanos, suegros y cuñados.

Mi asesor y amigo Ing. Mario Rodolfo Corzo Avila.

Mis amigos Ing. Jorge Mario Vettorazzi y Arq. Otto Cardenas.

Facultad de Ingenieria, específicamente a la Escuela de Ingenieria Civil.

Universidad de San Carlos de Guatemala.

Compañeros de promoción.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
GLOSARIO	IX
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS	XV
INTRODUCCIÓN	XVII

1. SISTEMA DE ESCALERAS

1.1	Definición de sistemas de escaleras	1
-----	-------------------------------------	---

2. SISTEMA DE ESCALERAS

2.1	Clasificación de sistemas de escaleras	3
2.1.1	Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo Con el tipo de apoyos que sustentan su estructura	3
2.1.1.1	Escaleras simplemente apoyadas	3
2.1.1.1.1	Escaleras apoyadas longitudinalmente	4
2.1.1.1.2	Escaleras apoyadas transversalmente	5
2.1.1.1.2.1	Clasificación de apoyos transversales	5
2.1.2	Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo con su importancia dentro de una edificación	6
2.1.2.1	Escalera de uso cotidiano	6

2.1.2.2	Escalera de emergencia	6
2.1.3	Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo Con su configuración estructural	7
2.1.3.1	Escaleras auto-portantes	7
2.1.3.2	Escaleras de losa maciza	8
2.1.3.3	Escaleras con apoyos intermedios	9
2.1.3.4	Escaleras ortopoligonales	10
2.1.3.5	Escaleras helicoidales	11
2.1.4	Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo con los materiales que se emplean para su ejecución	12
2.1.4.1	Concreto	12
2.1.4.2	Acero de refuerzo	13

3. DEFICIENCIA DE SISTEMAS DE ESCALERAS EXISTENTES EN DIVERSAS EDIFICACIONES

3.1.	Deficiencia en el análisis, diseño y ejecución de sistemas	15
3.1.1.	Teoría de fallas en los anclajes de la estructura de un sistema de escaleras	16
3.1.2.	Teoría de fallas en la estructura de un sistema de escaleras inducidas por sismo	21
3.1.3.	Teoría de fallas de origen arquitectónico	24
3.1.4.	Teoría de fallas por flexo-compresión en apoyos de sistemas de escaleras	27
3.2.	Deficiencias constructivas de los sistemas de escaleras	28

4. CARGAS ACTUANTES EN SISTEMAS DE ESCALERAS

4.1	Cargas y su clasificación	31
4.1.1.	Carga viva o de ocupación	31
4.1.2.	Carga muerta o peso propio de la estructura	33
4.1.3.	Cargas ambientales	34
4.1.4.	Combinación de cargas de acuerdo con códigos constructivos	34
4.2.	Carga sísmica	37
4.2.1.	Análisis de carga sísmica de acuerdo con código UBC 1985	39
4.2.2.	Análisis de carga sísmica de acuerdo con código UBC 1997	48
4.2.3.	Aplicación del corte basal en las estructuras	54

5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA SISTEMAS DE ESCALERAS

5.1.	Modelación y diseño arquitectónico de sistemas de escaleras	57
5.2.	Sistema de escaleras simplemente apoyado longitudinalmente	57
5.3.	Sistema de escaleras ortopoligonales con empotramiento longitudinal	76
5.4.	Sistemas de escaleras apoyadas transversalmente	84
5.5.	Sistema de escaleras con escalones en voladizo	92
5.6.	Elaboración de hoja electrónica para modelación y diseño	102
5.6.1.	Diagrama de flujo	103
5.6.2.	Manual de usuario, expresiones de cálculo y comparación de método manual y método electrónico	104

CONCLUSIONES	109
RECOMENDACIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	113
APÉNDICE	115

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Sistemas de escaleras simplemente apoyadas de uno y más tramos	4
2	Sistemas de escaleras simplemente apoyadas de uno y más tramos	5
3	Sistemas de escaleras de dos tramos	8
4	Sistemas de escaleras de dos o más tramos	9
5	Sistemas de escaleras con elementos de apoyo intermedio	10
6	Sistemas de escaleras ortopoligonales	11
7	Sistemas de escaleras helicoidales	12
8	Sistema de escaleras apoyadas en vigas terminales	16
9	Filosofía del comportamiento de una viga trabajando a flexión	18
10	Filosofía del comportamiento de una losa	19
11	Diagrama de corte y momento flector general de una viga de apoyo	20
12	Mapa de Centro América	21
13	Arquitectura de escaleras	26
14	Comportamiento de elementos que trabajan a flexo-compresión	27
15	Sistema de escaleras simplemente apoyadas a diseñar	58
16	Esquema de aplicación de cargas gravitacionales	59
17	Descomposición de cargas y su aplicación	60
18	Procedimientos constructivos en escaleras con apoyos longitudinales	64

19 Modelo matemático del sistema de escaleras con apoyos simples	67
20 Diagrama de corte y de momento de escaleras con apoyos simples	70
21 Esquema de armado y secciones de escaleras de un tramo	74
22 Modelo de análisis a emplear para sistema orto-poligonal	78
23 Esquema de sistema ortopoligonal a diseñar	79
24 Diagrama de momento flexionante para sistema ortopoligonal de escaleras	80
25 Esquema de armado de escaleras ortopoligonales	83
26 Sistemas de apoyo y obtención de momentos flexionantes	85
27 Sistema de escaleras empotradas transversalmente a diseñar	86
28 Diagrama de momento flexionante transversal en tramo de escaleras	88
29 Suposición de diseño para empotramiento transversal	88
30 Viga rectangular que constituye el escalón del sistema de escaleras	89
31 Esquema de armado de escaleras apoyadas transversalmente	91
32 Sistema de escaleras helicoidales	94
33 Características físicas del muro tipo barandal a emplear en cada escalón	96
34 Disposición de cargas en sistema de escaleras en voladizo	97
35 Esquema de armado de escalones de sistema helicoidal	100
36 Diagrama de flujo de hoja electrónica para modelación y análisis	103
37 Menú de ingreso de datos de sistema	104
38 Datos generados mediante el ingreso de datos del menú de la figura 37	105
39 Menú de estimaciones de cargas	106
40 Menú de resultados	107

TABLAS

I Calificación y preparación de los obreros de la construcción	29
II Cargas vivas para estructuras comunes	32
III Combinaciones de cargas usualmente empleadas	36
IV Publicaciones del código Uniform Building Code a lo largo de la historia	38
V Factor de zona sísmica a aplicar en ecuación de código UBC1985	41
VI Factor de importancia de estructuras, de acuerdo con código UBC 1985	43
VII Factor de rigidez de estructuras, de acuerdo con código UBC 1985	45
VIII Clasificación de la fuente sísmica, de acuerdo con código UBC 1997	50
IX Clasificación de zona sísmica de acuerdo con código UBC 1997	50
X Clasificación de tipo de suelos, de acuerdo con código UBC 1997	51
XI Coeficiente sísmico “Cv”, de acuerdo con código UBC 1997	51
XII Coeficiente de proximidad de falla “Nv”, de acuerdo con código UBC 1997	52
XIII Factor de importancia, de acuerdo con código UBC 1997	52
XIV Datos a emplear en el diseño del sistema de escaleras ortopoligonal	79
XV Datos físicos y mecánicos a emplear en el diseño del sistema	86
XVI Datos a emplear en diseño de sistema helicoidal	94

GLOSARIO

ACI318S	<i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano de Concreto), 318 es el número del comité encargado, y “S” se refiere al idioma español (<i>Spanish</i>)
Carga gravitacional	Es el conjunto de fuerzas que actúan sobre una estructura como consecuencia de la fuerza gravitacional que es ejercida sobre los elementos que las provocan.
Carga muerta	Son aquellas cargas actuantes en la estructuras inducidas por el peso propio de la misma.
Carga sísmica	Es la carga lateral aplicada a una estructura como consecuencia de la actividad sísmica de una región.
Carga viva	Es aquella carga que se presenta como consecuencia de la ocupación de una estructura.
Contrahuella	Es el nombre que se le asigna a la componente vertical de un escalón.

Cuantía	Es la relación que existe entre el área gruesa de un elemento y el área de acero.
Escalón	Un escalón se define como una superficie de diferente nivel que permite ascender distancias de diferente altura.
Huella	Es el nombre asignado a la componente horizontal de un escalón.
UBC	<i>Uniform Building Code.</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

As	Área de acero
β	Factor que está en función del tipo de apoyo
b	Base de la franja unitaria
C	Factor de dinámica de la estructura
Cv	Coeficiente sísmico
Ct	Factor dinámico de la estructura
D	medida de la arista horizontal menor de la edificación
d	Peralte de la franja de losa
F'c	Resistencia nominal a la compresión
Ft	Fuerza que se adiciona al valor de Fx
Fx	Fuerza inducida por el corte basal
Fy	Fluencia del acero
hn	Altura total de la edificación
I	Factor de importancia
K	Factor de rigidez
L	Longitud proyectada del tramo
L'	Longitud inclinada del tramo
Mu	Momento flector máximo
M	Momento flector inducido en el tramo
N	Número de pisos de la edificación
P	Cuantía para momento flector máximo
R	Factor de reducción de respuesta
S	Factor de interacción suelo-estructura
t	Periodo fundamental de la vibración
ts	Periodo fundamental de la vibración del suelo
V	Corte basal

- W Peso de la estructura
- Wu Carga aplicada sobre el piso
- Wu' Componente de carga aplicada sobre la longitud inclinada del tramo
- Wxhx Producto del peso estimado del nivel por su altura
- ∅ Factor para estructuras a flexión

RESUMEN

Existe escasa información disponible acerca del diseño y análisis de los sistemas de escaleras de concreto armado, sin embargo se debe tener muy claro que estos sistemas juegan un papel muy importante dentro de una edificación no solamente por permitirle a un usuario trasladarse de un punto a otro con una cota de nivel diferente, sino que además los sistemas de escaleras pueden ser considerados sistemas de seguridad, ya que serán estos los que deberán brindar un servicio de evacuación al momento de una catástrofe. Por otra parte, un sistema de escaleras diseñado y ejecutado de forma correcta puede ser considerado un elemento que le brinde rigidez y estabilidad a la estructura de una edificación.

En la República de Guatemala un gran porcentaje de edificaciones cuentan con sistemas de escaleras, sin embargo se puede apreciar que existe una gran deficiencia tanto en el análisis y diseño como en la ejecución de los mismos, lo cual se debe a la falta de información que existe sobre estos sistemas. Ante esta falta de información se puede apreciar la necesidad de elaborar un compendio de criterios y normas que permitan analizar, diseñar y ejecutar sistemas de escaleras eficientes que puedan suplir las demandas impuestas.

Comúnmente, en las edificaciones se aprecian sistemas de escaleras basados en un mismo diseño y acomodado a las dimensiones de determinada área sin tomar en cuenta las repercusiones que generan dentro del sistema el acomodar un diseño calculado para un caso específico a otro para el que no fue diseñado. Además se tiene por costumbre emplear una misma configuración de escaleras

basadas en una losa maciza simplemente apoyada en sus extremos y con escalones que en la mayoría de los casos se encuentran mal distribuidos tanto en sus dimensiones como en su posición; por lo que este trabajo de graduación brinda una serie de configuraciones estructurales de escaleras con sus respectivos métodos de análisis y diseño que permitirán poner en práctica la palabra raíz de la cual se deriva ingeniería, “ingenio”.

Los sistemas de cómputo en la actualidad juegan un papel muy importante en todas las áreas de la vida diaria, la ingeniería no es la excepción ya que existen paquetes que permiten realizar de manera muy veloz análisis que siguiendo los procedimientos manuales tomarían más tiempo. Sin embargo para la utilización de uno de estos paquetes es fundamental conocer los procedimientos manuales de cálculo, por lo que se presenta varios métodos de análisis estructural específico para este tipo de sistemas incluyendo una modificación del conocido método de Cross para análisis aproximados de estructura y una hoja electrónica que permite modelar físicamente un sistema de escaleras y a su vez crear una estimación de cargas inducidas por la modelación obtenida, de esta hoja electrónica se brinda un diagrama de flujo y un manual de usuario para ejecutarlo y emplearlo en futuros proyectos.

OBJETIVOS

- **GENERAL:**

Realizar un compendio de metodologías de análisis estructural, criterios y requisito mínimos de diseño, basados en códigos constructivos que rigen los sistemas constituidos por concreto armado, parámetros, tanto teóricos como prácticos para la ejecución de estructuras. Todo esto orientado hacia sistemas de escaleras de concreto armado y sus diversas configuraciones estructurales.

- **ESPECÍFICOS:**

1. Hacer conciencia a los profesionales del ámbito de la ingeniería civil, sobre la poca importancia que se le ha dado a los sistemas de escaleras y la gran repercusión que estos pueden llegar a tener en la estabilidad de una edificación.
2. Proporcionar bibliografía confiable sobre el análisis, diseño y ejecución de sistemas de escaleras.
3. Dar a conocer la diversidad de configuraciones estructurales que existen alrededor de los sistemas de escaleras de concreto armado.
4. Dar a conocer la importancia que tiene un buen análisis, diseño y ejecución de un sistema de escaleras en un país altamente sísmico como Guatemala.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de escaleras son estructuras muy importantes dentro de la configuración de una edificación, ya que a la vista de cualquier usuario se pueden definir como la estructura que le permite a un individuo trasladarse de un punto a otro de la edificación, dichos puntos con la característica de encontrarse en diferentes cotas de nivel medidas, a partir de un punto común. En muchos de los casos que actualmente pueden observarse en nuestro país, el edificador ha pensado de esta manera tan simple y ha perdido de vista la gran importancia que estos sistemas juegan en la vida de una edificación.

Son muchos los casos en los cuales se ha podido observar como gran cantidad de personas pierden la vida en catástrofes, provocadas por las inclemencias de la naturaleza y en muchas ocasiones se ha debido a la mala ejecución de obras civiles. Los sistemas de escaleras no es la excepción. Ya que incluso se puede escuchar entre los ciudadanos de una metrópoli el hacer mención de una frase tan común como: “cuando ocurre un terremoto lo primero en caer son las escaleras” esta frase ha cobrado un gran impacto, debido a que se ha dejado estos trabajos primero en manos de personas que no tiene la facultad de llevarlos a cabo y, segundo. Las personas facultadas para hacerlo cuenta con muy poca información.

Luego de conocer el papel tan importante que juega un sistema de escaleras en una edificación y cómo este se puede convertir en un sistema de seguridad y evacuación, así como comprobar que se carece de bibliografía confiable acerca de estos temas. Se pretende proporcionar la información necesaria para que todo aquel interesado en éste, tenga las herramientas necesarias para poder

implementar sistemas eficaces. Para ello se inició un proceso investigativo en el cual se pretendía recopilar toda la información necesaria para ampliar el conocimiento acerca de los tipos de sistemas de escaleras existentes.

¿Cuáles son los más comúnmente empleados?, ¿cuál es la razón por la cual se emplean más comúnmente, sus ventajas y desventajas?, ¿qué cargas se deben tomar en cuenta dentro del análisis de una estructura de este tipo?, ¿qué influencia tienen las cargas sísmicas en una estructura como esta?, ¿en qué forma afecta o colabora con la estructura un miembro como este?, ¿qué soluciones darle a una estructura que afecta el trabajo en conjunto de un sistema?, estas son algunas las interrogantes a la cuales se les da respuesta en este trabajo de graduación, todo ello con el fin de proporcionar herramientas a los estudiosos de la materia.

1 SISTEMAS DE ESCALERA

1.1 Definición de sistemas de escaleras

Un sistema de escaleras se puede definir como un parte integral de una estructura que conecta un punto con otro ubicado dentro de la misma estructura pero con diferentes cotas de nivel, medidas que se dan a partir de un punto común.

La tipología estructural de las escaleras es muy variada sin embargo las escaleras más comúnmente empleadas son aquellas que su configuración estructural está basada en losas o placas de concreto armado apoyadas en sus extremos y escalonadas de tal forma que sea fácil la movilización a través de ellas. (Véase capítulo dos)

2 CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE ESCALERAS

2.1 Clasificaciones de sistemas de escaleras

Los factores por medio de los cuales se clasifica un sistema de escaleras pueden ser factores físicos, estructurales y relacionados con el tipo de uso que tiene el sistema dentro de una edificación, sin embargo a continuación se detallan los más importantes.

2.1.1 Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo con el sistema de apoyos lo sustentan

Los sistemas de escaleras pueden clasificarse en tres grupos de acuerdo con el sistema de apoyos en el cual se sustenta su estructura y le permiten poseer estabilidad. Estos grupos se detallan a continuación.

2.1.1.1 Escaleras simplemente apoyadas

Los sistemas de escaleras simplemente apoyadas son las más comúnmente utilizadas dentro de los edificios, estos sistemas se caracterizan por tener una corta longitud la cual puede variar de 3.00m a 4.00m, los apoyos pueden estar constituidos por sistemas de vigas ya sea terminales o de apoyo intermedio.

En caso que el sistema posea sistemas de apoyo de vigas intermedias, las luces de las placas que componen las escaleras pueden alargarse y variar entre 4.00m a 6.00m siempre y cuando el sistema posea vigas terminales en ambos

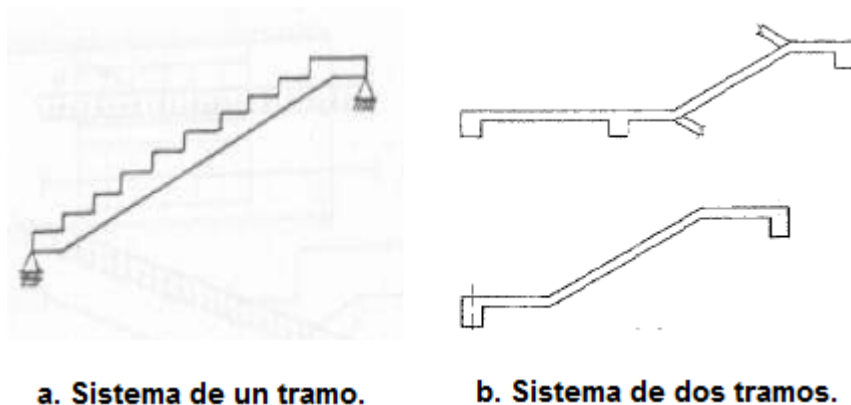
extremos y la viga intermedia sea diseñada con la capacidad estructural para resistir los esfuerzos torsionantes que el sistema le induzca.

El sistema de apoyos simples puede darse en un sistema de escaleras, tanto en el sentido longitudinal como en el sentido transversal. Esto indica que el apoyo simple puede darse en los extremos de la placa de concreto armado o bien en los extremos del escalón.

2.1.1.1.1 Sistemas de escaleras apoyadas longitudinalmente

En el caso de un sistema de escaleras apoyado longitudinalmente, se puede decir que son sistemas de losas o placas apoyados en sus extremos y que llevan en el sentido del eje de la escalera y del escalón el acero de refuerzo principal, este grupo se puede dividir a su vez en sistemas de escaleras simplemente apoyadas de un tramo y sistemas de escaleras simplemente apoyadas de dos o más tramos que como su nombre lo indica, varía el número de placas y apoyos que conforma el sistema, sin embargo su metodología de diseño es la misma.

Figura 1. **Sistemas de escaleras simplemente apoyadas de uno y más tramos**



Fuente: Fernández Chea / **Análisis y diseño de escaleras. Página 15**

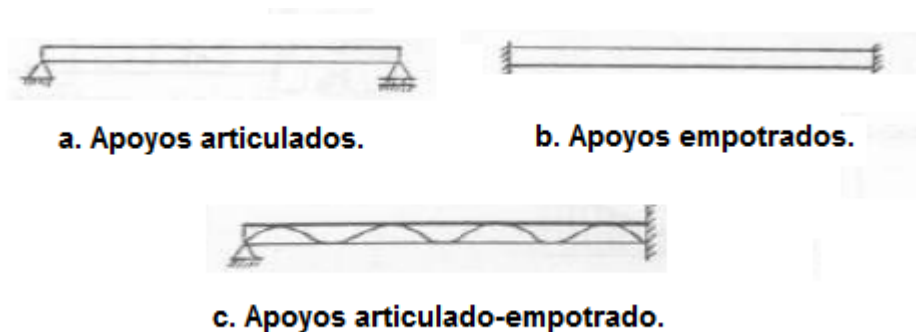
2.1.1.1.2 Sistemas de escaleras apoyadas transversalmente

En el caso especial de un sistema de escaleras apoyadas transversalmente se trata de un sistema que apoya los escalones en sus extremos, generando de esta forma escalones autoportantes con acero de refuerzo principal en el eje del escalón, este sistema de escaleras se sub divide en tres grupos de acuerdo a la configuración de sus apoyos.

2.1.1.1.2.1 Sistema de apoyos transversales

De acuerdo con la configuración que posea sus sistemas de apoyos se puede clasificar a los sistemas de escaleras de la siguientes formas: apoyos articulados en ambos extremos, apoyos empotrados en ambos extremos y apoyos combinados, es decir un extremo articulado y el otro extremo empotrado en una estructura altamente rígida.

Figura 2. **Sistemas de escaleras simplemente apoyadas de uno y más tramos**



Fuente: Fernández Chea / **Análisis y diseño de escaleras. Página 17**

2.1.2 Clasificación de sistemas de escaleras según su importancia dentro de la edificación

Los sistemas de escaleras pueden clasificarse de acuerdo con la importancia que poseen dentro de una edificación, ya que, basado en las funciones que tenga un sistema en una estructura, así deberá ser analizada, diseñada y edificada. Los principales sistemas de escaleras empleados en una edificación se detallan a continuación.

2.1.2.1 Sistemas de escaleras de uso diario

Debido a que la función primordial de un sistema de escaleras es el movilizar usuarios de una edificación de un punto a otro, es por ello que estos sistemas se instalan en las edificaciones como sistemas de seguridad y evacuación, es decir que son estos los sistemas empleados para evacuar a los usuarios de una edificación al momento de presentarse una catástrofe, con base en esto se puede ver la necesidad que existe de crear sistemas eficientes de evacuación, es decir que los sistemas que se utilicen, en este caso las escaleras, tengan la capacidad de resistir la combinación crítica de cargas que en un momento dado pueda inducirsele.

2.1.2.2 Sistemas de escaleras de uso cotidiano

Las escaleras de uso cotidiano son aquellas que dentro de una edificación se les mantiene el acceso abierto en cualquier momento de la vida de la estructura, son estas a las que se les demanda diariamente una respuesta antes los esfuerzos inducidos por cargas gravitacionales de ocupación de una estructura.

Las cargas que normalmente actúan sobre una estructura de este tipo son de origen gravitacional y sísmico de acuerdo con el área en la que se edifique. Para el caso de la República de Guatemala, se debe tomar en cuenta que se situá en una zona clasificada como altamente sísmica, por lo que el diseñador de este tipo de sistemas debe tener el cuidado necesario de considerar las cargas convenientes y que este tipo de graderías se realice considerando el caso de una catástrofe en la cual este sistema se utilizaría como sistema de evacuación y se convertiría en sistema de emergencia.

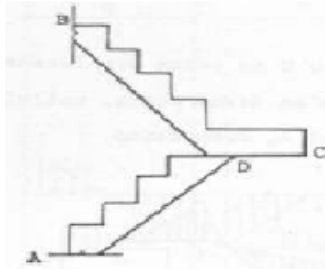
2.1.3 Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo con su configuración estructural

Cuando se habla de configuración estructural se está hablando acerca de las características estructurales que posee un sistema, es decir se detalla el sistema de apoyos que este posee tanto longitudinalmente como transversalmente, el tipo de estructural que conforma el sistema, es decir escalones en voladizo, losas o placas de concreto armado etc.

2.1.3.1 Sistema de escaleras auto-portantes

Se denomina sistema de escaleras auto-portante a aquel sistema que se conforma por dos tramos de losas de concreto escalonadas y colocadas en sentido contrario una respecto de la otra con un descanso entre ambos tramos, respecto de las losas podemos decir que ambas se encuentra empotradas a elementos rígidos en sus extremos sin embargo el punto común de unión es una losa dispuesta horizontalmente denominada descanso en la cual se concentran esfuerzo torsionantes que son transmitidos a las losas escalonadas y estas a su vez lo transmiten a los elementos terminales tal y como se aprecia en la figura 3.

Figura 3. **Sistemas de escaleras de dos tramos, apoyada en sus extremos con transmisión de esfuerzos torsionantes en su losa de conexión más comúnmente denominado sistema auto-portante de escaleras**



Sistema de escaleras auto-portantes con un descanso.

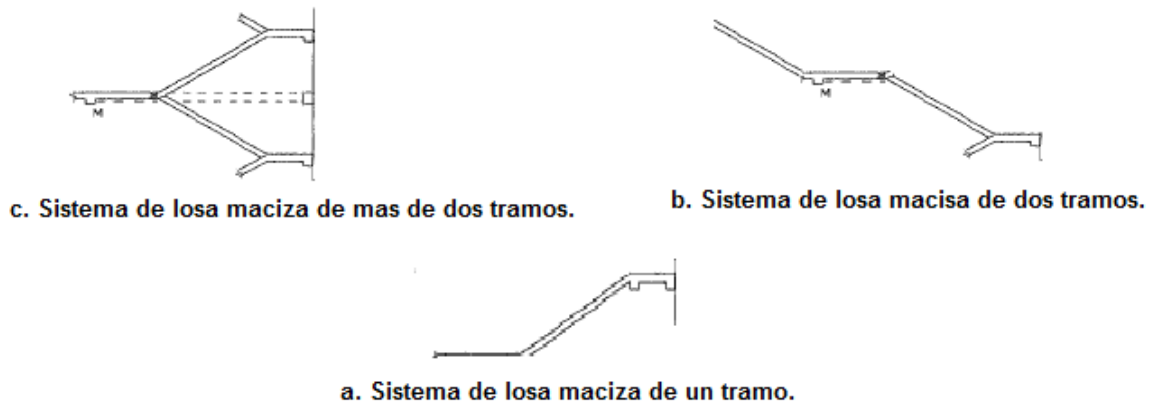
Fuente: José Calavera / **Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón. Página 264**

2.1.3.2 Sistemas de escaleras de losa maciza

Los sistemas de losa maciza son los sistemas de escaleras más comúnmente empleados, ya que su análisis como su diseño no constituyen un procedimiento que represente mayor dificultad, este tipo de sistemas se compone de placas o losas de concreto armado las cuales se apoyan en sus extremos en diversos elementos estructurales que se les transmite las cargas colectadas por el sistema de diafragmas compuestos por las losas que integran el sistema de escaleras.

Este tipo de sistemas se sub divide de acuerdo con el número de tramos o losas que lo componen, se puede clasificar este sistema en: sistema de escaleras de un solo tramos, sistema de escaleras de dos tramos de losa con un descanso y sistema de escaleras de tres tramos con dos descansos.

Figura 4. **Sistemas de escaleras de dos tramos, apoyada en sus extremos con transmisión de esfuerzos torsionantes en su losa de conexión más comúnmente denominado sistema auto-portante de escaleras**



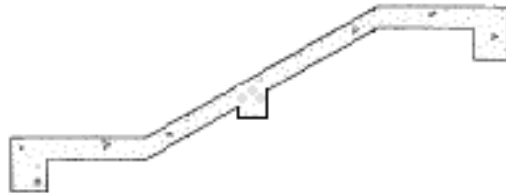
Fuente: José Calavera / **Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón. Página 273**

2.1.3.3 Sistemas de escaleras con apoyos intermedios

Se le denomina sistema de escaleras con apoyos intermedios a aquel sistema cuya característica fundamental es que posee más de dos tramos de losa dispuestos en la misma dirección y que no poseen descansos intermedios sino que su estructura se apoya más comúnmente en sistemas de vigas intermedias.

Este tipo de sistema se considera un caso especial de las escaleras simplemente apoyadas de un tramo ya que este tipo de escaleras se modelan con mediante placas de concreto de largos que varían entre 3.00 m y 4.00 m, sin embargo el sistema de apoyos intermedios permite prolongar la longitud de un tramo sin que este exceda los 6.00 m con la condicionante que exista un apoyo intermedio que tenga la capacidad de absorber los esfuerzo torsionantes que se le induciría a un descanso.

Figura 5. **Sistemas de escaleras con elementos de apoyo intermedio**



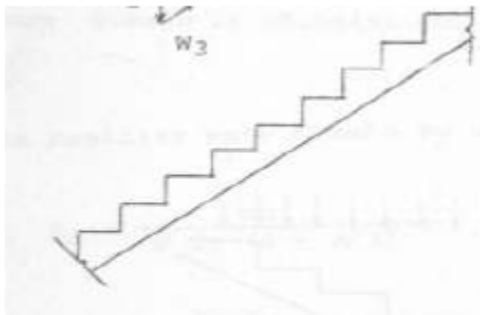
Sistema de escaleras con apoyo intermedio.

Fuente: José Calavera / **Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón. Página 274**

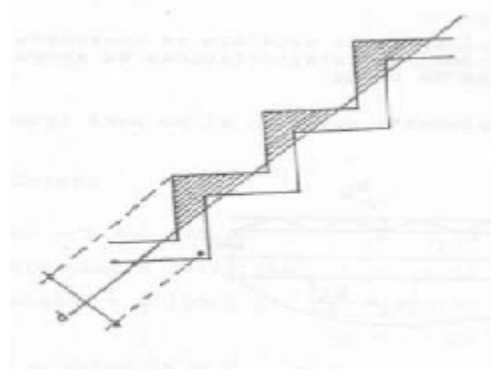
2.1.3.4 Sistema de escaleras ortopoligonales

Comúnmente se puede apreciar en cualquier edificación que los sistemas de escaleras están compuestos por losas que a su vez se les agregan escalones y dan origen a un medio por el cual un usuario de una edificación puede desplazarse de un punto a otro de un edificio, sin embargo el sistema de escaleras denominado sistema ortopoligonal se considera un caso especial de los sistemas de escaleras, ya que este no se compone de una losa plana la cual se le agregan escalones sino que en este tipo de sistemas la losa es la que presenta la forma de escalón. Este tipo de sistemas no son muy comúnmente empleados ya que se consideran de un grado de dificultad alto para su ejecución, además de representar dificultades para su análisis y diseño ya que siendo un caso especial se requieren de métodos de análisis y diseño especiales para su cálculo.

Figura 6. **Sistemas de escaleras ortopoligonales**



a. Sistema de escaleras tradicional.



b. Sistema de escaleras ortopoligonales.

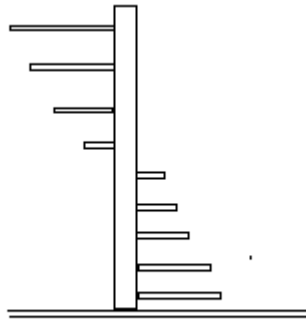
Fuente: Fernández Chea / **Análisis y diseño de escaleras. Página 17**

2.1.3.5 Sistema de escaleras helicoidales

Se le denomina sistema de escaleras helicoidales al sistema que emplea como punto de apoyo un elemento de concreto armado diseñado para resistir esfuerzos de flexo compresión, este se considera un caso especial de los sistemas de escaleras con escalones en voladizo empotrados transversalmente, ya que la filosofía de funcionamiento se basa en escalones empotrados en una columna central la cual le sirve no solo como sistema de empotramiento sino que a su vez le brinda estabilidad al sistema como tal.

Este tipo de sistemas se emplea en edificaciones en las cuales no se cuenta con áreas amplias para la construcción de sistemas constituidos por losas, este sistema se considera como uno de los más adecuados para situaciones en las que no se cuenta con áreas amplias en los ambientes ya que por su tamaño compacto y realizando un correcto análisis y diseño de la estructura nos brindará un servicio calidad.

Figura 7. **Sistemas de escaleras helicoidales**



Sistema helicoidal de escaleras.

Fuente: Fernández Chea / **Análisis y diseño de escaleras. Página 19**

2.1.4 Clasificación de sistemas de escaleras de acuerdo con los materiales que los componen

Son muy variados los materiales que se emplean para la construcción de sistemas de escaleras, estos van desde sistemas de escaleras de madera, sistemas de escaleras de acero estructural y sistemas de concreto armado, en estas últimas se centrará el presente trabajo de graduación.

2.1.4.1 Concreto

Es la mezcla de varios elementos mediante la cual se obtiene como resultado un elemento muy cercano a una roca artificial, los materiales que en el concreto se involucran son gravas, cemento, arena y agua. Las gravas y las arenas constituyen el cuerpo del concreto y el agua y el cemento son componentes que químicamente reaccionan creando un efecto de aglomeración de todos los demás materiales participante en esta mezcla y creando de esta forma una masa sólida.

Esta mezcla se vierte en formaletas que tiene como fin moldear la masa formada con la mezcla descrita en el párrafo anterior, el agua que se debe emplear en un concreto no es únicamente la necesaria para que el cemento reaccione químicamente sino que debe aplicársele una dosificación correcta para que la relación entre agua y cemento sea la correcta tanto para que el concreto alcance su capacidad compresiva como para que la mezcla sea trabajable y al ser vertida en las formaletas tenga la capacidad de adaptarse a su forma y poder rodear el acero que se encontrara embebido en este tipo de estructuras, en el caso de los sistemas de escaleras se puede afirmar que constituyen los sistemas más eficientes pues tanto el acero como el concreto trabajan muy bien en conjunto.

2.1.4.2 Acero de refuerzo

Debido a que el concreto aunque presenta grandes capacidades de resistencia compresiva se ha determinado que sus características mecánicas no son iguales ante esfuerzos de tensión, además que debido a su gran rigidez este material se considera altamente frágil, estas características son las que limitan el empleo del concreto en todo tipo de estructuras. En el caso de los sistemas de escaleras se ha determinado que son sistemas a los cuales se les inducen esfuerzos flexionantes que incurren en una combinación de esfuerzos compresivos y tensionantes en sus fibras internas, es por ello que se emplean el acero de refuerzo ya que este es un material dúctil que tiene gran capacidad de resistir esfuerzos tensionantes y en combinación con el concreto permiten a los elementos estructurales ser empleados en sitios en los que la capacidad portante del elemento se expone al máximo. Usualmente el acero de refuerzo se presenta en los sistemas de escaleras mediante barras circulares corrugadas que se colocan previo al vaciado del concreto.

3. DEFICIENCIA DE SISTEMAS DE ESCALERAS EXISTENTES EN DIVERSAS EDIFICACIONES

3.1. Deficiencia en el análisis, diseño y ejecución de sistemas de escaleras

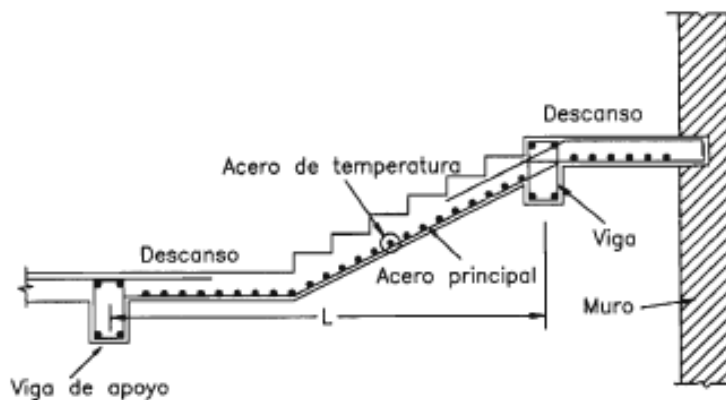
Existe una gran cantidad de obra de ingeniería construidas en diversas partes del país, sin lugar a duda el factor común que se puede encontrar en cada una de estas obras será un sistema de escaleras, lamentablemente se puede encontrar en muchas edificaciones sistemas de escaleras totalmente deficientes, se pueden localizar desde las fallas más comunes como: las modulaciones de cada uno de los escalones, variaciones en contra huellas, inclinaciones superiores a lo recomendado por circunstancias de seguridad, hasta lo más inesperado que son fallas en los anclajes de los sistemas de escaleras, es decir sistemas con los apoyos fallados por cortantes, losas del sistema falladas por flexión y cortante diagonal, descansos fallados por esfuerzos de torsión, etc.

Con este trabajo de graduación se podrá evidenciar la deficiencia que poseen los sistemas actualmente utilizados, tanto en análisis como en diseño estructural específicamente hablando de sistemas de escaleras, además se busca mostrar algunos sistemas en los que se podrá apreciar las formas correctas de la aplicación del conocimiento. Sin embargo hay otros factores que también se debe tomar en cuenta al momento de ejecutar un sistema de escaleras. Uno de esto factores importantes es sin lugar a duda la mano de obra, se debe contar con personal capacitado para llevar a cabo este tipo de obras que constituyen elementos estructurales de alta importancia en las edificaciones. El tema de la mano de obra calificada será tratado en la sección 3.2.

3.1.1. Teoría de fallas en los anclajes de la estructura de un sistema de escaleras

Cuando se habla de fallas en los anclajes se refiere básicamente a características físicas que presentan los sistemas de apoyo terminal o intermedio por medio de las cuales puede apreciarse que los elementos en los que un sistema de escaleras se sustenta o se empotra no tuvo la capacidad de resistir los esfuerzos colectados por el sistema de escaleras e inducidos a los apoyos. Cuando se habla de características físicas que evidencia la falla se debe mencionar que se refiere a fisuras y posteriormente agrietamiento.

Figura 8. Sistema de escaleras apoyadas en vigas terminales



a. Sistema de escaleras con vigas de apoyo terminal.

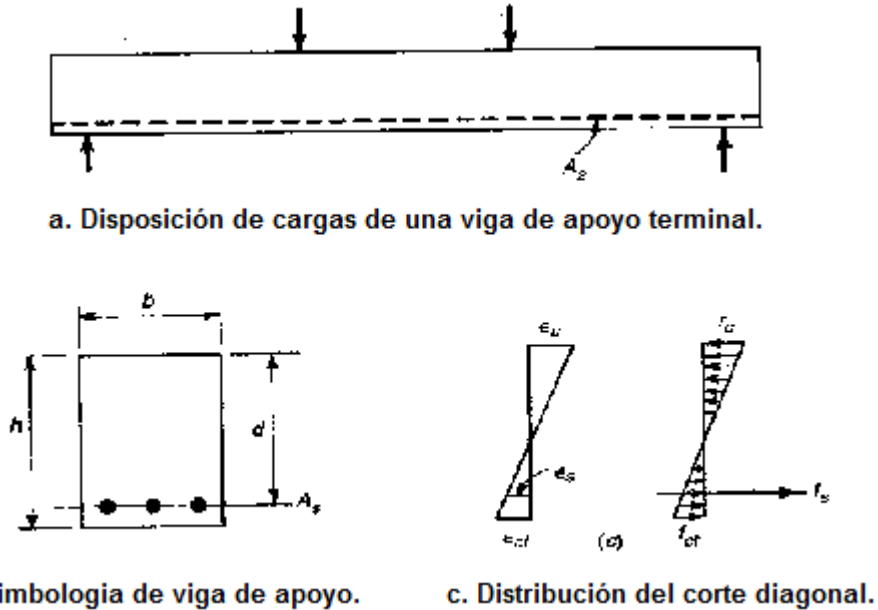
Fuente: A. Harmsenn / **Diseño de estructura de concreto. Página 275**

En el caso de sistemas de vigas de apoyo ya sea intermedio o de apoyo terminal se puede decir que las fallas pueden ser muy variadas, estas pueden presentar fallas como cualquier otra viga que trabaja a flexión, se sabe que una viga puede presentar fallas por corte diagonal más comúnmente conocida como falla por tensión diagonal o falla por flexión y fallas al cortante directo.

Para comprender estos términos se debe saber que el corte se define como el esfuerzo inducido a un elemento estructural por cargas o componentes de cargas aplicadas a un elemento mediante la fórmula $F = f * \text{Sen}\Theta$, donde “f” será la fuerza aplicada y “ Θ ” será el ángulo entre la fuerza aplicada y el elemento. Esta es la definición más simple de cortante, sin embargo en el estudio del concreto armado este concepto va mas allá de esta simple explicación ya que el cortante en función de las coordenadas de aplicación en un cuerpo produce a su vez momentos flectores y es en estos dos conceptos se basa la filosofía del diseño de estructural de una viga de apoyo, en el caso de las fallas en los anclajes, cuando el anclaje de un sistema de escaleras es llevado a cabo en una viga, la falla más común podría ser inducida por cortantes aplicados de forma directa o resultado de la tensión diagonal, es decir que las fuerzas aplicadas podrían inducir un cortante diagonal en la fibra extrema en tensión de una viga y producir una fisuración en la zona donde los esfuerzos tensionales son máximos. Este tipo de falla se le conoce como falla por corte diagonal o por flexión.

En el caso de una falla por flexión se sabe que este tipo de fallas se origina cuando los momento flectores superan la capacidad del elemento, este tipo de fallas se presentan de forma progresiva. En el caso de una falla inducida por esfuerzos de flexión pura de un elemento de apoyo terminal se puede decir que se presenta cuando en la línea de esfuerzos diagonales en la fibra extrema en tensión supera la capacidad resistiva del acero trabajando como unidad individual a tensión y se presenta un alargamiento que el concreto no es capaz de resistir y falla mostrando fisuración quedando como unidad de trabajo el acero. Estas fallas son las que comúnmente se podría visualizar en vigas o cimiento de apoyo terminal sin dejar de mencionar las fallas por cortante directo originadas debido a la poca capacidad de deformación que posee un concreto no confinado, para evitar estas fallas los códigos recomiendan confinar las áreas mas susceptibles a la falla por corte directo, dichas áreas son los tercios extremos de las vigas.

Figura 9. Filosofía del comportamiento de una viga trabajando a flexión



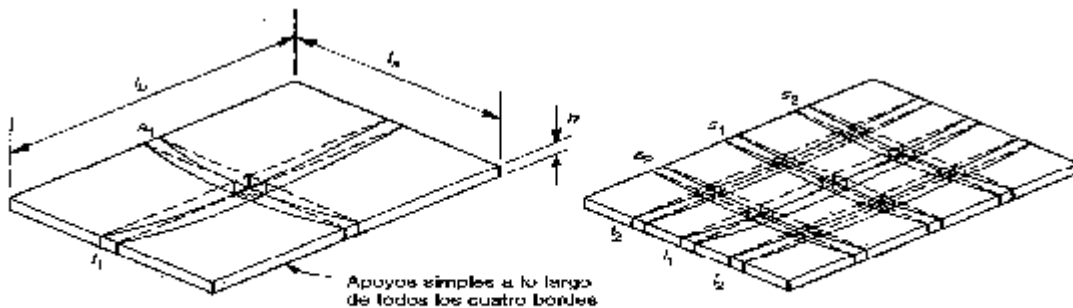
Fuente: Arthur Nilson / **Diseño de estructura de concreto armado. Página 42**

Cuando los elementos de apoyo terminal son losas la falla más común es inducida por contante en el área del empotramiento la filosofía del comportamiento de una falla por corte en una losa redundaría básicamente en los criterios que se manejaron en el caso de una viga ya que estos dos elementos trabajan principalmente a flexión. Pero existen otros factores que podrían originar agrietamiento inducidos al corte y entre ellos se puede mencionar un a factor que es muy común en las edificaciones y es cuando se construyen losas que no tiene el espesor adecuado para las cargas que se le inducirán, esta deficiencia genera el agrietamiento y expone en gran manera la integridad de las estructuras y por ende de los usuarios de las mismas.

Se debe recordar que el código ACI define el concepto de losa como un sistema colector de cargas que se encarga de transmitir esfuerzos a los elementos

de estabilidad lateral (vigas y columnas), por lo que se puede comprender que las cargas que un sistema de escaleras pueda inducirle a una losa va directamente a recaer sobre el sistemas de vigas de apoyo de la losa, sin embargo los cortantes son aplicados directamente sobre la misma.

Figura 10. **Filosofía del comportamiento de una losa**



Distribución de cargas por medio de diafragmas horizontales.

Fuente: Arthur Nilson / **Diseño de estructura de concreto armado. Página 313**

En el caso de las fallas por corte se sabe que se originan debido a la deformación del concreto por esfuerzos tensionantes o por esfuerzos compresivos que superan la capacidad compresiva del concreto, el concreto no teniendo una alta capacidad de deformación cede ante los esfuerzos inducidos por el cortante aplicado y se manifiesta por medio de la fisuración y posteriormente el agrietamiento. Una falla por corte puede presentarse en algunos casos de manera súbita creando de esta forma un grande peligro por el contrario una falla por flexión se manifiesta con un agrietamiento del concreto, una fluencia gradual del acero y grandes deflexiones que permiten actuar de forma preventiva y hacer las correcciones convenientes. Es en este punto donde aparece el concepto del refuerzo transversal de un elemento ya que será esta el que permitirá que el concreto tenga cierta deformación sin llegar a fallar. Es importante saber cómo y dónde debe tenerse más en cuenta el refuerzo transversal, para evitar ello se

recomienda seguir los lineamientos de diseño sugeridos por los códigos constructivos aplicables al país donde se lleven a cabo las construcciones.

En el caso de Guatemala que no cuenta con un código reconocido legalmente que legisle la construcción se hace la recomendación muy personal del autor de regirse de acuerdo con el código ACI318 específicamente en el capítulo 21 en el cual todos los requerimientos están basados para la construcción de estructuras de concreto armado en una zona altamente sísmica como la ciudad de Guatemala. El código antes citado, recomienda referente a vigas, ponerle mucha atención a las áreas cercanas a los nudos en toda conexión con otro elemento y confinar con estribos extras una distancia igual a dos veces la altura del elemento tomado a partir de la cara del mismo y colocar el primer estribo a una distancia máxima de 0.05 m a partir del nudo. En el caso de un anclaje de viga-escalera se recomienda confinar toda la zona del anclaje y además una distancia de no menos de 0.15 m a partir de haber finalizado el anclaje del sistema de escaleras con la viga apoyo terminal o intermedio, en el caso contrario de la losa no lleva refuerzo por corte únicamente se recomienda utilizar para su diseño las cargas correctas y las consideraciones de la sección 13.3 ACI318S.

Figura 11. Diagrama de corte y momento flector general de una viga de apoyo

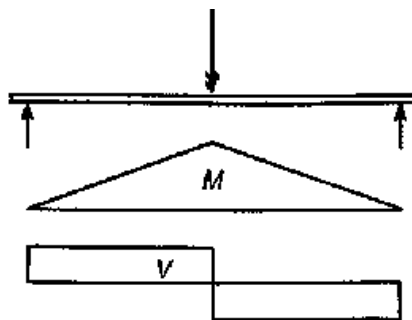
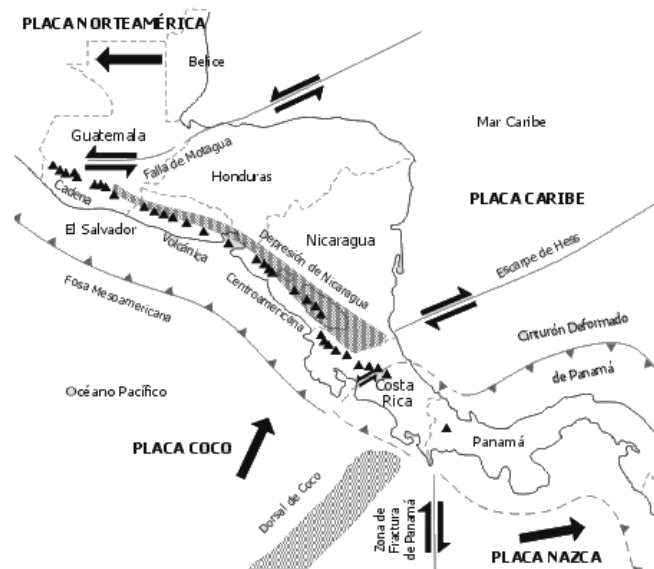


Diagrama general de corte y momento de una viga de apoyo intermedio o terminal.

3.1.2 Teoría de fallas en la estructura de un sistema de escaleras inducidas por sismo

La principal carga en la República de Guatemala que pone a prueba las edificaciones es sin lugar a duda la fuerza sísmica, los eventos sísmicos tienen varias fuentes por las cuales se generan, se puede mencionar que las causas principales son las placas que convergen dentro del territorio nacional entre las cuales se encuentran las que provocaron el terremoto de 1976, otra causa no menos importante es la zona de subducción que se encuentra en la costas del pacifico de Guatemala en la cual una falla de mayor densidad y peso volumétrico se desplaza introduciéndose bajo una falla de menor densidad y peso volumétrico cuyo desplazamiento produce vibración debido a la fricción entre ellas y por último la cantidad de volcanes activos con los que se cuenta a lo largo del territorio nacional, estos tres factores hacen que Guatemala se constituya una zona altamente sísmica.

Figura 12. Mapa de Centro América mostrando la convergencia de placas tectónicas en la zona



Fuente: INSIVUMHE.

Se define de forma general un sismo como aquel evento físico causado por la liberación repentina de energía debido principalmente a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre, la energía liberada es irradiada en todas direcciones en forma de ondas elásticas u ondas sísmicas las cuales son percibidas en la superficie como vibraciones del terreno, puede mencionarse que los eventos sísmicos pueden clasificarse de acuerdo a su profundidad de ocurrencia, es decir a lo que comúnmente se le conoce como hipocentro o foco y puede clasificarse también por su origen refiriéndose a lo que comúnmente se le conoce como epicentro que habla del lugar superficial de la ocurrencia de un evento de esta naturaleza.

Existen dos escalas que permiten medir este tipo de eventos sísmicos, la escala de Mercalli y la escala de Richter, una mide la intensidad del sismo por medio de la apreciación de los daños que pudieran haber causado las ondas sísmicas y la otra mide la magnitud de la energía liberada en el evento, en el caso del terremoto que sacudió la República de Guatemala del 4 de febrero de 1,976 cabe mencionar que el epicentro fue en el departamento de Izabal con una medida de 7.5 en la escala de Mercalli. Con esta información se aprecia que este país cuenta ya con la experiencia devastadora de un sismo de alta magnitud, en la cual muchas de las construcciones existentes fueron puestas a prueba y lamentablemente muchas de ellas sucumbieron ante este evento, sin embargo en la actualidad se continúan edificando construcciones que no cumplen ningún estándar de los propuestos por los códigos constructivos.

En una zona como Guatemala los sistemas de escaleras cumplen una función fundamental ya que existen edificaciones en el país de varios niveles de altura, que cuentan con un sistemas de ascensores que desplazan al usuario de un nivel a otro, sin embargo al momento de presentarse un sismo de alta magnitud

serán requeridos los sistemas de escaleras. Por lo que se puede recalcar la importancia que estos tiene en toda edificación por más moderna y sofisticada que esta pueda ser, los sistemas de escaleras de emergencia deben ser capaces de soportar las cargas y esfuerzos que en su momento se le impartirán por lo que su análisis, diseño y ejecución debe considerarse una obra de arte ya que de ellos dependerá gran cantidad de vidas humanas.

El análisis adecuado de un sistema de escaleras de uso general y de emergencia será aquel que contemple todas aquellas cargas que en dado momento pueden llegar a afectar la estructura entre las cuales se menciona la carga muerta que básicamente está compuesta por el peso propio de la estructura, la carga vivía que está compuesta por la carga de ocupación, es decir los usuarios, la carga de impacto ya que todo usuario al hacer uso de un sistema de escaleras impacta su superficie cada vez que se moviliza por un escalón sin dejar de mencionar que al momento de un sismo muchos usuarios descenderán por la escaleras corriendo, y por último la carga sísmica que se aplica lateralmente a las estructuras y puede generar el colapso de las mismas sino se cuenta con un sistema con la capacidad requerida, en este tema de análisis y diseño se profundizará en el capítulo cuatro.

El comportamiento de un sistema de escaleras en el momento de un sismo será variable de acuerdo con su configuración estructural, es decir variará en función de los elementos en los que este apoyado y de los elementos que conformen el cuerpo de su estructura, generalmente en las edificaciones se encuentran sistemas de losa maciza de uno o dos tramos. Cabe mencionar que este tipo de configuraciones actúan ante un evento sísmico siguiendo el comportamiento de un puntal. En este caso se tienen ventajas y desventajas del comportamiento de la estructura, ya que al comportarse como puntal el sistema de

escaleras deja de trabajar a flexión en sus losas y a torsión en su descanso pero empieza a trabajar como una sola unidad en un porcentaje de compresión diagonal, ya que se encontrará apuntalando dos superficies diferentes en sus extremos, esta desventaja se supera analizando el sistema de escaleras y previniendo las posibles fallas que pudieran presentarse, sin embargo al haber salvado este obstáculo se encuentra con una ventaja, un factor que beneficiará la estabilidad de una estructura y que permitirá darle mayor rigidez a una estructura que sea deficiente.

3.1.3 Teoría de fallas de origen arquitectónico

El diseño arquitectónico o modelación de un sistema de escaleras es sin lugar a duda uno de los pasos más importantes en el anteproyecto y en la ejecución de una edificación ya que será este el que le dará un aspecto estético al sistema pero que además hará que el sistema sea cómodo o incomodo de transitar por el usuario. Muy a menudo se pueden ver sistemas de escaleras que arquitectónicamente están mal diseñados o mal ejecutados es muy común ver pendientes mayores a las permisibles por los códigos constructivos de cada país, (para el caso de Guatemala se podrá aplicar el código de la Municipalidad de Guatemala o el recomendado en este trabajo de graduación “El código constructivo de Perú”), huellas y contra huellas de diferentes tamaños en un mismo tramo de escaleras.

Para contar con un sistema de escaleras que satisfaga, tanto la necesidad estructural como la comodidad arquitectónica es importante que exista entre los profesionales de estas dos ramas de la ciencia, una identificación de la necesidad de cada uno, sin embargo para llevar a cabo un sistema de este tipo, es necesario contar con una serie de lineamientos que permitan conocer las formas adecuadas

de cómo diseñar o modelar una estructura de este tipo. Para ello se presenta la figura 13. (Arquitectura de escaleras) en la que se presenta un esquema en el que se nombraran cada una de las partes que componen una estructura de un sistema de escaleras, algunas breves pero certeras definiciones y algunas recomendaciones para diseño arquitectónico.

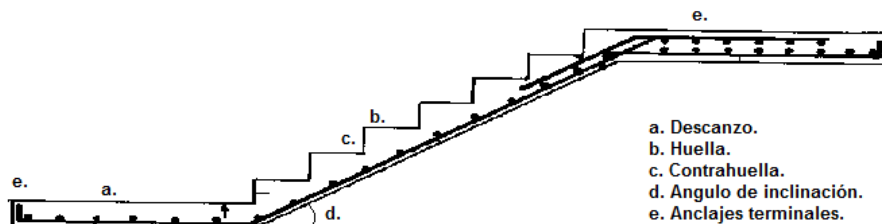
Los sistemas de escaleras deben brindar al usuario un alto grado de comodidad y de confiabilidad estos dos factores dependen en gran medida de la inclinación que se le dé a los tramos del sistema, se recomienda que el grado de inclinación de un sistema de escaleras varíe entre 20° y 50° siendo el límite superior no recomendado por cuestiones de seguridad del usuario, además para inclinaciones menores a las mencionadas se recomienda empleo de rampas.

Respecto de la huellas y contrahuellas se puede decir que estas son las estructuras con forma escalonada que permitirán al usuario transitar por los tramos del sistema de escaleras por lo que son estos dos elementos a los que se les debe dar atención que sean cómodos para el usuario y que sean el número adecuado para los tramos con los que se cuente. Para ello fue necesario el código constructivo de Perú, ya que es este un país que se asemeja mucho a la realidad de Guatemala, tanto en el ámbito constructivo como en el ámbito racial, la interrogante será qué relación tienen estos dos factores con el diseño arquitectónico del sistema de escaleras de una edificación, simplemente que al tener características constructivas similares entre ambos países será para el diseñador estructural útil tener una base con lineamientos que le permitan tomar decisiones basadas en requerimientos de diseño.

En el caso del diseñador arquitectónico será útil este código ya que las relaciones que deben existir entre huella y contrahuella así como todos los factores de medida que se relacionan con el sistema, han sido obtenidos mediante la investigación de estos sistemas utilizando como usuarios especímenes con constituciones físicas similares a las de los guatemaltecos. En el caso de los ciudadanos europeos cuentan con medidas totalmente diferentes encunto a sus modulaciones que para un ciudadano guatemalteco serían totalmente incómodas por ello se busca crear un balance que permita que los sistemas de escaleras sean útiles para todo tipo de usuario.

Respecto de la huella y contra huella se recomienda que la sumatoria de dos veces la contrahuella más la huellas tenga una variación de entre 0.60 m a 0.64 m donde la huella mínima es de 0.25 m y la contrahuella variará según los siguientes parámetros: para escaleras monumentales la contrahuella deberá variar entre 0.13 m a 0.15m, para edificios o casas la contrahuella deberá variar entre 0.15 m a 0.175 m, para sistemas de escaleras secundarias (emergencia) la contrahuella deberá ser de 0.20m. Respecto del ancho del sistema, el código recomienda que para viviendas el ancho mínimo sea de 1.00 m, para sistema secundarios o de emergencia 0.80 m, para sistemas de caracol o helicoidales 0.60 m y finalmente para sistemas de edificios 1.20 m en el caso de escaleras de uso cotidiano y de emergencia.

Figura 13. **Arquitectura de escaleras**

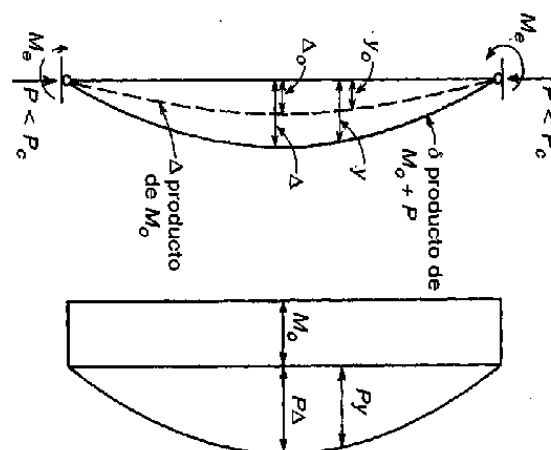


Fuente: M.Y.H. Bangash / **Structural details in concrete. Página 215**

3.1.4 Teoría de fallas por flexión en apoyos de sistemas de escaleras

La mayor parte de los elementos estructurales compuestos por concreto armado se someten a compresión y a flexión de forma simultánea producto de las cargas transversales que se les impartan o por momentos flectores en los extremos inducidos por continuidad estructural, el caso de los sistemas de escaleras no es la excepción, ya que en el caso muy particular de los sistemas de escaleras helicoidales la columna central en la que se apoyan los escalones en voladizo se encuentra trabajando bajo efectos de flexo-compresión, por lo que la columna debe ser diseñada como tal. El momento flector en este caso es inducido por las estructuras en voladizo de los escalones, pero el momento flector máximo se genera en el momento en que la carga viva está siendo aplicada, por lo que para el diseño de este tipo de escaleras deberán tomarse la consideraciones de un elemento que trabaja a flexión y a compresión simultáneamente, además de los requisitos de anclaje de cada uno de los escalones para el diseño del refuerzo transversal de la columna de apoyo central como se le denomina.

Figura 14. Comportamiento de elementos que trabajan a flexión



Fuente: Arthur Nilson/ Diseño de estructura de concreto armado. Página 28

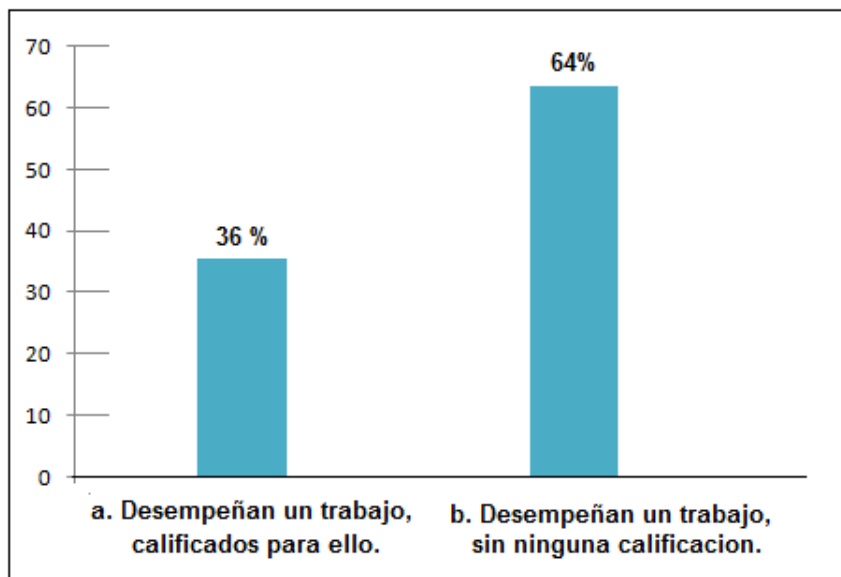
Estudios realizados por el ACI y el ASCE han determinado que en la mayoría de estructuras existentes no se tomó en cuenta los efectos de la esbeltez y de la flexo-compresión en los elementos por lo que se ha visto reducida la capacidad de los miembros hasta en un 40% como causa de esta omisión por ello se recalca la importancia de analizar y diseñar este tipo de elementos mediante el proceso correcto con el fin de evitar fallas posteriores, en este tipo de elemento las fallas más comunes son fallas relacionadas con el corte diagonal en zonas en las cuales la tensión se desarrolla en su valor máximo, esta falla se induce debido a los esfuerzos flexionantes que se le inducen al elemento, en este caso en particular es muy poco común que ocurran fallas por aplastamiento del concreto pero se deben tomar los criterios de la sección 21.3.3.1 del código ACI318 para refuerzo transversal para evitar posibles pérdidas de capacidad en los miembros.

3.2 Deficiencias constructivas de los sistemas de escaleras

Como se ha podido apreciar en las secciones anteriores, los sistemas de escaleras son sistemas que muy a menudo se ven afectados por factores de diversas índoles se pudo observar que desde el análisis y el diseño estos son sistemas vulnerables a ser afectados y en el momento de la construcción de dichos elementos no es la excepción, ya que se debe analizar la realidad nacional hablando específicamente de la mano de obra y su calidad. En el mercado de la construcción se encuentran diversos tipos de obreros, muchos de ellos empleando un sin número de trabajos para los cuales no están capacitados, mediante estadísticas tomadas para este caso específico se pudo constatar que esta información no es errónea, pues con base en encuestas realizadas a 25 personas se obtuvo que el 36% de los trabajadores de la construcción han recibido algún curso que les permite ejercer con un conocimiento básico las labores que realizan. Por otro lado, se obtuvo que el 64% del personal de la construcción nunca ha recibido un adiestramiento de los trabajos que realizan sino que en su mayoría

han sido heredados por sus padres o como algunos de ellos argumentan la necesidad los ha movido a realizar trabajos y aprenderlos con el transcurrir del tiempo.

Tabla I. **Calificación y preparación de la mano de obra con la que se cuenta en la Ciudad de Guatemala**



Este panorama es desalentador ya que un análisis y un diseño de un sistema de escaleras puede estar elaborado correctamente, pero al llegar a la fase de ejecución puede llegar a verse afectado por la calidad de mano de obra con la que se cuenta, por ello es importante recalcar que la construcción de un sistema de escaleras es una etapa a la que el constructor debe darle mucha importancia y por tal razón se insiste tanto en seguir los lineamientos y requisitos de los códigos constructivos pues muchos de los requisitos que se solicitan en dichos códigos darán un margen de holgura por cualquier eventualidad que pueda presentarse en el proceso de construcción. Se debe recordar que errores en el proceso constructivo no acarrearán únicamente problemas de apreciación visual sino que un error en la construcción podría incluso llegar a afectar gravemente el

funcionamiento de una estructura y altera los factores de seguridad utilizados tanto en el análisis como en el diseño de un sistema de escaleras, se debe recordar que estos sistemas son elementos que constituyen en un momento dado la posibilidad de salvar vidas ante un evento sísmico.

La república de Haití fue azotada por un sismo de magnitud 7.8 en la escala de Richter, esta nación considerada como una de las más pobres de América no pudo prevalecer en pie ante una catástrofe de tal magnitud. Esta tragedia conmovió a todo el mundo y entre ellos a grupos de estudio científico basados principalmente en el ámbito estructural, este grupo de estudiosos de la materia fueron trasladados a dicha nación, con el fin de evaluar y concluir acerca de las posibles causas de los colapsos de tantas estructuras, la conclusión es preocupante pues argumentan que las principales causas son: malos procedimientos constructivos y pésima calidad de los materiales empleados en las construcciones, estos debería hacer reflexionar y buscar una mayor calidad tanto en mano de obra como excelentes materiales.

4. CARGAS ACTUANTES EN SISTEMAS DE ESCALERAS

4.1 Cargas y su clasificación

En este trabajo de graduación se define como carga a aquellas fuerzas que se aplican sobre determinada estructura y producen esfuerzos variados en la misma, las cargas pueden clasificarse en tres grandes grupos: cargas muertas, cargas vivas y cargas ambientales.

4.1.1 Carga viva o de ocupación

La carga viva se le conoce también con el nombre de carga de ocupación, esta se basa principalmente en el concepto de su nombre, pues se puede definir como carga viva al conjunto de fuerzas que actúan en un momento dado en una estructura como producto de la ocupación de muebles o usuarios de una edificación, para el caso específico de sistemas de escaleras se definirá como elementos de carga viva a los usuarios que por ellas transitarán; además esta carga puede llegar a encontrarse de forma parcial o total en una estructura o simplemente no darse.

La carga viva será variada de acuerdo con el uso que se le pretenda dar a una estructura, en la tabla II se presenta una serie de valores de cargas con sus respectivas dimensionales que se recomiendan ser empleadas para casos específicos. Estas cargas se presentan uniformemente distribuidas, aunque cabe mencionar que a lo largo de la vida de una edificación estas cargas serán inciertas, sin embargo los valores presentados superan los promedios esperados, por lo que se hace énfasis en el incluir la carga de impacto en los casos

recomendados, los sistemas de escaleras son uno de ellos, para los cuales se sugiere agregar a la carga viva entre un mínimo de 15% y un máximo de 30% en concepto de carga por impacto.

Tabla II. **Cargas vivas para estructuras comunes con carga de impacto en los casos necesarios**

CARGAS VIVAS O DE OCUPACIÓN (Lb / Pie²)		
EDIFICACIÓN		VALOR
Apartamentos	Diseño de Estructuras, Arthur Nilson.	150
Vivienda unifamiliar	AGIES	60
Corredores de primer piso	AGIES	100
Graderios de estadios	Diseño de Estructuras, Arthur Nilson.	100
Aticos	AGIES	20
Salones de clases	Diseño de Estructuras, Arthur Nilson.	40
Vías peatonales y plataformas elevadas		60
Sistema de escaleras	Código de Construcción de Perú.	100
Escaleras de emergencia	Código de Construcción de Perú.	125

La carga de impacto no es más que una aplicación súbita de la carga viva, por ello se recomienda en estructuras que son susceptibles a ser sometidas a este tipo de esfuerzos contemplen en su diseño un 25% más de la carga para cubrir los esfuerzos que esta pudiera llegar a impartirle a un elemento, este porcentaje es recomendado cuando hablamos de sistemas de escaleras de emergencia. En el caso de los sistemas de escaleras se puede apreciar con facilidad que estos elementos son totalmente expuestos al impacto pues con el simple caminar de un usuario se impacta la estructura.

Si se hace énfasis en el estudio de la carga viva se puede comprender que en algunos casos específicos no es conveniente únicamente tomar datos de cargas ya tabuladas y trabajar con ellos un análisis para posteriormente diseñar

pues algunos datos de cargas pueden ser muy tomados a la ligera sin hacer énfasis de las condiciones en que se estimaron. Por ello conviene que el diseñador haga su propio análisis y estime la carga viva con la que contará la edificación o sistema que diseñará, se puede mencionar el caso particular de bodegas que la carga varía de acuerdo a lo que allí se albergará y no se puede utilizar un valor fijo de carga aunque algunos recomiendan usar un valor de 500 lb / pie² pero no especifican lo que contendrá la bodega con esta carga. Por ello un breve análisis podría consistir en estimar un sistema de escaleras con un ancho de 1.00 m y una longitud inclinada de 3.00 m podría albergar en promedio de 12 personas corriendo e impactando la estructura, con base en estos criterios se podría tener un estimado real de la carga viva a emplear en el diseño y esto conllevaría a obtener un sistema eficiente estructuralmente y a la vez apegado a la realidad, sin embargo como se expone con anterioridad la carga viva debe tenerse claro que puede que se origine de la forma asumida, no se genere de esta forma o simplemente no se dé nunca.

4.1.2 Carga muerta o peso propio

Carga muerta se le denomina al conjunto de fuerzas que actúan de forma permanente, tanto en posición como en magnitud dentro de una estructura a lo largo de su período de vida. Generalmente, la carga muerta está constituida por el peso propio de una estructura, dicha carga puede estimarse de manera muy cercana mediante un análisis correcto de la configuración de una edificación, se consideran carga muertas los acabados finales de una residencia, los barandales, losas y apoyos de un sistema de escaleras así como todo recubrimiento que puede llegar a aplicársele.

4.1.3 Cargas ambientales

Las cargas ambientales son todas aquellas fuerzas que actúan en una estructura las cuales proviene de la naturaleza, entre las cargas ambientales más comunes se puede mencionar la succión y presión del viento, el empuje de suelos, las fuerzas inerciales inducidas por sismos, cargas por acumulación de agua de lluvia en superficies planas, fuerzas causadas por los cambios de temperatura. Entre la carga viva y la carga ambiental comparten un factor común. En ambos casos es muy incierto el determinar su incidencia y su permanencia sin embargo conviene apoyarse en códigos que se basan específicamente en el diseño de estructuras sometidas a este tipo de fuerzas para desarrollar un sistema estructural acorde a la necesidad.

4.1.4 Combinación de carga de acuerdo con códigos constructivos

Para que una estructura sea funcional debe presentar un buen comportamiento ante la disposición de fuerzas a las cuales es sometida, esto se verá reflejado al momento de prestar su servicio y ser sometida a esfuerzos que pudieran llevarla al colapso. La funcionalidad de una estructura requiere que las deflexiones en un sistema sean mínimas, que si existen fisuras sean controlables, que la vibración sea mínima, etc. La funcionalidad consisten también en que la estructura sea capaz de resistir todas las cargas que se distribuirán sobre ella, sin embargo se especifico en el inciso 4.1.1 y en el inciso 4.1.3 que tanto la carga viva como la carga ambiental era un tanto incierta para la determinación de su permanencia y de su magnitud. Por lo que para que una estructura sea funcional se deberá contar con un método que le permita al diseñador tener plena confianza que la estructura que se está elaborando este cubierta ante esta incertidumbre que rodea fundamentalmente estas dos clases de cargas.

En el caso de la carga muerta si se realiza una exhaustiva estimación se obtendrá un valor muy cercano a la realidad, sin embargo aún existen posibles fallos que podrían permitir que las cargas que se estiman no sean las correctas sino que pudieran ser mayores, esto sin lugar a dudas pone en riesgo la integridad de la estructura y de los usuarios que la ocuparán pues además se podría tener otro tipo de problemas como: las cargas reales pueden diferir de las supuestas por el diseñador que es el caso que se estaba tratando, las cargas reales pueden estar distribuidas de manera diferente a las supuestas, las cargas supuestas generan momentos flectores, cortantes y esfuerzos diferentes a los que inducen las cargas reales, el comportamiento real de la estructura puede diferir del supuesto, las dimensiones de los elementos pueden diferir a los supuestos en el diseño y esto puede darse por la mano de obra, las varillas de refuerzo pueden no estar en la posición de diseño definida, las resistencias reales de los materiales pueden variar de los supuestos en un diseño, todos estos factores ponen en riesgo la integridad estructural, en un momento dado la falla de una estructura puede ser simplemente un inconveniente pero en otros casos pueden darse pérdidas materiales y en el peor de los casos pérdidas de vidas humanas.

Como se puede ver la integridad de una estructura no depende sólo de diseñar correctamente sino que depende de muchos factores que en un momento dado no están al alcance de un constructor, por lo que nace la necesidad de implementar factores de seguridad que permitan tener cierta tranquilidad y confiar en que los sistemas diseñado están cubiertos ante cualquier anomalía que se presente. El factor de seguridad se le conoce también como factor de mayoración de carga, este no es más que un factor que incrementa la carga en un porcentaje recomendado por códigos que se especializan en el estudio del comportamiento de estructuras, tal es el caso del ACI que representa un liderazgo en el análisis del comportamiento de las estructuras de concreto armado, en este caso en particular se presentarán factores de mayoración recomendados por el código en mención y

combinaciones de cargas que permitirán analizar la estructura de forma tal que todas las posibles anomalías del sistema estén cubiertas, ya que las disposiciones de diseño del ACI318S se basan en la suposición que las estructuras deben diseñarse para resistir todas las cargas solicitadas, esto según ACI318S – 05 artículo 8.2.1.

En el análisis y diseño de una estructura con las características mencionadas en el final del párrafo anterior, se deben tomar ciertas consideraciones entre ellas, que las estructuras y elementos estructurales deben ser diseñados para que tengan en cualquier sección una resistencia de diseño al menos igual a la resistencia requerida, calculada esta última para las cargas y fuerzas afectadas por el factor de mayoración en las condiciones establecidas por ACI. Además los elementos de una estructura deben cumplir con los requisitos de este mismo código sin dejar de mencionar que se deben aplicar las combinaciones de carga de forma íntegra sin causar ningún cambio o mezclar combinaciones no establecidas, pues la resistencia de diseño requerida “U” debe ser por lo menos igual al efecto de las cargas mayoradas en las ecuaciones mostradas en la tabla III.

Tabla III. **Combinaciones de cargas usualmente empleadas**

COMBINACIONES DE CARGA	
Combinaciones básicas	
$U = 1.2D + 1.6L$	(Según código)
$U = 1.4D + 1.7L$	(Según código)
Combinaciones para viento	
$U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W)$ (En algunos casos $L= 0$)	
$U = 0.9D + 1.3W$	
Combinaciones para sismo	
$U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.87E)$ (En algunos casos $L= 0$)	
$U = 0.9D + 1.43E$	
Presion de tierra	
$U = \text{cualquier combinación} + 1.4F$	

4.2 Carga sísmica

Las causas y efectos que puede causar un sismo fue expuesto en la sección 3.1.2. En esta sección se expondrán las ecuaciones y procedimientos que deben realizarse para la determinación de la magnitud y posición de la carga sísmica en una estructura, ya que son variados los códigos que proporcionan métodos para la determinación de estas fuerzas, sin embargo se emplearán los procedimientos de los códigos UBC (*Uniform Building Code*) 1985 y (*Uniform Building Code*) UBC 1997. Estos dos códigos son los más empleados para la determinación de estas fuerzas, existe una leve diferencia ya que el código de 1985 da un valor de carga sin mayoración y el código de 1997 da carga de servicio, es decir una carga mayorada, ya que el corte basal como comúnmente se le llama a esta carga, está en función de varios factores, y de la carga muerta de una edificación es fácil comprender que los factores de mayoración serán los empleados comúnmente a la carga muerta, para ello se puede citar la Tabla III.

Se le denomina corte basal a la carga generada a nivel de la cimentación de una estructura, que es inducida por un evento sísmico, este a su vez, se distribuye en los pisos de una estructura aplicándose con el concepto de una carga lateral, al poseer los valores de fuerzas de piso se puede proceder a realizar un análisis de carga lateral y posteriormente a diseñar los miembros de una estructura, pero es fundamental aplicar al diseño los requisitos de un código como el ACI en su capítulo 21 donde se basa específicamente para zonas altamente sísmicas como lo es la República de Guatemala, como se expresó en la sección 3.1.2.

Hoy en día se cuenta con muchos códigos que brindan información acerca de la determinación de la carga que le induce un sismo a una estructura,

lamentablemente estos códigos se fueron implementando posteriormente a los destrozos que generaron los primeros terremotos del siglo XX. Ante dichas catástrofes la comunidad de ingenieros de Estados Unidos de Norte América realizaron estudios para determinar qué magnitud de carga lateral inducida por sismo podían aplicar a sus diseños, para evitar el colapso de las estructuras y con ello evitar la pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas.

El primer código UBC que existió fue en el año de 1927, este proponía un sistema de aplicación de cargas laterales que simulaban la fuerza de un sismo empleando como ecuación principal del peso aplicado $W = D + L$ donde “W” era el peso total de la estructura y “D” y “L” eran el peso total del edificio y el peso total que induciría el edificio totalmente ocupado con la carga viva que se tenía contemplada, el corte basal se definía de acuerdo con la ecuación $V = 0.075*W$ o $V = 0.1*W$ de acuerdo con la capacidad de carga del suelo, con el pasar de los años, los estudiosos del ámbito estructural determinaron que estas ecuaciones no contemplaban muchos otros factores que afectaban la intensidad y la ocurrencia de un sismo, por lo que se continuó con el análisis y se publicaron otros ejemplares de este mismo código con procedimientos que revelan la magnitud de carga sísmica cada vez más cercano a la realidad.

Tabla IV. **Publicaciones del código Uniform Building Code a lo largo de la historia**

PUBLICACIONES DEL UNIFORM BUILDING CODE				
UBC 1927	UBC 1935	UBC 1937	UBC 1940	UBC 1943
UBC 1946	UBC 1949	UBC 1952	UBC 1955	UBC 1958
UBC 1961	UBC 1964	UBC 1967	UBC 1970	UBC 1973
UBC 1976	UBC 1979	UBC 1982	UBC 1985	UBC 1988
UBC 1991	UBC 1994	UBC 1997	IBC 2000	IBC 2003

Vale la pena mencionar que mientras en otros países como Estados Unidos, México, entre otros. Se cuenta con códigos que rigen la construcción en Guatemala se cuenta con el código del AGIES (Asociación Guatemalteca de Ingenieros Estructurales) que pretende regir la construcción de este país, sin embargo la realidad es que no es un ningún código legalmente aceptado y mientras en Guatemala se presentaba el evento sísmico del 4 de febrero de 1976 y muchas construcciones colapsaban; los norteamericanos ese mismo año publicaban su código UBC 1976, la vigésima sexta edición. Esto debe hacer reaccionar al gremio de ingenieros guatemaltecos e ir en busca de la legalización de un código que rijan de forma definitiva la construcción en Guatemala, para vidas y evitar grandes pérdidas económicas a la nación al momento de presentarse otro evento como el mencionado que cambió la situación del país. En este trabajo de graduación se analizará la forma de determinación de la carga sísmica por medio del código UBC 1985 y UBC 1997, esto con el fin de ver la correlación que existe entre valores generados por ambos códigos a pesar de existir entre sus publicaciones un período de 12 años.

4.2.1 Análisis de carga sísmica de acuerdo al código *Uniform Building Code* 1985 (UBC 1985)

Como se ha expuesto en secciones anteriores a partir de las grandes catástrofes ocurridas a principios del siglo XX, el hombre ha iniciado la búsqueda de métodos por los cuales estimar la magnitud de la carga sísmica y cómo aplicarla a las estructuras, con el fin de crear edificaciones que sean capaces de resistir los eventos sísmicos de alta magnitud. Uno de los códigos más empleados por los ingenieros estructurales es sin lugar a duda el código UBC, ya que como se pudo observar en la Tabla IV son muchos los años que se han invertido en el análisis y la investigación del grupo encargado de realizar este código, debido a su gran importancia y su aporte este código fue reconocido y empleado en diversas

partes del mundo, principalmente en países como Guatemala que se encuentra constantemente en actividad sísmica. Es por ello que a partir del año 2000 el código se publicó bajo el nombre de *Internacional Building Code* (IBC2000 y 2003).

Para la determinación del corte basal se deben tener varios datos a la mano referente del tipo de construcción, el tipo de superficie y la proximidad a las fallas existentes, con estos datos podrá iniciarse el procedimiento para la obtención del corte basal de una estructura, dichos pasos se detallan a continuación:

La ecuación en la cual se basa la determinación del corte basal para una estructura es:

- $V_{\text{basal}} = Z * I * C * k * S * W$

Donde:

V_{basal} = Corte basal

Z = Zona sísmica. (Ver Tabla V)

I = Factor de importancia. (Ver Tabla VI)

C = Factor de dinámica de la estructura.

K = Factor de rigidez según la estructura. (Ver Tabla VII)

S = Factor de interacción suelo-estructura.

W = Peso de la estructura.

Tal y como se definió en la sección 4.2, el corte basal no es más que una fuerza cortante que se desarrolla a nivel de la cimentación de una estructura y se distribuye mediante los niveles de un edificio por medio de la aplicación de una

carga de piso, para la determinación de dicho corte se ha presentado la ecuación que relaciona varios factores que son de vital importancia conocer, la zona sísmica representado con la sigla “S” es un componente que es fundamental conocer dentro del análisis de una estructura que se edificará en una zona sísmica como lo es Guatemala, ya que existen muchas fallas que constantemente ocasionan por medio de sus movimientos sismos de alta intensidad, sin dejar de mencionar la zona de subducción y la franja volcánica que posee. Todos estos factores se analizaron previamente sin embargo vale la pena recalcar y hacer conciencia que este país se considera una zona altamente sísmica. En la Tabla V se puede apreciar cómo se proporciona un factor de acuerdo a la zona sísmica en la que se ubica la superficie donde se ejecutará una construcción, se puede decir que para el 65% de la República de Guatemala se puede considerar que el factor proporcionado para Z4, únicamente para el departamento de Petén se podría considerar Z3 aunque siendo conservadores conviene emplear Z4 para todo el territorio nacional.

Tabla V. **Factor de zona sísmica a aplicar en ecuación de corte basal de acuerdo con el código UBC1985 y mapa de zona sísmica de Guatemala**

FACTOR DE ZONA SISMICA		
ZONA	DESCRIPCIÓN	FACTOR
0	Zona sin ningun riesgo sismico e historicamente nunca ha sido afectada por los mismos.	0.00
1	Zona sin riesgo sismico latente y que historicamente ha sido afectada levemente por sismo.	0.25
2	Zona con riesgos latentes y con historia catastrofica leve	0.50
3	Zona con riesgo latente pero con poca frecuencia de actividad sismica	0.75
4	Zona con riesgos latentes de sismos, constante actividad sismica y con historia catastroficas con eventos de alta magnitud	1.00

Como se puede observar en la ecuación presentada para la determinación del corte basal, el valor del factor “Z” es un valor que se aplica directamente como producto del resto de factores, como se puede apreciar en la Tabla V, este factor varía desde un valor de cero hasta un valor de uno de acuerdo a la zona en que se está analizando la estructura, estos valores no son más que la determinación del porcentaje de la carga calculada que se le aplicará a dicho análisis. Se puede apreciar que para la república de Guatemala, la tabla indica que se le aplicará un factor de “1” lo que corresponde a un 100% del corte basal.

La importancia de una estructura es fundamental conocerla, la forma de obtenerla se basa sencillamente en el planteamiento de un escenario catastrófico y evaluar que tan importante es que esta estructura continúe prestando el servicio que cotidianamente hace. En el caso de un hospital se sabe con certeza que en el momento de una catástrofe estas edificaciones son vitales ya que a estos lugares acuden aquellos individuos que sufrieron algún percance trágico al momento de un sismo de alta magnitud, básicamente este es el método que se emplea para la determinación de la importancia de una edificación.

Este código proporciona una serie de descripciones y ejemplos que puede ayudar a tener ideas más claras del tipo de estructura y la importancia que tiene en su entorno, como ejemplo pueden citarse estructuras en las que existen aglomeraciones de personas como: cines, teatros, estadios, etc. Este tipo de edificaciones no son esenciales al momento de una catástrofe sin embargo debido a que en él se encuentran gran cantidad de individuos se le puede asignar un valor de importancia de dos cuyo factor para aplicar en la ecuación del cortante basal se muestra en la Tabla VI, de igual forma se puede evaluar un hospital y estructuras no esenciales.

Tabla VI. Factor de importancia de estructuras, de acuerdo al código UBC 1985

FACTOR DE IMPORTANCIA		
IMPORTANCIA	DESCRIPCIÓN	FACTOR
1	Edificaciones no esenciales.	1.00
2	Edificaciones con aglomeración de personas	1.25
3	Edificaciones con aglomeraciones de personas y esenciales para la comunidad	1.50

Es importante conocer el comportamiento de una estructura ante un evento de la naturaleza del terremoto de Guatemala de 1976, este puso a prueba muchas de las estructuras que en aquella época se construían en Guatemala, ya que muchas de ellas colapsaron y produjeron la muerte de miles de personas. Actualmente se profundiza en el análisis de un estructura con el fin de lograr comprender y predecir el comportamiento dinámico que la estructura tendrá al presentarse un evento sísmico de alta magnitud, este es el caso del factor de dinámica de la estructura “C” que busca proporcionar información referente del comportamiento de una estructura al momento que le es aplicada un 100% de la carga sísmica. El valor de este coeficiente se obtiene de la siguiente forma:

- $$C = \frac{1}{15\sqrt{t}}$$

Donde:

C = Factor de dinámica de la estructura. (Adimensional)

t = Período fundamental de la vibración. (seg.)

El período fundamental de la estructura “t” que se representa en el factor de dinámica puede obtenerse mediante la expresión siguiente siempre y cuando la edificación sea un sistema de marcos dúctiles espaciales, sistemas duales o de cajón y que además se desee ser conservador y obtener el factor de dinámica crítico.

- $$t = \frac{h_n * 0.05}{\sqrt{D}}$$

Donde:

t = Período fundamental de la vibración. (seg.)

h_n = Altura total de la edificación.

D = Medida de la arista horizontal menor de la edificación.

Para obtener un factor de dinámica que no sea el crítico se permite el empleo de la expresión siguiente, siempre y cuando el sistema este compuesto por marcos dúctiles diseñados con los requerimientos de este código.

- $$t = 0.1 * N$$

Donde:

t = Período fundamental de la vibración. (seg.)

N = Número de pisos de la edificación, para el caso de escaleras aplica N = 1.

Como puede observarse en las expresiones anteriores el comportamiento de una estructura se basa en las dimensiones, tanto verticales como horizontales así mismo el sistema estructural que lo componen, esto hace pensar en el concepto de esbeltez y traer a memoria la importancia de la rigidez de una

estructura, respecto de la rigidez se puede definir como la fuerza necesaria empleada para alcanzar la deformación unitaria de un elemento que se opone a la deformación, este concepto está íntimamente ligado al funcionamiento estructural de una edificación con una carga sísmica aplicada por lo que en la ecuación de corte basal se incluye también esta relación cuyo factor dependerá de la estructura que soportará la carga sísmica, los valores de este factor se muestran en la Tabla VII.

Tabla VII. **Factor de rigidez de estructuras, de acuerdo al código UBC 1985**

FACTOR DE RIGIDEZ	
DESCRIPCIÓN	FACTOR
Marcos dúctiles espaciales resistentes al 100% de la carga sísmica aplicada	0.67
Sistemas duales, marcos ductiles más muros de corte embreizados	0.80
Sistemas de cajon	1.33

El suelo es otro factor que es importante conocer cuando se busca crear un diseño que sea resistente a eventos sísmicos, un caso muy conocido acerca de problemas de suelos es México, ya que muchas de sus superficies fueron formadas a lo largo del tiempo por sedimentación de partículas de suelo que descendían de las partes más altas de las cuencas mexicanas y se depositaban en sus valles, a la fecha el suelo mexicano es una de las superficies más problemáticas para la construcción, ya que por efectos de licuefacción muchas de sus edificaciones sufren de asentamientos diferenciales en su estructura sin dejar de mencionar que además estos suelos magnifican los sismos.

Otro caso que aún el guatemalteco desconoce es sin lugar a duda la situación de la zona 9 y zona 4 de la ciudad capital de Guatemala, que en un momento dado constituyeron lagunillas y el día de hoy constituyen zonas importantes para el comercio, cabe mencionar que debido a este desconocimiento es que estas zonas fueron muy afectadas durante el terremoto del 4 de febrero de 1976. Expuesto lo anterior se comprende que es muy importante contar con información y estudios que revelen la interacción que existe entre el suelo y la estructura. En este código se hace conciencia de esta relación mediante el factor de interacción de suelos representado con la sigla “S” que a su vez se relaciona con el período fundamental del suelo como se aprecia en la ecuación siguiente:

- Si $\frac{t}{t_s} \leq 1.00$; $S = 1.00 + \frac{t}{t_s} - 0.50 \left[\frac{t}{t_s} \right]^2$

- Si $\frac{t}{t_s} > 1.00$; $S = 1.20 + 0.60 * \frac{t}{t_s} - 0.30 \left[\frac{t}{t_s} \right]^2$

Donde:

t = Período fundamental de la vibración de estructura. (seg.)

t_s = Período fundamental de la vibración del suelo. (Seg.)

Las expresiones anteriores se emplearán para para la determinación del coeficiente “S” cuando se conocen las características del suelo, cuando no se conocen las características del suelo el código UBC1985 recomienda utilizar un valor de coeficiente de 1.5.

Con los coeficientes y razonamientos antes expuestos se puede proceder al cálculo del corte basal para estructuras, acerca del peso propio de la estructura “W” no se profundizara pues se basa únicamente en la estimación del peso de la estructura por medio de datos de materiales proporcionados por los fabricantes y estimaciones de volumen de las estructuras que nos conducirán a obtener el peso propio de la estructura y la exactitud dependerá de que tan minucioso sea el análisis de los miembros de la edificación.

En el análisis del corte basal se debe presentar también la forma en la que se distribuye por pisos esta carga, en el caso de los sistemas de escaleras es importante conocer estas cargas, ya que serán éstas las que deberán aplicarse para el análisis torsionante de los descansos y el porcentaje de carga horizontal a incluir en el análisis estructural del sistema. Esta distribución de cargas de piso se llevará a cabo en la sección 4.2.3, ya que primero se presentara el procedimiento de cálculo de acuerdo al UBC 1997, y posteriormente se presentará el método de distribución del corte basal ya que para ambos códigos el procedimiento de distribución de carga es el mismo únicamente con la salvedad antes mencionada que el UBC 1985, brinda valores de carga de servicio y el UBC 1997, brinda valores de carga límite por lo que en el caso del UBC 1985 esta carga se deberá mayorar empleando para ello el factor de mayoración de carga muerta que variará de acuerdo a los códigos empleados. Cabe mencionar que el procedimiento aplicado en esta sección se le considera un método dinámico de análisis, ya que considera factores como la vibración de la estructura y la del suelo.

4.2.2 Análisis de carga sísmica de acuerdo con el código *Uniform Building Code 1997 (UBC 1997)*

Este método de determinación del corte basal de una estructura también se le denomina método pseudo estático, este obtiene su denominación del procedimiento de análisis que consiste en aplicar las cargas de forma estática y todas ellas se aplican en el mismo sentido, además se hace la suposición que en el análisis dinámico se mantiene el comportamiento elástico de una estructura hasta el infinito mientras que en el estático se debe proveer de ductilidad a los elementos por medio de confinamientos, ya que la estructura trabaja monolíticamente en el rango plástico, pero debido a su ductilidad tiene la capacidad de disipar la energía.

Para la determinación del corte basal por medio de este código, se toman en consideración muchos otros factores que no se incluían en el método dinámico del UBC 1985, entre los factores que no se incluían y es de vital importancia se tiene un factor que considera la proximidad a la falla este es de mucha importancia pues los esfuerzos que se le inducirán a una estructura dependerá también de su cercanía al epicentro y al hipocentro del evento sísmico.

Para la determinación del corte basal por medio del método estático del UBC 1997, se aplicará la siguiente ecuación:

$$V = \frac{C_v * I * W}{R * T}$$

Donde:

V = Corte Basal

C_v = Coeficiente sísmico. (Ver Tablas XI)

I = Factor de importancia. (Ver Tabla XIII)

R = Factor de reducción de respuesta

T = Período de vibración de la estructura

Como puede apreciarse en la ecuación del corte basal por medio de este método, existe mucha diferencia entre la ecuación empleada en el UBC 1985 y la empleada en este código, estas diferencias se basan principalmente en la investigación que constantemente se lleva a cabo para crear sistemas y métodos más cercanos a la realidad.

Para poder estimar la magnitud de carga sísmica que se le pudiera aplicar a una estructura es importante conocer la fuente sísmica y sus características, así como conocer datos superficiales del terreno en el que se construye y sus propiedades, como se citó en secciones anteriores, el caso del suelo de México, principalmente del Distrito Federal es un caso que debe hacer recapacitar al gremio de ingenieros de Guatemala para comprender la importancia de realizar estudios de suelos en las obra que se ejecutan diariamente en este país, ya que el suelo según sea el valor de su coeficiente de vibración podrá poseer características que aporten o afecten la estructura por medio de la magnificación de sismos y estabilidad de la estructura. Es por ello que este código haciendo conciencia de estos dos factores: los sismos y las características del suelo. Así como su interrelación. Considera dentro del análisis de corte basal el coeficiente "C_v" que este se obtiene primeramente de una clasificación de la fuente sísmica de acuerdo con la Tabla VIII, donde la República de Guatemala se encuentra clasificada como fuente sísmica tipo "C" pues constantemente se generan sismos sensibles y de baja sensibilidad, existe un registro de más de 1400 sismos semanales de baja sensibilidad en el territorio guatemalteco por lo que esta situación clasifica al territorio nacional en Zona sísmica tipo 4 de acuerdo a la

Tabla IX y finalmente si se poseen estudios y ensayos del suelo en el que se va a edificar conviene clasificar el tipo de suelo según la Tabla X. En caso de no contar con esta información se recomienda emplear un suelo con clasificación Sd de acuerdo con la tabla antes citada, donde las literales Sd se refieren a un suelo de baja capacidad y características físicas desconocidas.

Tabla VIII. **Clasificación de la fuente sísmica, de acuerdo con el código UBC 1997**

Tipo de fuente sísmica	Descripción de la actividad de la fuente sísmica
A	Actividad sísmica moderada y eventos de poca duración y leve magnitud
B	Todos los que no entran en la clasificación de A y C
C	Actividad sísmica muy frecuente y eventos de larga duración y alta magnitud

Tabla IX. **Clasificación de zona sísmica y su representación, de acuerdo con el UBC 1997**

FACTOR DE ZONA SISMICA		
ZONA	DESCRIPCIÓN	Z
1	Zona sin ningún riesgo sísmico e históricamente nunca ha sido afectada por los mismos.	0.075
2A	Zona sin riesgo sísmico latente y que históricamente ha sido afectada levemente por sismo.	0.15
2B	Zona con riesgos latentes y con historia catastrófica leve	0.20
3	Zona con riesgo latente pero con poca frecuencia de actividad sísmica	0.30
4	Zona con riesgos latentes de sismos, constante actividad sísmica y con historia catastrófica con eventos de alta magnitud	0.40

Tabla X. Clasificación de tipo de suelos, de acuerdo con el código UBC 1997

CLASIFICACIÓN DE SUELOS	
Siglas	DESCRIPCIÓN
Sa	Roca de alta capacidad de carga
Sb	Roca
Sc	Suelo muy denso y rocas suaves
Sd	Suelo poco denso
Se	Suelo suave y poco denso
Sf	Suelo que debe ser analizado por recomendación

Habiendo definido que el tipo de falla que debe considerarse para la República de Guatemala es una falla con actividad y características tipo “C”, que se encuentran en una zona sísmica tipo 4 con un coeficiente de $z = 0.4$ y además que el suelo que usualmente se emplea como base es un suelo tipo S_d , se puede proceder a la determinación del valor del coeficiente sísmico, este se podrá obtener de la Tabla XI, donde se puede observar que en deberá ubicarse el valor de este coeficiente empleando el tipo de suelo y además la zona sísmica en la que se encuentra la estructura bajo análisis, para la ciudad de Guatemala con los parámetros antes definidos se tiene que $C_v = 0.64N_v$ donde este nuevo factor no es más que un coeficiente empleado de acuerdo a la tabla XII y que vale la pena mencionar que depende de la distancia que existe entre la estructura y la falla.

Tabla XI. Coeficiente sísmico “ C_v ”, de acuerdo al código UBC 1997

Siglas de tipo de suelo	COEFICIENTE SÍSMICO				
	$z = 0.075$	$z = 0.15$	$z = 0.20$	$z = 0.30$	$z = 0.40$
Sa	0.06	0.12	0.16	0.24	$0.32N_v$
Sb	0.08	0.15	0.20	0.30	$0.40N_v$
Sc	0.13	0.25	0.32	0.45	$0.56N_v$
Sd	0.18	0.32	0.40	0.54	$0.64N_v$
Se	0.26	0.50	0.64	0.84	$0.96N_v$
Sf	Suelo que se debe analizar para ser clasificado				

Tabla XII. Coeficiente de proximidad a la falla “Nv”, de acuerdo al código UBC 1997

CLASIFICACIÓN DE LA FALLA	DISTANCIA A LA FALLA			
	≤ 2 Km	5 Km	10 Km	≥ 15 Km
A	2.00	1.60	1.20	1.00
B	1.60	1.20	1.00	1.00
C	1.00	1.00	1.00	1.00

Con estas últimas dos tablas, finalmente puede definirse el valor del coeficiente sísmico de este método pseudo estático de análisis de carga lateral inducida por sismo, se puede ver que este método es un tanto más complejo que el método del UBC 1985, sin embargo arroja un dato más cercano a la realidad de la circunstancia en que se vive. En el método de aproximación de corte basal se pudo apreciar que se involucraba en el análisis un factor de importancia de la estructura para este método no es la excepción, ya que la importancia que una estructura tenga en el entorno que le rodea será un parámetro que nos ayudara a determinar que tan conservador debe ser su diseño, por el contrario del factor sísmico el factor de importancia es fácil de determinar siempre y cuando se conozca la filosofía del diseño y funcionalidad de la edificación que se está analizando, para ello se presenta la Tabla XIII.

Tabla XIII. Factor de importancia de la estructura, de acuerdo al código UBC 1997

FACTOR DE IMPORTANCIA		
IMPORTANCIA	DESCRIPCIÓN	FACTOR
1	Edificaciones no esenciales.	1.00
2	Edificaciones con aglomeración de personas	1.25
3	Edificaciones con aglomeraciones de personas y esenciales para la comunidad	1.50

Como se puede observar la tabla que asigna el valor del factor, de importancia es la misma que se empleó en el análisis del método del UBC 1985, por ello se puede decir que algunos análisis realizados entre una publicación y otra han proporcionado valores similares por lo que permanecen a la fecha. Un factor que se agregó a este análisis es el factor de respuesta de la estructura que se encuentra representado en la expresión mediante la sigla “R” que para estructuras de marcos dúctiles de concreto armado, estructuras de mampostería, sistemas duales, sistemas de cajón y estructuras embreizadas el código en mención propone utilizar un valor de 8.5 que representa la capacidad de respuesta que tendrán estos elementos cuando se les aplica el 100% de la carga sísmica siempre y cuando estén diseñados y ejecutados siguiendo los requerimientos de este código.

En esta ecuación nuevamente se puede apreciar que se relaciona el período fundamental de la estructura, sin embargo a diferencia del método del UBC 1985 la ecuación varía, ya que la investigación permite que el valor obtenido para este código dé una idea más clara y certera de la realidad.

El período fundamental de la estructura se obtiene mediante la ecuación:

- $t = C_t * (h_n)^{3/4}$

Donde:

t = Período de vibración de la estructura.

C_t = Factor dinámico de la estructura. (C_t = 0.03)

H_n = Altura de la estructura

Con estos factores puede procederse al cálculo del corte basal de la estructura bajo estudio, solamente cabe mencionar que esta carga obtenida es una carga limite, es decir que ya no debe ser afectada por factores de mayoración.

4.2.3 Aplicación del corte basal en las estructuras.

En la sección 4.2.1 y 4.2.2 se pudo apreciar el proceso que debe llevarse a cabo para la determinación del corte basal por dos métodos diferentes, esta sección está elaborada con el fin de presentar la forma correcta en que las fuerzas determinadas en las secciones mencionadas se aplican a una estructura y como esta se comporta al ser afectada por la misma.

El corte basal aunque como se mencionó con anterioridad es un cortante que se aplica a nivel de la cimentación, éste debe ser distribuido en los diferentes pisos de la estructura bajo estudio, la forma de aplicación es básica ya que dicho procedimiento se lleva a cabo mediante la siguiente ecuación:

- $$F_x = \frac{(V - F_t) * W_x h_x}{\sum W_x h_x}$$

Donde:

F_x = Fuerza inducida por el corte basal en cada uno de los niveles de la estructura.

V_{basal} = Corte basal.

F_t = Es la fuerza que se adiciona al valor de F_x obtenido para el piso mayor de la estructuras, según requerimiento de código.

$W_x h_x$ = Producto del peso estimado del nivel por su altura

Cabe mencionar que la fuerza F_x es la fuerza que se distribuirá de manera proporcional a la ductilidad de cada nivel ya que se puede observar que en la ecuación se encuentra como múltiplo en el numerador el producto del peso del piso por la altura acumulada de los pisos y esto se divide en la sumatorio total del peso por las alturas acumuladas de los pisos. Esto está indicando que la distribución será proporcional al peso del edificio en sus diferentes niveles, además la fuerza F_t esta es la fuerza que se deberá adicionar en el último nivel de la estructura, este incremento se realiza bajo el requerimiento del código empleado.

5. MÉTODOS DE ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL PARA SISTEMAS DE ESCALERAS

5.1 Modelación y diseño arquitectónico de sistemas de escaleras

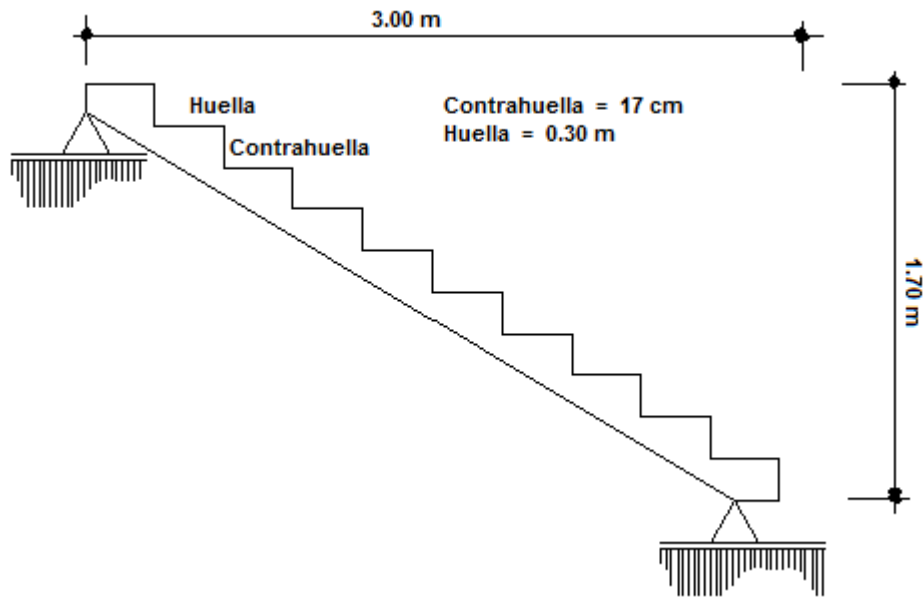
Para el diseño de un sistema de escaleras no cabe la menor duda que deberá iniciarse llevando a cabo el diseño arquitectónico del mismo, para ello se tomarán todas las consideraciones descritas en la sección 3.1 en las que se detalla a profundidad cómo y en qué forma se deberán diseñar físicamente los sistemas de escaleras.

5.2 Sistema de escaleras de un tramo simplemente apoyado

Estructuralmente hablando, los sistemas de escaleras apoyados de forma longitudinal se clasifican en sistemas longitudinales simplemente apoyados y los sistemas longitudinales empotrados, sin embargo debido que con base en análisis de rigidez de estructuras se ha determinado que no existe un empotramiento perfecto, por lo que es recomendable realizar el diseño de estas estructuras como elementos simplemente apoyado o en su defecto articulados.

En esta sección se dispondrá a realizar el análisis y diseño estructural de un sistema de escaleras de un tramo con apoyos simples en sus extremos y con las medidas y magnitudes de cargas presentadas en la figura 15.

Figura 15. Figura de sistema de escaleras a diseñar



Para evaluar las características arquitectónicas de este sistema se implementaran los parámetros que se mencionaron en la sección 3.1 una de las cuales argumenta que basado en análisis se ha determinado que la distribución de un sistema de escaleras en sus magnitudes de medida de huella y contrahuella debe está basada en la siguiente expresión: $2C + P =$ entre 60 cm y 64 cm; este intervalo entre 60 cm y 64 cm se desprende de la relación que existe entre altura de un individuo y la longitud y altura de sus pasos bajo una comodidad alta, como se puede observar en la Figura 13. (Arquitectura de escaleras). El sistema propuesto cumple con esta recomendación, ya que la contrahuella de 17 cm multiplicada por el factor de dos que aparece en la expresión adicionada con la longitud de la huella de 30 cm suma un total de 64 cm por lo que se encuentra adecuada para sus características, otro factor importante que debe ser mencionado es que el tramo máximo deberá diseñarse el aquel que proyecte una longitud horizontal de 3.00 m, además el ángulo que se forma entre la horizontal y la inclinación del tramo corresponde a un ángulo de 29.53° que se encuentra en el intervalo correspondiente, habiendo evaluado los factores físicos del sistema y

como paso siguiente del diseño se deberán analizar las cargas que actuaran en el sistema de escaleras.

Las formas en que se pueden evaluar las cargas inducidas a los sistemas de escaleras son básicamente dos, la primera se basa en el análisis de la carga aplicada de forma perpendicular sobre la proyección horizontal que genera el sistema de escaleras; la segunda forma consiste en analizar el sistema de escaleras mediante la aplicación de la componente que ejerce su efecto perpendicularmente a los escalones del sistema y emplear para ello la longitud real del sistema, es decir la longitud inclinada de la placa, como se demostrará ambas formas llevarán al mismo resultado, por lo que el método queda a discreción del diseñador.

Figura 16. Representación gráfica de la forma en que se puede aplicar las cargas o sus componentes sobre los sistemas de escaleras

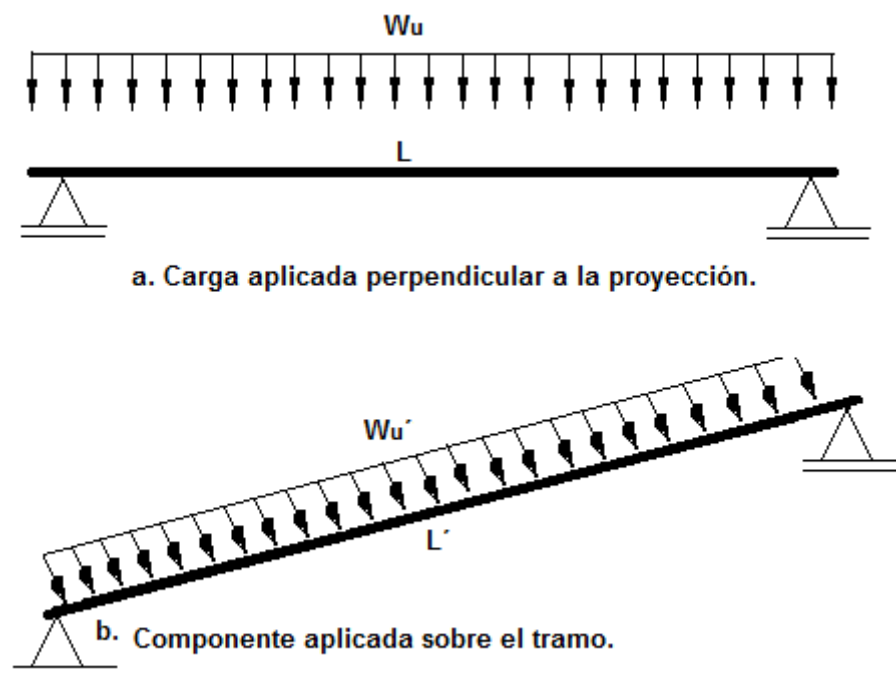
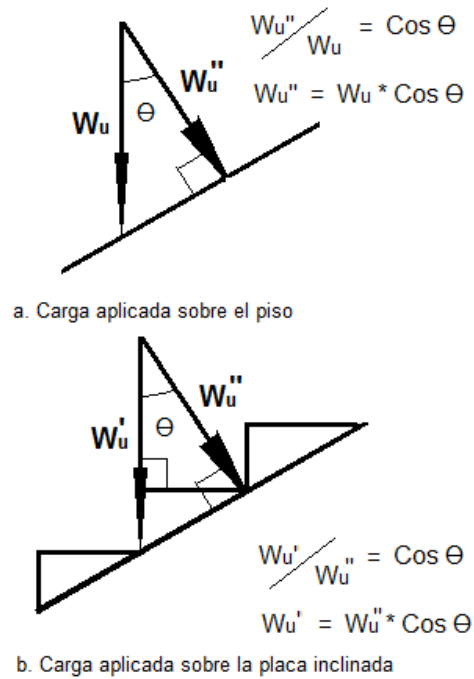


Figura 17. Descomposición de cargas para ambos casos de aplicación sobre sistemas de escaleras



Las cargas se descomponen de la forma presentada en la figura 17, por lo que al obtener las cargas que se utilizaran se puede proceder a presentar la expresión que dará el valor del momento flector inducido en el tramo por la carga elegida, la expresión es la siguiente:

$$M = \beta * W_u' * L'^2$$

Donde:

M = Momento flector inducido en el tramo.

β = Factor que está en función del tipo de apoyo. (0.125)

W_u' = Componente de carga aplicada sobre la longitud inclinada del tramo.

L' = Longitud inclinada del tramo.

Se debe recordar que en la figura 17 se dividió en sus componentes la carga vertical del sistema, de lo cual se obtuvieron las siguientes expresiones:

$$W_u'' = W_u * \text{Cos}\Theta$$

$$W_u' = W_u'' * \text{Cos}\Theta$$

$$W_u' = (W_u * \text{Cos}\Theta) * \text{Cos}\Theta$$

$$W_u' = W_u * \text{Cos}^2 \Theta$$

Con las expresiones antes expuestas se puede proceder al análisis de momentos flectores en el tramo de escaleras, dichos momentos se deberán determinar mediante la expresión:

$$M = \beta * W_u * \text{Cos}^2 \Theta * L'^2 = \beta * W_u' * L'^2$$

Donde:

M = Momento flector inducido en el tramo.

β = Factor que está en función del tipo de apoyo. (0.125)

W_u = Carga aplicada sobre el piso.

L' = Longitud inclinada del tramo.

La longitud " L' " puede expresarse también de la siguiente forma:

$$L = L' * \text{Cos}\Theta$$

Haciendo las respectivas sustituciones en la expresión del método uno, se obtiene:

$$M = \beta * (W_u * \text{Cos}^2\Theta) * (L / \text{Cos}\Theta)^2 = \beta W_u L^2$$

Haciendo las respectivas sustituciones en la expresión del método dos, se obtiene:

$$M = \beta * W_u * \text{Cos}^2\Theta * (L / \text{Cos}\Theta)^2 = \beta W_u L^2$$

Por lo que queda demostrado que independientemente del método de análisis que se emplee ya sea con longitudes proyectadas o longitudes inclinadas el resultado será el mismo, ya que se debe recordar que las áreas de acero principales se encuentran en función de los momentos flectores. Referente al cálculo de los momentos en los extremos se recomienda aplicar un 25% del momento obtenido en estas expresiones.

Habiendo demostrado que sea cual sea el método de análisis se debe llegar al mismo resultado, se puede proceder a establecer algunos parámetros que se deben tomar en cuenta al momento de calcular las áreas de acero; debido a que se está diseñando sistemas apoyados de forma longitudinal, el acero principal será aquel que se colocara de forma longitudinal, es decir de forma paralela al tramo largo de las escaleras y perpendicular al lado corto de las mismas, dicha área de acero deberá calcularse mediante expresiones que se proporcionarán más adelante, sin embargo el área de acero repartido o transversal será aquel que

se obtendrá del parámetro de área de acero mínimo y este se colocará perpendicular al lado largo del tramo de escaleras y bajo de cada escalón o huella como comúnmente se le conoce.

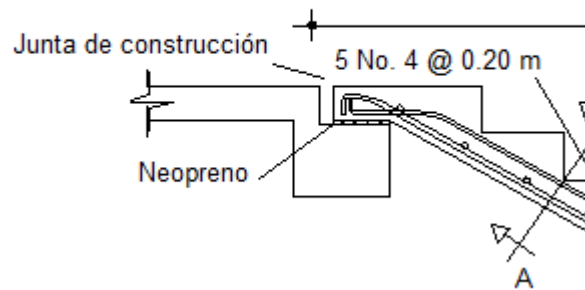
El área de acero de amarre o de anclaje es otro factor importante dentro del diseño de estos sistemas de escaleras, esta área de acero es la que tiene como función el anclar el sistema de escaleras a los sistemas de apoyos que pueden ser vigas de apoyo terminal o losas, es importante mencionar que en el momento en que se diseñan los sistemas de apoyo deben tenerse todas las consideraciones de cargas y esfuerzos que el sistema de escaleras le inducirá a los elementos por lo que el orden lógico indica que previo a diseñar los sistemas de apoyo deben diseñarse los sistemas de escaleras o por lo menos tener ya ideas claras de lo que se diseñará, a fin de evitar problemas posteriores como las fallas que se presentaron en la sección 3.1.1.

Como se comentó anteriormente, se sabe que no existe un empotramiento perfecto, por lo que el diseño está basado en un sistema simplemente apoyado, esto es totalmente beneficioso, ya que permite realizar una serie de procedimientos constructivos que aportaran a la estabilidad de la edificación que contenga nuestro sistema.

Primero como se consideró que ambos extremos están simplemente apoyados se podrá realizar el siguiente procedimiento: se podrá colocar el área de acero de anclaje del sistema de escaleras en el sistema de vigas o losas en un solo extremo dejando el extremo opuesto del sistema libre o simplemente apoyado en un elemento receptor tal y como se muestra en la Figura 18. Como se puede observar en la figura, que al poseer un elemento compresivo que permite

movimiento vertical, a su vez disminuye el esfuerzo de fricción en el apoyo y además contando con una junta de construcción que permite el movimiento horizontal se evitará que en el momento en que se aplique la carga sísmica al sistema, éste inicie una etapa de trabajo bajo un alto porcentaje de compresión y llegue a la falla. Este sistema es también importante ya que llega trabajar como una viga inclinada que funcionará como miembros de embreizado de la edificación haciendo de esta forma que el sistema obtenga beneficios de estabilidad estructural.

Figura 18. **Procedimientos constructivos en escaleras con apoyos longitudinales**



Para el diseño de sistemas de dos o más tramos se recomiendan emplear los mismos parámetros que se están empleando para el diseño de este sistema únicamente debe considerarse un balance de momentos en el descanso, en el cual se uniría un tramo con el otro, además de realizarse un análisis por torsión del descanso.

- **Procedimiento de cálculo:**

Todo análisis de escaleras deberá iniciar por evaluar las características físicas del sistema, hay muchos factores que participaran en este método de diseño físico, pero los que se deben analizar principalmente son: primero, qué longitud tiene el tramo en el cual se deberán construir las escaleras. Segundo, qué altura es la que deberá conectar el tramo pues se debe recordar que se han establecido algunos parámetros de diseño para estos sistemas. En los cálculos siguientes se puede apreciar lo expuesto:

- Estableciendo el sistema de unidades

Como es de conocimiento de todo guatemalteco, en este país no existe un sistema de medición reconocido legalmente, esto sin lugar a duda complica el ámbito científico y se ha visto en la necesidad de emplear sistemas de medición como el inglés, mucha de la bibliografía manejada procede de países que han adoptado este sistema para este caso particular se empleará el sistema inglés, sin embargo algunas medidas se mostraran también en sistema métrico, ya que en Guatemala el ámbito constructivos específicamente la albañilería se maneja en estas unidades de medición.

- Estableciendo datos

Altura que conectará el tramo 1.70 m. (5.58 ft)

Tramo de longitud que cubrirá 3.00 m. (9.84 ft)

Con los datos anteriores, se puede proceder a calcular tanto la huella y su contra huella. Este procedimiento en la mayoría de las veces se hace mediante un ensayo de prueba y error, pero empleando valores que estén dentro de los parámetros establecidos en la sección 3.1. Para este caso, se propondrá emplear para la huella 30 cm y para la contrahuella 17 cm, con el fin de que todas las gradas o escalones tengan uniformidad.

- Estableciendo valores para huellas y contrahuellas

$$2 * (17 \text{ cm}) + (30 \text{ cm}) = 64 \text{ cm}$$

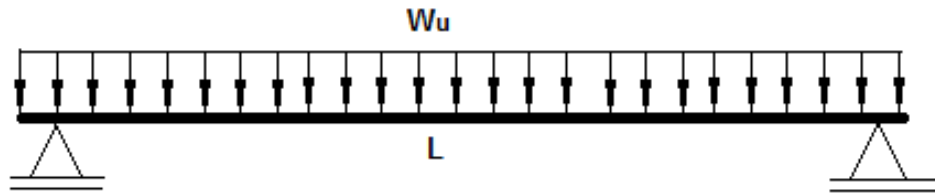
Aunque el valor se encuentra en el límite superior establecido es adecuado para este sistema de escaleras, pues se debe apreciar que de esta manera tendrá uniformidad el tramo a diseñar.

- Estableciendo el modelo de análisis estructural

Como se comentó anteriormente, el método que empleado no influirá en los valores obtenidos, por lo que se procederá a emplear el método de la proyección horizontal del tramo, este método es para el autor el más sencillo de aplicar pero debe llevarse a cabo la elección del método según sea el criterio del diseñador, ya que para cada caso en particular el método adecuado será el que sea más fácil de comprender.

El modelo a emplear será el de una viga simplemente apoyada en sus extremos, con la combinación de cargas determinada para el sistema.

Figura 19. **Modelo a emplear en el análisis y diseño estructural**



- Determinación de cargas

Las cargas que se emplearán para el diseño de este tipo de sistemas serán obtenidas la Tabla II, a excepción de la carga muerta, para ello se realizará una estimación. Referente a cargas ambientales como acumulación de agua, no se considerarán en este caso, ya que se asumirán que son escaleras de uso interno, sin embargo en caso de ser escaleras externas este tipo de cargas deberá aplicarse. En el caso de la carga sísmica no se aplicará al sistema ya que deberá ser a los miembros de anclaje o de apoyo a los que se les aplique la carga en la envolvente de momentos, sin embargo para este diseño debe considerarse todos los parámetros de análisis y diseño de los códigos en los que se considera la carga sísmica, así como sus requerimientos constructivos.

$$W_{viva} = 125 \text{ lb / Pie}^2 \text{ (410 lb / ft)}$$

$$W_{muerta} = \text{Volumen de concreto} * \text{Peso específico del concreto}$$

Volumen: Volumen de losa plana + volumen de escalones =
 $\sqrt{[(1.7 \text{ m})^2 + (3.00 \text{ m})^2]} * 1.00\text{m} * 0.12 \text{ m} + \frac{1}{2} * (0.30\text{m}) * (0.17\text{m}) * 10\text{unidades} = 0.67 \text{ m}^3$

Peso específico: 2450 Kg / m³

$W_{\text{muerta}} = 0.67 \text{ m}^3 * 2450 \text{ Kg} / \text{m}^3 = 1641.5 \text{ Kg}$

$1641.5 \text{ Kg} / 3.45 \text{ m} = 475.79 \text{ Kg} / \text{m} (319 \text{ lb} / \text{ft})$

El valor de carga viva incluye un 15% de valor de sobrecarga por impacto, para un análisis de las cargas empleadas se puede citar el código ACI318S en la sección 8.3.3 que dice que para una estructura de concreto armado la carga viva mayorada no debe exceder tres veces la carga muerta no mayorada, por lo que a continuación se hace el análisis propuesto por el código para chequear la relación de carga empleadas, para ello se utilizara un factor de mayoración de carga viva de 1.6; como se puede apreciar si chequean las cargas bajo el parámetro del código citado.

$$L / D = [1.6 * (410 \text{ lb} / \text{ft})] / 319 \text{ lb} / \text{ft} = 2.06$$

- Estableciendo la combinación de cargas

Respecto de la combinación de cargas existe una diversidad, sin embargo en este caso se emplearan ecuaciones básicas de análisis ya que no se pretende demostrar los procedimientos para llevar a cabo una envolvente de momentos con gran variedad de cargas sino el objetivo es presentar el método de análisis y diseño de sistemas de escaleras por lo que se tomará la expresión para cargas vivas y muertas que se encuentra en la Tabla III. Se debe recordar que la sigla “U”

representa la resistencia requerida, es decir que todo el sistema debe tener la capacidad de resistir esta carga en cualquier parte de su sección.

$$U = 1.2 * \text{Carga muerta} + 1.6 * \text{Carga viva.}$$

$$U = 1.2 * (319 \text{ lb/ft}) + 1.6 (410 \text{ lb/ft})$$

$$U = 1038.80 \text{ lb/ft aproximadamente } 1100.00 \text{ lb/ft}$$

- Determinando diagrama de corte y momento flexionante

Se presentaron ya las ecuaciones para el cálculo de momentos flexionantes, a continuación se presentan las expresiones que se emplearán para la determinación del cortante y sus respectivos diagramas.

$$M_{\text{máximo}} = (1/8) * W_u * L^2 = (1/8) * (1100 \text{ lb/ft}) * (9.85 \text{ ft})^2 = 13,340.59 \text{ lb*ft}$$

$$M_{\text{extremos}} = 25\%[(1/8) * W_u * L^2] = 25\% * (13,340.59 \text{ lb*ft}) = 3,335.45 \text{ lb*ft}$$

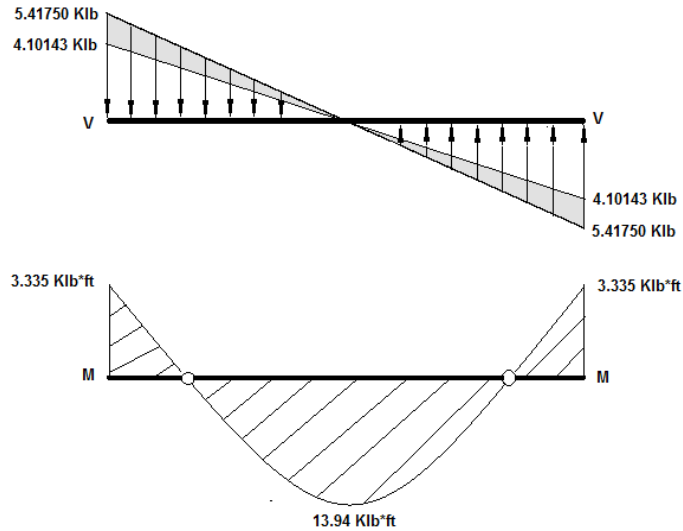
Corte actuante

$$V_{\text{extremos}} = (1/2) * W_u * \cos^2 \theta * L$$

$$(1/2) * (1100 \text{ lb/ft}) * (\cos 29.53^\circ)^2 * 9.85 \text{ ft} = 4,101.43 \text{ lb}$$

Este cortante es el que le transmite la placa que compone el sistema de escaleras a los miembros de anclaje, es decir las vigas en las que se apoyará en sus extremos.

Figura 20. Diagrama de corte y de momento flexionante de tramo de escaleras apoyada longitudinalmente



- Determinando áreas de acero

Las expresiones que permitirán obtener el área de acero para este elemento a flexión se presentan a continuación, los valores de área se determinaran empleando los diagramas de la Figura 20, cabe mencionar que estas ecuaciones se emplean para el diseño de elementos que trabajan a flexión y el sistema de escaleras en un momento dado puede llegar a trabajar como una viga inclinada.

Ecuación para la determinación del acero longitudinal o comúnmente llamando principal:

- $$\frac{M_u}{\phi * b * d^2} = p * F_y \left(1 - \frac{0.59 * F_y * p}{F'_c} \right)$$

Donde:

Mu = Momento flector máximo. (Klb*plg.)

ø = Factor para estructuras a flexión.

P = Cuantía para momento flector máximo.

b = Base de la franja unitaria. (plg.)

d = Peralte de la franja de losa. (plg.)

Fy = Fluencia del acero. (Ksi)

F'c = Resistencia nominal a la compresión. (Ksi)

Determinando el área de acero principal mediante la ecuación presentada:

$$\frac{[(13.94 \text{ Klb}\cdot\text{ft}) * (12 \text{ plg} / 1 \text{ ft})] / [0.9 * 39.36 \text{ Plg} * (3.54 \text{ plg})^2]}{[1 - (0.59 * (60 \text{ Ksi}) * p) / (4 \text{ Ksi})]} = p(60 \text{ Ksi}) *$$

Esta expresión genera una ecuación de segundo grado cuyos resultados son los siguientes:

$$p = 0.006643 \quad ; \quad p = 0.1146$$

Para descartar uno de los valores presentados deben establecerse valores de cuantías máximas y mínimas que permitan descartar los valores arrojados en los cálculos, por lo que a continuación se presentan dichos valores.

$$p_{\text{mín.}} = 0.00333$$

$$p_{\text{máx.}} = 0.01425$$

Con base en estos valores se puede apreciar que el segundo resultado obtenido mediante la solución de la ecuación está muy por arriba del valor máximo de cuantía a emplear y se encuentra también arriba del valor mínimo, por lo que se utilizará el primer valor calculado y se procederá a estimar el valor del área.

$$A_s = 0.006643 * (39.36 \text{ plg} * 3.54 \text{ plg}) = 0.93 \text{ plg}^2$$

Se podrán aplicar 5 No.4 @ 20 cm; siempre y cuando el espaciamiento sea menor al máximo permitido.

La separación para la distribución del acero se realiza mediante el siguiente razonamiento y se comprobará si es posible colocar el acero con la distribución propuesta.

- $S_{\max} = 45 \text{ cm}$
- $S = 3 * t$

Donde:

t = es el espesor de la losa.

$S = 3 * (4.72 \text{ plg.}) = 14.16 \text{ plg. (35.97 cm)}$; si chequea la distancia propuesta.

Para la determinación del área de acero distribuida se empleará el concepto de cuantía mínima, con esta área se determinará el área de acero que deberá distribuirse a manera de parrilla para contrarrestar los esfuerzos por contracción del concreto y los cambios por temperatura del acero, el área distribuida es la siguiente:

$$A_{\text{mínima}} = 0.00333 * (39.36 \text{ plg} * 3.54 \text{ plg}) = 0.46 \text{ plg}^2$$

Se podrán aplicar 4 No.3 @ 25 cm; Bajo la especificación de la separación máxima que indica el párrafo anterior.

- Realización del esquema de armado de las escaleras

La figura 21 representa básicamente la forma en que un sistema de escaleras de este tipo debe armarse estructuralmente hablando, para ello se tendrá en cuenta todos los criterios de armado que establece el código ACI318S y algunas normas guatemaltecas. Los criterios a seguir son los siguientes:

El refuerzo longitudinal constará de no menos de cuatro varillas de acero corrugado y cuya evaluación supere los requisitos mínimos establecidos por la norma COGUANOR NGO36011, para este caso se empleó acero $f_y = 60000$ psi.

El concreto a emplear deberá tener una resistencia nominal a la compresión no menor de 3000 psi, sin embargo para este caso se empleó $f'_c = 4000$ psi.

Los diámetros de doblado del acero deberán realizarse con base en el capítulo 7 del ACI318S que indica que para varillas de la No. 3 a la No.8 el diámetro de doblado para ganchos deberá ser de 6 veces el diámetro de la varilla.

Para los ganchos de anclaje se recomienda que la medida del mismo a partir de la finalización de la convergencia curva deberá tener no menos de 7.5 cm

y deberá regirse bajo la condicionante que debe tener una longitud de 12 el diámetro de la varilla sin dejar de considerar el límite mínimo impuesto.

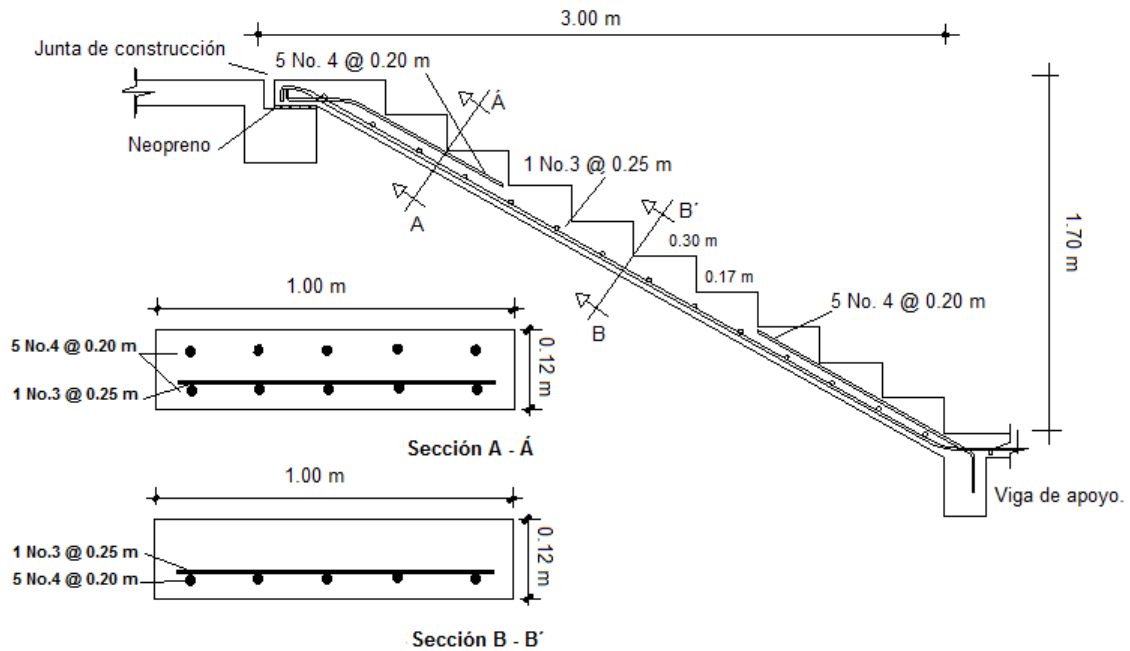
En todos los casos se deberá colocar el emparrillado de acero para contrarrestar los esfuerzos de contracción y temperatura, además se deberá colocar refuerzo en los escalones con el fin de confinar la masa de concreto contenida en ellos, a fin de evitar agrietamiento.

El formateado y la fabricación en obra del concreto deberán basarse en las recomendaciones del capítulo 5 y 6 del ACI318S.

Referente a la mano de obra se recomienda estricta supervisión y no contratar servicios a destajo sino de forma asalariada para que el ejecutor no busque únicamente el finalizar de manera rápido el elemento, con el fin de percibir mayores ingresos en poco tiempo sino que busque la calidad.

Referente a los agregados se recomienda que todos estén sometidos a pruebas de control de calidad bajo la norma ASTM C33 y ASTM C131 para el agregado fino y grueso respectivamente, recordando la realidad nacional y la realidad en toda obra que en la mayoría de las veces no se realizan ensayos, se recomienda buscar empresas de buen nombre que respalden los resultados de los materiales o bien contratar concreto premezclado.

Figura 21. Esquema de armado y secciones de escaleras de un tramo



Luego de haberse realizado y diseñado el diagrama de armado del sistema de escaleras, se deben hacer algunas aclaraciones, una de las más importantes es que en el extremo superior de las escaleras se puede observar una junta de trabajo así como un apoyo compresible de neopreno. Esto es posible ya que como se comentó con anterioridad, el modelo empleado para el diseño fue un sistema simplemente apoyado y aunque a la vista humana parezca el extremo inferior empotrado, este concepto es falso ya que no existe un empotramiento perfecto, por lo tanto el esquema representado es el modelo de un sistema simplemente apoyado.

Cuando se pretende realizar un sistema de dos o más tramos el procedimiento a emplear es el mismo, tanto para el diseño de los tramos como para el diseño de los apoyos siempre y cuando cada tramo sea independiente uno

respecto del otro, pero para casos en los cuales se pretende que el sistema de dos tramos trabaje de forma monolítica se deberá realizar un análisis de torsión en el descanso, esto se podrá apreciar en la sección que se dedica al sistema autoportante de escaleras, sin embargo como recomendación se deben trabajar cada uno de los tramos de forma independiente y cada uno de ellos tener su apoyo en estructuras como losas y vigas terminales para evitar torsión en los elementos.

5.3 Sistemas de escaleras ortopoligonales

Este sistema de escaleras como se comentó en la sección 2.1.3.4 es un sistema que se caracteriza por no poseer una losa plana que le sirva de recubrimiento al sistema sino solamente está compuesto por huella y contrahuella, este sistema se puede clasificar como un sistema especial y debido a esto para su análisis deben aplicarse métodos que no son aplicables a los otros sistemas.

Para el análisis estructural de este sistema de escaleras se empleará un método denominado “Método de aproximación de la analogía de la columna” que considera el sistema como una estructura aperturada de un vano y se obtienen los momentos por medio de este criterio. Para solución de un sistema de este tipo se deberá tomar como consideración especial un empotramiento imperfecto en los apoyos con esto se pretende anular los momentos de empotramiento en la estructura aunque para este tipo de escaleras se recomienda emplear vigas de empotramiento en los extremos aunque para su análisis no sean incluidas. Debido a que el sistema de escaleras se considerara un marco o pórtico como le denomina el ACI318S se podrán aplicar todas aquellas recomendaciones de análisis que establece el capítulo 8 del código citado anteriormente, el análisis se conducirá específicamente a la sección 8.3 de donde se extraen las siguientes ideas y procedimientos:

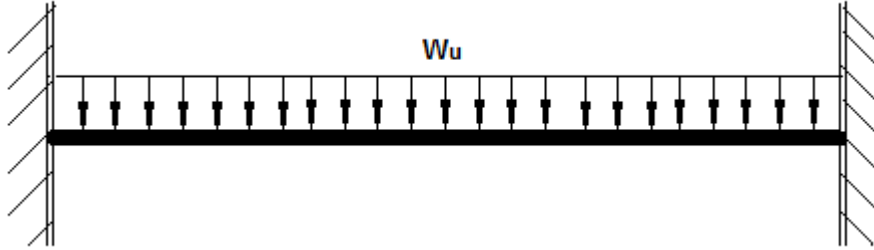
Todos los elementos de pórticos o estructuras continuas deben ser diseñados para resistir los efectos máximos producidos por las cargas mayoradas determinadas de acuerdo con la teoría del análisis elástico.

Pueden emplearse métodos aproximados de análisis siempre y cuando sean aplicables al tipo de estructura y su construcción no requiera análisis especiales.

Se permite utilizar como sustitución de métodos aproximados las siguientes expresiones: Para momentos negativo en las caras interiores del miembro $Wu \cdot L^2 / 12$; para momentos positivos en el centro del claro $Wu \cdot L^2 / 24$, siempre y cuando se cumpla con las condiciones: que exista más de un vano en el pórtico, este es opcional para sistemas de escaleras ortopoligonales; los vanos sean aproximadamente iguales sin que el mayor exceda el menor en un 20% de su longitud (aplicable a sistemas de escaleras); Las cargas estén uniformemente distribuidas (aplicable a sistemas de escaleras); que la carga viva no exceda más de tres veces la carga muerta no mayorada y que los elementos sean prismáticos (aplicable a sistema de escaleras). Si el sistema satisface estos requisitos aplicables a sistemas de escaleras se podrán aplicar las expresiones citadas.

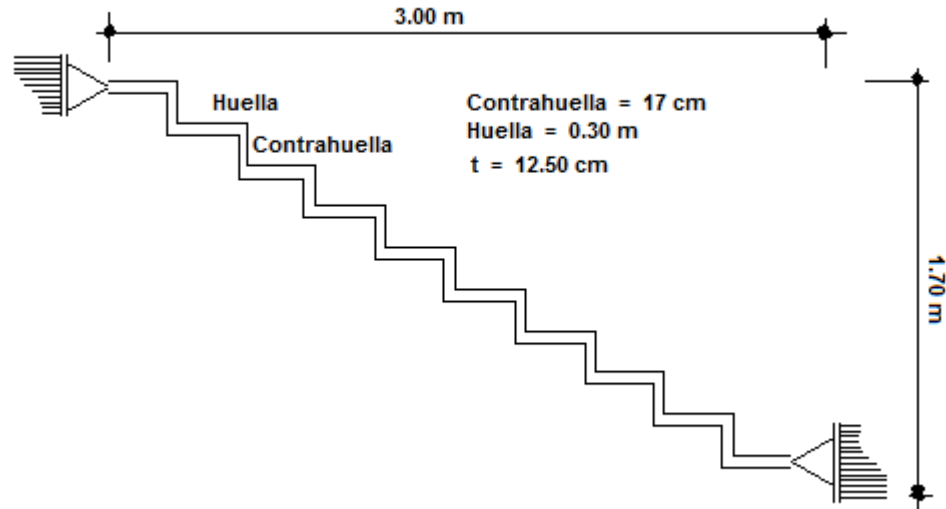
Los extremos deben considerarse parcialmente empotrados y sin momentos.

Figura 22. Modelo de análisis a emplear para sistema orto-poligonal



Luego de establecer la forma en que se realizará el análisis, se procederá a establecer el sistema que se diseñará como ejemplificación del método, además se establecerán algunos datos que serán importantes para el análisis y diseño, para que sea más interesante se utilizará el mismo modelo empleado para el análisis y diseño de la sección dedicada a los sistemas de un tramo, únicamente que se modificará para poderse ejecutar para este tipo de sistema tal y como se puede observar en la Figura 23. Las propiedades mecánicas del acero y del concreto que se emplearán en este diseño es un factor que es fundamental definir, el concreto deberá tener una resistencia nominal a la compresión de 4,000 psi y el acero por su parte deberá tener un valor de fluencia de 60,000psi, haciendo ya definido estos valores se procede a analizar y diseñar el sistema.

Figura 23. Esquema de sistema ortopoligonal a diseñar



- **Procedimiento de cálculo:**

Para llevar a cabo el análisis y el diseño de esta estructura como bien se mencionó se emplearán todos aquellos valores de carga, longitudes, alturas, huellas y contrahuellas del sistema anterior, este procedimiento se realizara de esta forma para poder observar como varían las características tanto físicas como estructurales de un sistema de escaleras cuando varía su configuración. Sin embargo, se presentan a continuación el resumen de datos que se emplearan de forma común con el ejercicio anterior.

Tabla XIV. Datos a emplear en el diseño del sistema de escaleras ortopoligonal

DATOS IMPORTANTES PARA EL DISEÑO				
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	VALOR	UNIDADES
Altura que conectará el tramo	1.70	m	5.58	ft
Tramo horizontal proyectado que cubrira el tramo	3.00	m	9.84	ft
Huella	0.30	m	11.81	Plg
Contrahuella	0.17	m	6.69	Plg
Carga muerta	475.79	Kg / m	319.05	Lb / ft
Carga viva	610.00	Kg / m	410.00	Lb / ft
Resistencia nominal a la compresión del concreto	210.00	Kg / cm ²	4000.00	psi
Valor de fluencia del acero	4200.00	Kg / cm ²	60000.00	psi

Ya definidos los datos que se emplearan del ejemplo anterior se procederá a entrar de forma directa al análisis y diseño estructural. En este caso ya no se evaluarán características de diseño arquitectónico, ya que se emplearán los mismos datos del ejemplo anterior, se puede apreciar en el procedimiento de cálculo de ese mismo ejemplo como los valores empleados fueron ya chequeados y cada uno de ellos cumple con los requisitos impuestos por códigos constructivos.

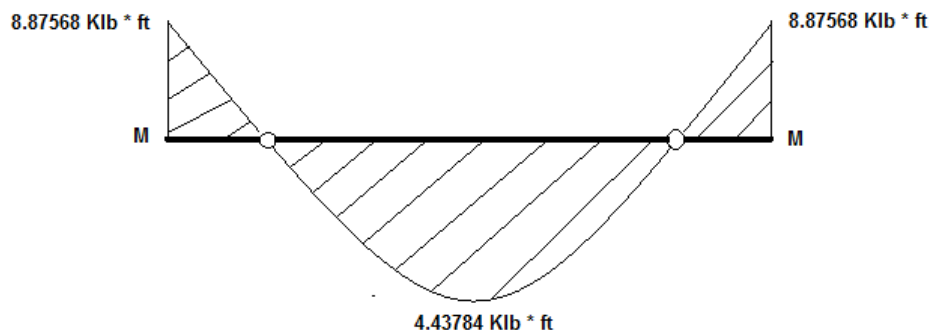
- Determinando el diagrama de momento flexionante

Para el diseño a flexión de este tipo de elementos se deben tomar todas las consideraciones que se presentaron al principio de esta sección (Ver Capítulo 8 ACI318S) habiendo ya evaluado y comprobado que se satisfacen, se puede entonces proceder a desarrollar el diagrama de momento que será el que nos permitirá posteriormente determinar el área de acero principal.

$$M_{\text{extremos}} = (1/12) * W_u * L^2 = (1/12) * (1100 \text{ lb/ft}) * (9.84 \text{ ft})^2 = 8,875.68 \text{ lb*ft}$$

$$M_{\text{central}} = (1/24) * W_u * L^2 = (1/24) * (1100 \text{ lb/ft}) * (9.84 \text{ ft})^2 = 4,437.84 \text{ lb*ft}$$

Figura 24. Diagrama de momento Flexionante para sistema ortopoligonal de escaleras



- Determinando el área de acero

El procedimiento para la determinación del área de acero reduda en el mismo análisis planteado para el caso del sistemas simplemente apoyado de la sección 5.2, a continuación se aplicarán los mismos procedimientos y obtendrá el área de acero principal con la diferencia que su colocación será diferente, esto se podrá observar en el esquema de armado al final del ejemplo.

$$\bullet \quad \frac{M_u}{\phi * b * d^2} = p * F_y \left(1 - \frac{0.59 * F_y * p}{F'_c} \right)$$

Ecuación de grado 2 para la determinación del valor de cuantía de acero.

$$[(8.87568 \text{ Klb*ft}) * (12 \text{ plg /1 ft})] / [0.9*39.36 \text{ plg}*(3.54\text{plg})^2] = p(60 \text{ Ksi}) * [1 - (0.59*(60\text{Ksi})*p)/(4 \text{ Ksi})]$$

$$p = 0.001946 \quad ; \quad p = 0.1110$$

Para descartar uno de los valores presentados deben establecerse valores de cuantías máximas y mínimas que permitan descartar los valores arrojados en los cálculos, por lo que a continuación se presentan dichos valores. Lo que permite elegir el valor de la cuantía mínima, ya que uno de los resultados esta por arriba del máximo y el otro por debajo del mínimo.

$$p_{\text{mín.}} = 0.00333$$

$$p_{\text{máx.}} = 0.01425$$

$$A_s = 0.00333 * (39.36 \text{ plg} * 5.12 \text{ plg}) = 0.67 \text{ plg}^2$$

Se podrán aplicar 6 No.3 15 cm; siempre y cuando el espaciamiento sea menor al máximo permitido.

La separación para la distribución del acero se realiza mediante el siguiente razonamiento y se comprobará si es posible colocar el acero con la distribución propuesta.

- $S_{\max} = 45 \text{ cm}$
- $S = 3 * t$

Donde:

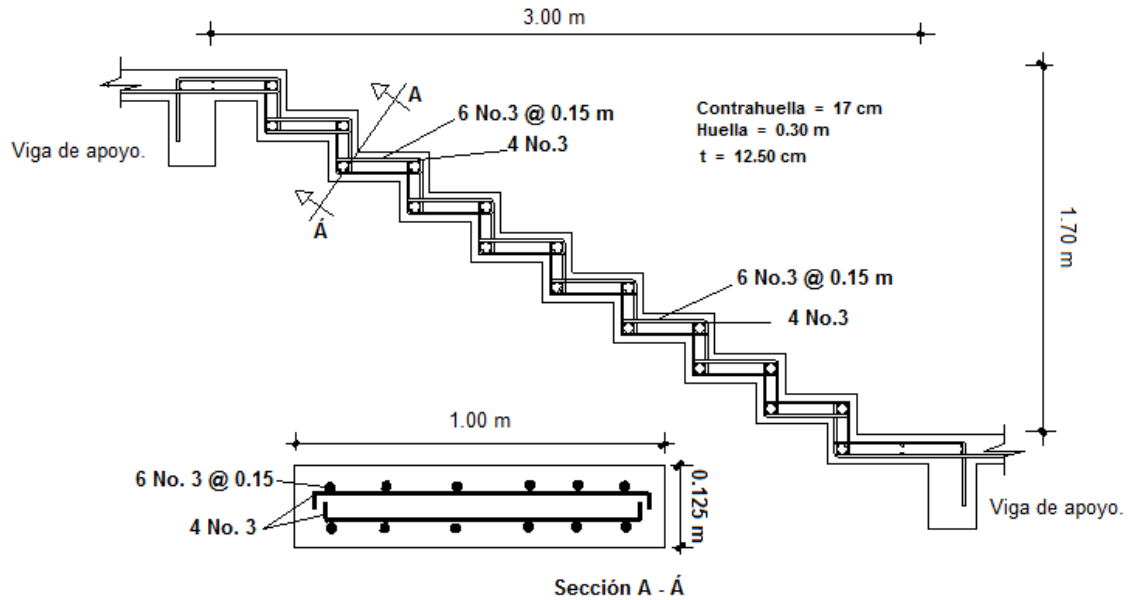
t = es el espesor de la losa.

$S = 3 * (4.92 \text{ plg.}) = 14.76 \text{ plg. (37.50 cm)}$; si chequea la distancia propuesta.

- Realización del esquema de armado de las escaleras

La figura 25 representa básicamente la forma en que un sistema de escaleras de este tipo debe armarse estructuralmente hablando para ello se tendrá en cuenta todos los criterios de armado que establece el código ACI318S y algunas normas guatemaltecas, los requisitos y normas de los que se habla se citaron ya en la sección 5.2, por lo que se recomienda citarlas nuevamente para cada uno de los sistemas que se diseñaron y de aquí en adelante se diseñarán.

Figura 25. Esquema de armado de escaleras ortopoligonales apoyadas longitudinalmente



Luego de haberse realizado el diagrama de armado del sistema de escaleras vale la pena establecer que los requerimientos de armado para este tipo de escaleras serán los mismos que se tomaron para el sistema de escaleras simplemente apoyado, véase sección 5.2, además el corte para este tipo de escaleras no se revisa pues como se puede observar en la Figura 25, el armado se realiza a manera de estribos que longitudinalmente trabajarán como acero a flexión, pero que contribuyen también a la resistencia de los esfuerzos de corte que le induce la carga aplicada.

Respecto de los sistemas de apoyos de este caso particular de sistema de escaleras, se deberán tomar en consideración todos los parámetros tanto de análisis, diseño y ejecución que proporcionan los códigos que emplean la aplicación de la carga sísmica en un sistema.

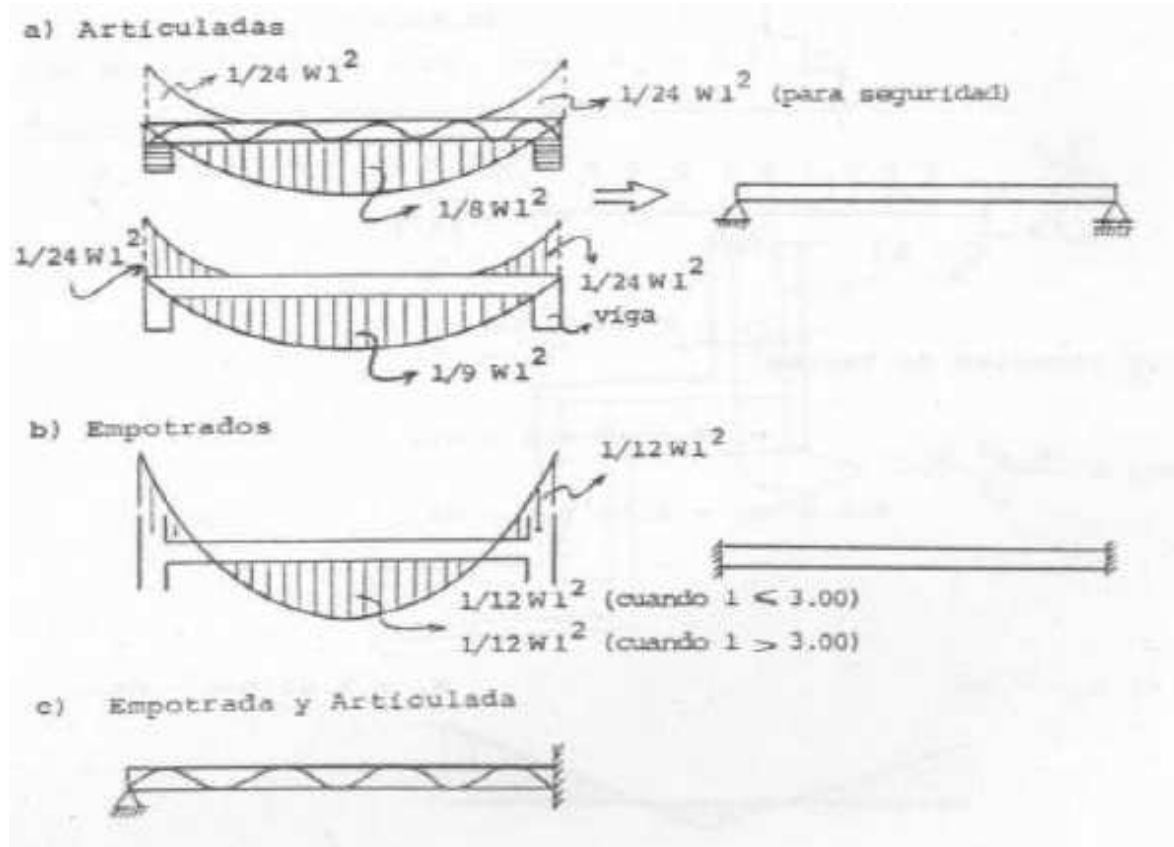
5.4 Sistemas de escaleras apoyadas transversalmente

Este tipo de sistemas se caracteriza por poseer sus apoyos en los extremos tal y como se citó en la sección 2.1.1.1.2.1; este tipo de sistemas por poseer sus apoyos en los extremos de las huellas generan que en la estructura de la misma únicamente se implemente un refuerzo transversal permitiendo así que la estructura del escalón sea auto-portante. Este tipo de sistemas puede considerarse que se encuentra simplemente apoyada en sus extremos o bien empotrada en los mismos.

La filosofía empleada para el análisis de este tipo de estructuras se basa en la suposición que el sistema de escaleras está compuesto únicamente por sus huellas que al encontrarse apoyadas en sus extremos se comportan de la misma forma que una viga, esto es referente a la filosofía de análisis, respecto del diseño estructural como tal las ecuaciones y parámetros con los cuales se dispondrá a diseñar serán los mismos que los empleados que para cualquier otro tipo de viga y respecto de la ejecución las recomendaciones son básicamente las mismas que para el otro sistema

Para proceder al análisis estructural de este tipo de escaleras resulta conveniente establecer primeramente la configuración de los apoyos para posteriormente definir las expresiones que generarán los momentos, tanto en los extremos como en los centros de los sistemas de escaleras, esta información se encuentra plasmada en la figura 26.

Figura 26. **Sistemas de apoyo y expresiones para obtención de momentos flexionantes**

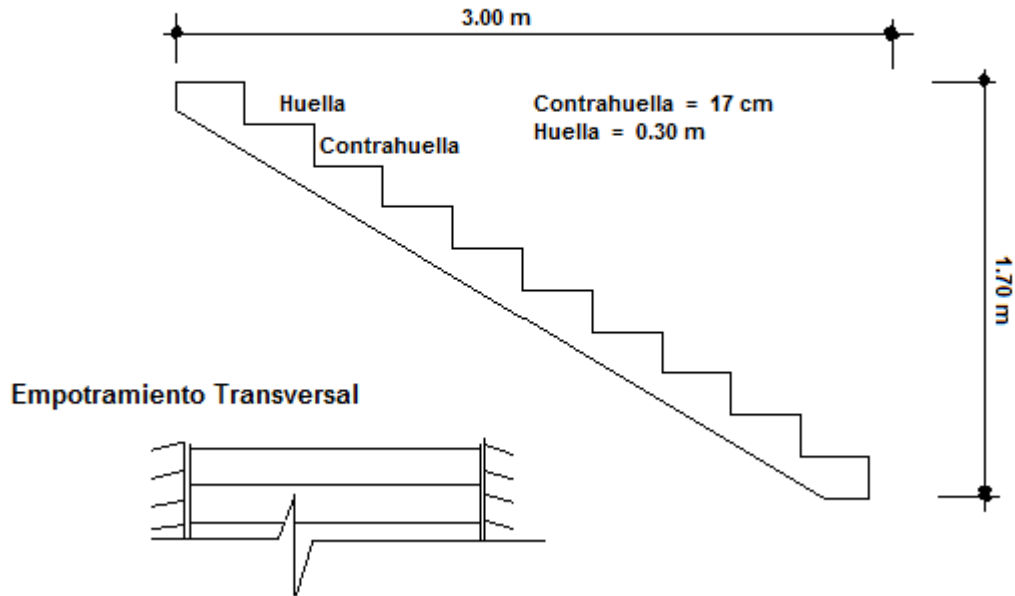


Fuente: Fernández Chea / **Análisis y diseño de escaleras. Página 32**

Habiendo definido las expresiones que deberán implementarse para determinación de los momentos flexionantes en los miembros de un sistema de escaleras de este tipo, se procederá a definir el sistema a diseñar con los datos fundamentales de diseño y posteriormente proceder al procedimiento de cálculo.

El sistema que se diseñará será el sistema expuesto en la sección 5.1, como se mencionó con anterioridad, tanto los datos como el sistema a diseñar será el mismo ya que con esta información se podrá observar como varían las características de armado de acuerdo al método de diseño empleado, a continuación se presenta el esquema del sistema a diseñar.

Figura 27. Sistema de escaleras empotradas transversalmente a diseñar



Los valores de cargas y otros parámetros que se emplearon en este sistema se muestran en la Tabla XV que serán los que se emplearán para este sistema, según los criterios ya mencionados, dicha tabla se presenta a continuación:

Tabla XV. Datos físicos y mecánicos a emplear en el diseño del sistema

DATOS IMPORTANTES PARA EL DISEÑO				
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	VALOR	UNIDADES
Altura que conectará el tramo	1.70	m	5.58	ft
Tramo horizontal proyectado que cubrira el tramo	3.00	m	9.84	ft
Huella	0.30	m	11.81	Plg
Contrahuella	0.17	m	6.69	Plg
Carga muerta	475.79	Kg / m	319.05	Lb / ft
Carga viva	610.00	Kg / m	410.00	Lb / ft
Resistencia nominal a la compresión del concreto	210.00	Kg / cm ²	4000.00	psi
Valor de fluencia del acero	4200.00	Kg / cm ²	60000.00	psi

- **Procedimiento de cálculo:**

De igual forma que se realizó en la sección 5.3 donde no se evaluaron parámetro de diseño arquitectónico, ni se evaluaron características de cargas, etc. debido a que los datos empleados son los mismos que los empleados en la sección 5.2 todos estos parámetros fueron ya evaluados y aprobados. Por lo que se procederá inmediatamente a los procedimientos correspondientes.

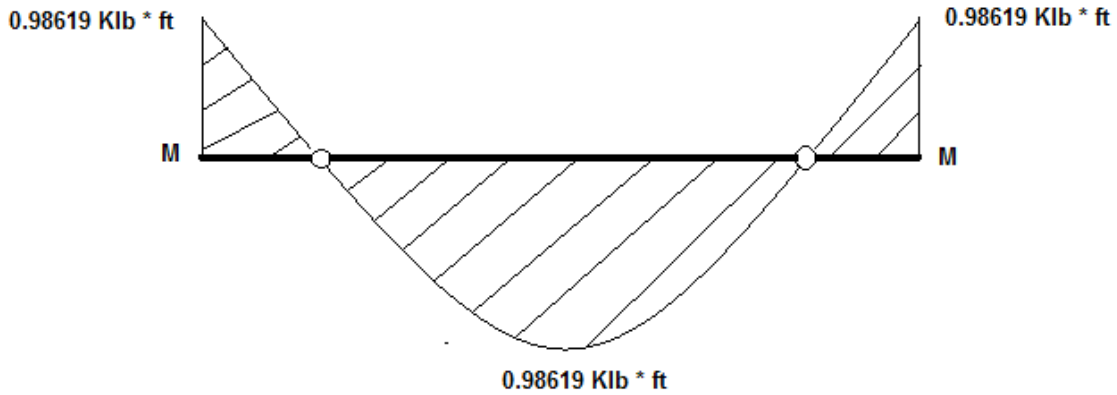
- **Determinación de diagrama de momento flexionante**

Mediante las gráficas y expresiones que se muestran en la Figura 26, se procederá a la determinación de los momentos que actúan en esta supuesta viga, como bien se determinó en la Figura 27. El sistema a diseñar está basado en un sistema de escaleras de losa plana empotrada en sus extremos por lo que se emplearan las expresiones del caso “b” de la Figura 26, donde la longitud a emplear será de 1.00 m que corresponde al ancho del sistema de escaleras y no la longitud total del tramo longitudinalmente hablando.

$$M_{\text{extremos}} = (1/12) * W_u * L^2 = (1/12) * (1100 \text{ lb/ft}) * (3.28 \text{ ft})^2 = 986.19 \text{ lb*ft}$$

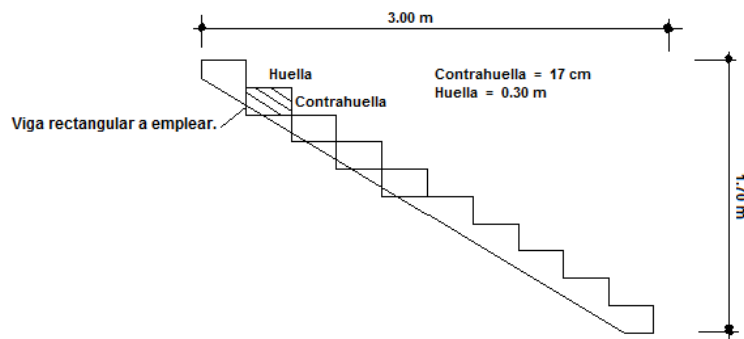
$$M_{\text{extremos}} = (1/12) * W_u * L^2 = (1/12) * (1100 \text{ lb/ft}) * (3.28 \text{ ft})^2 = 986.19 \text{ lb*ft}$$

Figura 28. Diagrama de momento flexionante transversal en tramo de escaleras



Ya que se obtuvieron los momentos que se generan en los escalones de un sistema de escaleras como el que se planteó para este ejemplo, se procederá a realizar el diseño estructural apropiado para este análisis. Como se estableció al principio de este ejemplo, se indicó que la suposición sería que el escalón se comportaría como una viga rectangular por lo que en la Figura 29 se presenta un esquema de la suposición a llevar a cabo para facilitar el diseño de la misma.

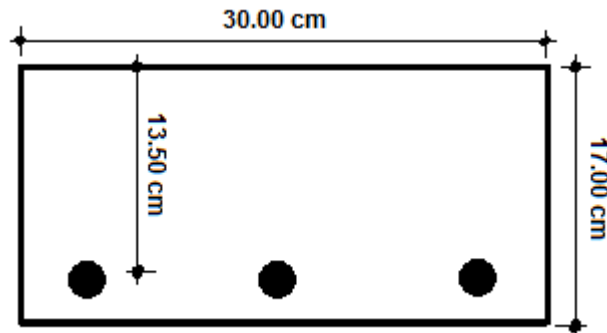
Figura 29. Suposición de diseño para empotramiento transversal



La sección transversal de la viga será como base la huella y como altura la contra huella, el peralte estará dado por la distancia que hay desde el eje

centroidal de la barra de refuerzo hasta la fibra extrema en compresión como en cualquier otra viga, por lo tanto la viga a diseñar es la siguiente.

Figura 30. **Viga rectangular que constituye el escalón del sistema de escaleras**



- Determinando el área de acero

El procedimiento para la determinación del área de acero es el mismo que se empleará para los ejemplos anteriores, ya que en todos los casos la suposición de diseño es que son elementos que trabajan a flexión, el área de acero principal se determina a continuación:

$$\frac{M_u}{\phi * b * d^2} = \rho * F_y \left(1 - \frac{0.59 * F_y * \rho}{F'_c} \right)$$

Ecuación de grado dos para la determinación del valor de cuantía de acero.

$$[(0.98619 \text{ Klb*ft}) * (12 \text{ Plg} / 1 \text{ ft})] / [0.9 * 11.81 \text{ Plg} * (5.31 \text{ plg})^2] = \rho (60 \text{ Ksi}) * [1 - (0.59 * (60 \text{ Ksi}) * \rho) / (4 \text{ Ksi})]$$

$$\rho = 0.0006620 \quad ; \quad \rho = 0.1123$$

Mediante el sistema de descartes de cuantías que se ha empleado se puede observar que se debe emplear el valor de la cuantía mínima, ya que los valores obtenidos en los cálculos no se encuentran en los intervalos establecidos.

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.00333$$

$$\rho_{\text{máx.}} = 0.01425$$

$$A_s = 0.00333 * (11.81 \text{ Plg} * 5.31 \text{ Plg}) = 0.21 \text{ Plg}^2$$

Se podrán aplicar 2 No.3 15 cm.

El área de acero calculada corresponde al acero que se le deberá colocar a cada uno de los escalones, es decir que en un metro deberán haber no menos de 7 varillas No.3, esto es para el momento positivo, ahora debería proceder al cálculo del acero para momento negativo sin embargo como para este caso particular el momento tanto negativo como positivo poseen los mismos valores las áreas de acero serán las mismas por lo que en la parte superior de la de la viga deberá colocarse 2 No.3, esto se hace con dos fines primero confinar la masa de concreto que sin este acero quedaría expuesta a fallas y segundo aunque la luz es tan corta en este caso existe un porcentaje de tensión en los extremos de la viga debido a los momentos de empotramiento y la flexión del escalón, sin embargo cabe mencionar que este tipo de escaleras pueden tener un máximo de 6.00 m de ancho siempre y cuando los apoyos tengan la capacidad de resistirlo.

Este como todos los sistemas deberá poseer un sistema de armado de acero para resistir aquellos esfuerzos provocados por los cambios de temperatura y contracción en el concreto, dicha área se determina siguiendo el procedimiento que se muestra a continuación:

$$A_s = 0.00333 * (39.37 \text{ plg}) * (5.31 \text{ plg}) = 0.70 \text{ plg}^2 / 6 \text{ unidades} = 0.11 \text{ plg}^2$$

Aplicando 1 No.3 @ 0.15 m como emparrillado.

- Chequeo por corte

Este caso particular a diferencia de los antes llevados a cabo debe chequearse por cortante inducido en los miembro, ya que como se citó en secciones interiores, el corte por tensión diagonal es crítico en elementos como las vigas, por ello se procede a chequear por corte esta estructura y determinar si necesita la implementación de estribos.

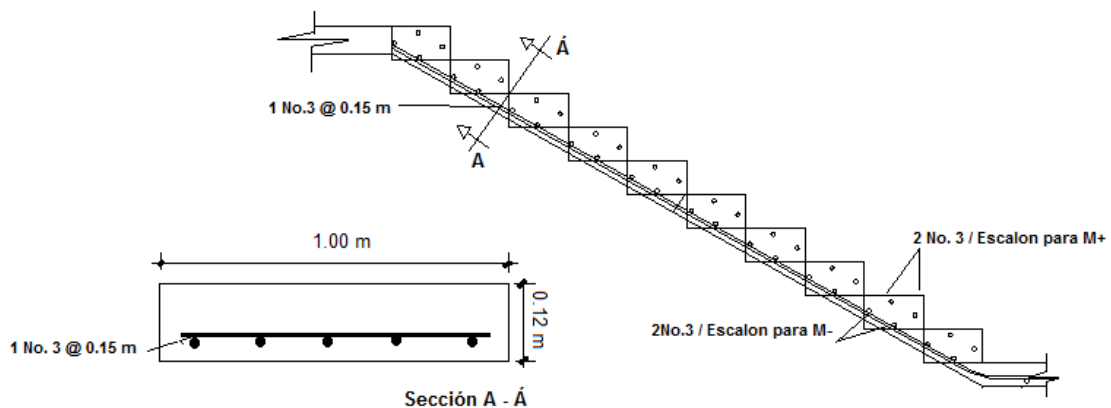
$$V_d = 1100 \text{ lb / ft} (3.28 \text{ ft} / 2 - 5.31 \text{ plg} / 12) = 1317.25 \text{ lb}$$

$$V_c = 8 * \sqrt{4000 \text{ psi}} = 505.96 \text{ psi}$$

$$V_u = 1317.25 \text{ lb} / (11.81 \text{ plg} * 6.69 \text{ plg}) = 16.67 \text{ psi}$$

$V_u < V_c$, por lo tanto, sí resiste el corte que se le induce y no requiere estribos.

Figura 31. Esquema de armado de escaleras apoyadas transversalmente



- Estableciendo parámetros importantes

Como se mencionó con anterioridad, todos los requisitos de diseño, análisis y ejecución serán los mismos que los citados en la sección 5.2, sin embargo el autor hace una recomendación que consiste en lo siguiente: debido a que el apoyo será de forma transversal, es decir que será el escalón el que se apoyará en una estructura de concreto armado como lo podría ser una viga de apoyo lateral, se recomienda que al momento de fundir este elemento se dejen previstas las esperas que constituirán al armado principal del escalón del sistema, en caso de no haberse dejado previstas la espera en la viga de apoyo se puede barrenar la viga teniendo precaución de no dañar el refuerzo de la misma e introducir las esperas previa aplicación de epóxico Sikadur 32 Prime N, Sikadur 45 o bien algún otro producto que brinde la capacidad suficiente de adherencia con una longitud de desarrollo por lo menos del 75% de la longitud necesaria, ya que se debe tomar en cuenta que aunque el epóxico sea de alta adherencia si la longitud de anclaje es corta genera un cono de esfuerzo de gran amplitud que podría ser arrancado al momento de presentarse esfuerzos de gran envergadura.

5.5 Sistema de escaleras con escalones en voladizo

Este tipo de sistema de escaleras se puede clasificar como un caso especial de los sistemas apoyados transversalmente ya que por lo regular este tipo de sistema se emplea empotrando el extremo de una losa o viga de concreto armado a un sistema de apoyo que puede ser una viga, una columna o bien un muro de empotramiento, sin embargo sea cual sea su apoyo el procedimiento de análisis es el mismo que en el caso de una escalera apoyada transversalmente.

La filosofía del funcionamiento estructural de este tipo de sistemas se basa en que cada uno de los escalones se soporta mediante un empotramiento en un elemento rígido y cada escalón trabaja de forma individual sin inducir esfuerzos uno respecto del otro y estos esfuerzos son disipados mediante la deformación de una sección de viga en voladizo que constituye el cuerpo mismo del escalón. En ocasiones se suelen emplear como escalones vigas de sección continua y muy ocasionalmente se emplean vigas de sección variable o bien conocidas como acarteladas. Aunque en las suposiciones del análisis de estas estructuras se asume que toda la energía se disipa mediante la deformación de los escalones y la vibración de los mismos es sabido por todo ingeniero que este tipo de empotramientos acompañados de sus respectivas cargas inducirán flexión a los elementos de apoyo, para el caso de las escaleras helicoidales o llamadas comúnmente gradas de caracol el elemento a flexo-compresión deberá diseñar como se indica en esta sección.

Como se ha realizado en las secciones anteriores, se procederá a establecer los parámetros de diseño que se emplearán para este ejemplo de aplicación de sistemas de escaleras con escalones en voladizo y se presentará también un breve resumen del diseño del elemento a flexo-compresión que aunque no es el tema en estudio en este tipo de escaleras juega un papel vital.

Los datos que se emplearán serán los mismos que se han estado empleando en los ejemplos anteriores, ya que los valores de carga se encuentran ya mayorados y chequeados mediante los requisitos del ACI318S, además incluyen ya un porcentaje de carga de impacto, el valor de sobrecarga y valores de acabado, este valor de carga dado en la tabla XVI se utilizara como base pues para este ejemplo se considerara una barandilla de concreto armado que rodeará todo el sistema. Este tipo de barandilla no ha sido empleado en los anteriores

diseños por lo que se empleará una estimación que deberá agregarse a este valor de carga. El resto de los datos serán los mismos. La Figura 32 presenta el esquema del sistema de escaleras helicoidales a diseñar en esta sección.

Figura 32. Sistema de escaleras helicoidales

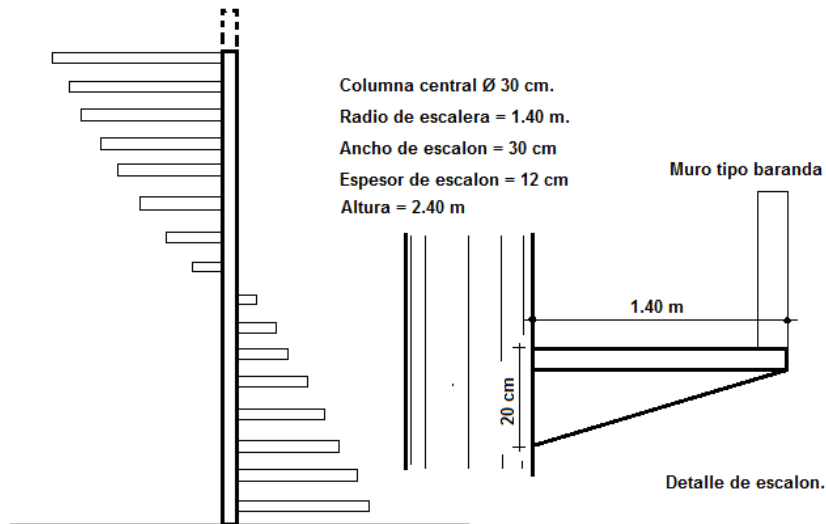


Tabla XVI. Datos a emplear en diseño de sistema helicoidal

DATOS IMPORTANTES PARA EL DISEÑO				
DESCRIPCION	VALOR	UNIDADES	VALOR	UNIDADES
Altura que conectará el tramo	2.40	m	5.58	ft
Huella	0.30	m	11.81	Plg
Carga muerta	475.79	Kg / m	319.05	Lb / ft
Carga viva	610.00	Kg / m	410.00	Lb / ft
Resistencia nominal a la compresión del concreto	210.00	Kg / cm ²	4000.00	psi
Valor de fluencia del acero	4200.00	Kg / cm ²	60000.00	psi

Habiendo ya definido el sistema que se diseñará y sus respectivos datos, se deben hacer algunas aclaraciones entre ellas:

El sistema de escaleras contará con un muro tipo baranda con las dimensionales de 0.15 m de ancho, 0.30 m de largo y 1.00 m de alto fabricado con concreto armado, la función de este será brindar protección al usuario que utilice este sistema de escaleras, cabe mencionar que esta carga deberá estimarse para agregarse a la carga usada como base pues en esta carga se estimó un barandal de peso liviano. El resto de valores como acabados esta ya considerado.

Se empleará un sistema de vigas acarteladas que constituirán los escalones del sistema helicoidal, este sistema acartelado se empleará debido al barandal que se pretende colocarle en cada escalón se considera que le inducirá esfuerzos muy grandes en la zona del empotramiento.

Ya que se definieron los datos y se realizaron algunas especificaciones que será importante conocer para el diseño y el análisis de un sistema eficiente de escaleras se procederá a realizar el procedimiento de análisis y posteriormente el diseño del sistema.

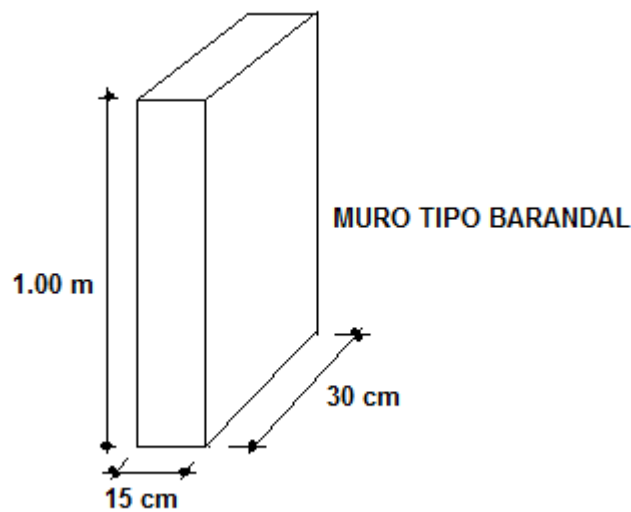
- **Procedimiento de cálculo:**

Como se mencionó en el párrafo anterior, ya han quedado definidos los datos mecánicos y físicos a emplear en el sistema de escaleras, por lo cual se puede proceder a realizar el análisis y el diseño de la estructura paso a paso de la manera siguiente:

- Evaluación de cargas

Como se indica en la Figura 32, el sistema de escaleras llevará en cada escalón un muro que funcionará como sistema de seguridad para el usuario, es decir un tipo de baranda. Las características físicas del muro son las siguientes:

Figura 33. Características físicas del muro tipo barandal a emplear en cada escalón



La carga que se tenía estimada como carga muerta corresponde a un valor de 319.05 lb / ft, como bien se mencionó esta carga contempla el sistema mismo de escaleras así como una serie de acabados más un barandal de peso liviano, por lo que se deberá incluir en este valor de carga la estimación del peso del barandal, este procedimiento se realizará de la manera siguiente:

$$W_{\text{muro}} = (0.15 \text{ m} \cdot 0.30 \text{ m} \cdot 1.00 \text{ m}) \cdot (2400 \text{ Kg/m}^3) = 108 \text{ Kg (238 lb)}$$

$$W_{\text{esc}} = (0.10 \text{ m} \cdot 0.3 \text{ m} \cdot 1.40 \text{ m}) \cdot (2400 \text{ Kg/m}^3) = 100.8 \text{ Kg (222 lb)}$$

$$W_{\text{esc}} = (1/2 \cdot 0.10 \text{ m} \cdot 1.40 \text{ m} \cdot 0.30 \text{ m}) \cdot (2400 \text{ Kg/m}^3) = 50.4 \text{ Kg (111 lb)}$$

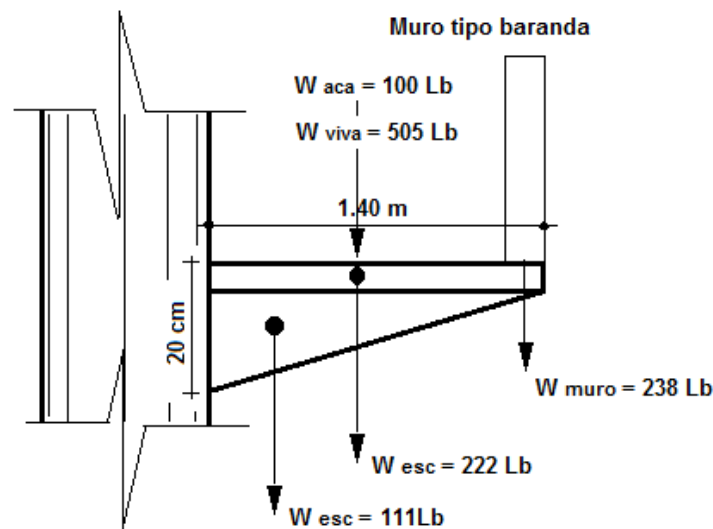
$$W_{\text{aca}} = (1.25 \text{ m} \cdot 0.30 \text{ m} \cdot 122 \text{ kg/m}^2) = 45.75 \text{ Kg (100lb)}$$

$$W_{viva} = (0.30 \text{ m} * 1.25 \text{ m}) * (611 \text{ Kg/m}^2) = 229 \text{ Kg (505 lb)}$$

Mayoración de cargas

$$U = 1.2(228 \text{ lb} + 222 \text{ lb} + 111 \text{ lb} + 100 \text{ lb}) + 1.6(505 \text{ lb}) = 1601 \text{ lb}$$

Figura 34. Disposición de cargas en sistema de escaleras en voladizo



- Determinación de momentos

Como se puede apreciar en la Figura 33, la disposición de cada una de las cargas en el sistema es totalmente diferente que para los casos anteriores, por ende, la determinación de los momentos se efectuara por medio de las cargas obtenidas en el análisis anterior y serán multiplicadas por sus distancias centroidales tomando como eje de referencia el punto de empotramiento. Por lo que el momento flector actuante en el sistema se obtiene de la forma siguiente:

$$M_{muro} = (4.6 \text{ ft} - 0.49 \text{ ft}) * (1.2 * 238 \text{ lb}) = 1,173.82 \text{ lb*ft}$$

$$M_{esc} = (4.6 \text{ ft} / 2) * (1.2 * 222 \text{ lb}) = 612.72 \text{ lb*ft}$$

$$M_{esc} = (4.6 \text{ ft} / 3) * (1.2 * 111 \text{ lb}) = 204.24 \text{ lb*ft}$$

$$M_{aca} = (4.6 \text{ ft} / 2) * (1.2 * 100 \text{ lb}) = 276 \text{ lb*ft}$$

$$M_{viva} = (4.6 \text{ ft} / 2) * (1.6 * 505 \text{ lb}) = 1,858.40 \text{ lb*ft}$$

$$M_{TOTAL} = 3,876.18 \text{ lb*ft}$$

A manera de comparación, se determinará el momento mediante la expresión de la Figura 26 en el esquema posee un lado del escalón empotrado y el otro simplemente apoyado, el valor obtenido es el siguiente:

$$M = [(1601 \text{ lb} / 0.98\text{ft}) * (4.6 \text{ ft})^2] / 10 = 3,456.85 \text{ lb*ft}$$

Como puede observarse el valor obtenido mediante esta expresión varia en un 12% del valor obtenido mediante un método analítico, esto comprueba que los valores que se obtienen mediante este tipo de expresiones son muy cercanos a los valores reales por lo que en casos específicos en los que se permita utilizar este tipo de expresiones es conveniente emplearlas.

- Determinando el área de acero

El procedimiento para la determinación del área de acero es básicamente la misma en los otros ejemplos, esto se debe a que todos los elementos que constituyen sistemas de escaleras trabajan fundamentalmente bajo esfuerzos de flexión, el área de acero para este caso se determina de la manera siguiente:

$$\frac{M_u}{\phi * b * d^2} = \rho * F_y \left(1 - \frac{0.59 * F_y * \rho}{F'_c} \right)$$

Ecuación de grado 2 para la determinación del valor de cuantía de acero.

$$\begin{aligned} & [(3.87618 \text{ Klb*ft}) * (12 \text{ plg /1 ft})] / [0.9 * 11.81 \text{ plg} * (6.69 \text{ plg})^2] = \rho (60 \text{ Ksi}) \\ & * [1 - (0.59 * (60 \text{ Ksi}) * \rho) / (4 \text{ Ksi})] \end{aligned}$$

$$\rho = 0.00165 \quad ; \quad \rho = 0.1113$$

Mediante el sistema de descartes de cuantías que se ha empleado se puede observar que se debe emplear el valor de la cuantía mínima, ya que los valores obtenidos en los cálculos no se encuentran en los intervalos establecidos.

$$\rho_{\text{mín.}} = 0.00333$$

$$\rho_{\text{máx.}} = 0.01425$$

$$A_s = 0.00333 * (11.81 \text{ plg} * 6.69 \text{ plg}) = 0.26 \text{ plg}^2$$

Se podrán aplicar 2 No.3

- Chequeo por corte

Este caso particular a diferencia de los antes llevados a cabo debe chequearse por cortante inducido en los miembros, ya que como se citó en secciones interiores el corte por tensión diagonal es crítico en elementos como las vigas, por ello se procede a chequear por corte esta estructura y determinar si necesita la implementación de estribos.

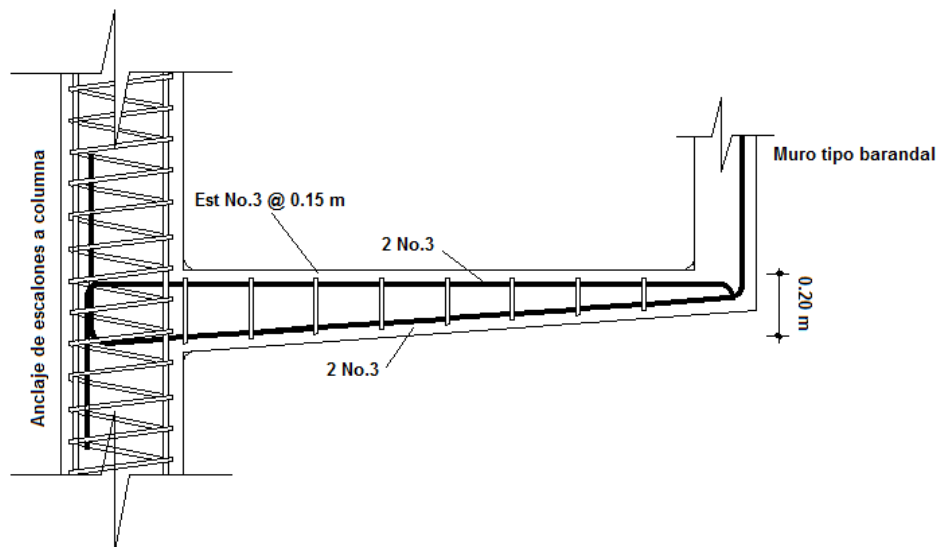
$$V_u = 1601 \text{ lb} / (0.85 * 11.81 \text{ plg} * 6.69 \text{ plg}) = 23.84 \text{ psi}$$

$$V_c = 8 * \sqrt{4000 \text{ psi}} = 505.96 \text{ psi}$$

$$V_u < V_c$$

Del análisis llevado a cabo, se determina que resiste el corte que se le induce y no requiere estribos aunque por requisito del ACI se le colocaran estribos de confinamiento en toda su longitud.

Figura 35. Esquema de armado de escalones de sistema helicoidal



- Estableciendo información importante

Como puede apreciarse en la Figura 35, los anclajes de cada escalón deben anclarse en el extremo opuesto del ingreso al elemento y justo delante de la varilla principal y del espiral de la columna, esto sin lugar a duda generará una gran congestión de acero en el elemento por lo que se recomienda que en todas las ocasiones el apoyo, es decir la columna central posea una sección circular con un diámetro no menor de 30 cm y además que al concreto se le agregue un aditivo fluidificante que le brinde trabajabilidad a la mezcla y se evite poner en riesgo la integridad de la estructura.

Como bien se mencionó con anterioridad en esta sección aunque no se detallaría el procedimiento de diseño del elemento trabajando a flexo-compresión si se proporcionarían algunos parámetros que son de vital importancia entre ellos se puede mencionar que el elemento trabajara en un alto porcentaje a flexión; sin embargo la flexión máxima del elemento se presentará cuando se haya completado el primer ciclo de escalones, es decir, cuando se encuentre en el escalón que coincida con la mitad de la altura útil del elemento, dicho momento se determinará mediante la expresión $M_{\text{máx}} = (2/3) * W r^3$, donde “W” corresponde a la carga a emplear y “r” se refiere a la longitud que existe desde el centro de la columna hasta el extremo opuesto del escalón, este momento será el que deberá emplearse para el diseño del elemento de apoyo central y por su parte la carga axial corresponderá a la sumatoria de la carga o el peso de los peldaños hasta la mitad de la columna y el peso de la mitad de la columna. Otro factor importante que se debe definir es el valor de la “k” este deberá suponerse siempre para este tipo de sistemas como “K = 1”. Estos son los parámetros que se deben tener en cuenta el procedimiento a emplear es el habitual para este tipo de elementos.

5.6 Elaboración de hoja electrónica para modelación y diseño de escaleras

En la actualidad se ha desarrollado de una forma sorprendente todo lo que se refiere a tecnología, es muy común que una persona tome un computador, emplee *software* especializado para llevar a cabo en cuestión de segundos procedimientos que hace unos 50 años eran muy complejos y tediosos. Muchos aseguran que el computador ha desplazado al personal humano, sin embargo esto es un concepto totalmente erróneo, ya que aunque un *software* puede llevar a cabo tareas muy complicadas en segundos se requiere de una mente pensante que verifique si los resultados generados por el *software* son correctos o incorrectos. En este punto juega su papel principal un ingeniero manipulador de este tipo de tecnología, pues se puede mencionar que un programa únicamente actúa de forma mecánica y no de manera racional siendo el pensar la labor primordial del ingeniero.

En esta sección se presentarán una hoja electrónica construida por el autor en el software Microsoft Excel 2007. Esta hoja electrónica lo que pretenden es demostrar la facilidad con la que un programa puede efectuar cálculos, gráficas entre otras actividades, ingresando sencillamente un conjunto de datos a la memoria del ordenador. Además ejemplificar para que el lector puede de manera sencilla crear otras hojas de trabajo como herramientas personales de trabajo.

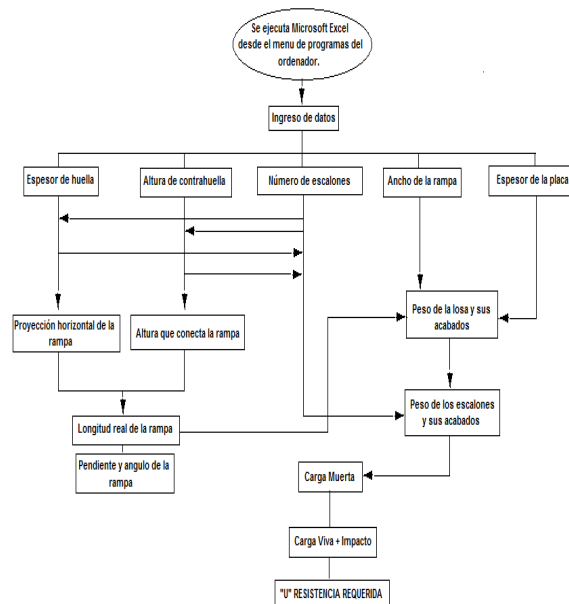
La hoja de cálculo presentada fue elaborada como una herramienta que permite por medio de la previa modelación de un sistema de escaleras obtener los parámetros de cargas juntamente con sus detalles. Esta hoja electrónica incluye una opción para ingreso de datos en donde se ubicaran todos aquellos datos que describen físicamente el sistema posteriormente con estos datos la hoja de cálculo genera ciertos datos que se emplearán para la obtención y manipulación de las

diferentes cargas del sistema, el diagrama de flujo y cada una de la fórmulas empleadas para esta hoja de cálculo se presentan a continuación.

5.6.1 Diagrama de flujo

Un diagrama de flujo no es más que la representación gráfica de un conjunto de acciones que un sistema deberá llevar a cabo de forma lógica con el objetivo de obtener una acción en el sistema que genere un evento buscado. Para el caso particular de esta hoja de cálculo presentada el fin primordial es proporcionar una herramienta que permita hacer que el procedimiento de análisis y evaluación de cargas sea mucho más fácil y no se pierda tiempo en estos procedimientos mecánico que un computados puede llevar a cabo sin ningún problema y aprovechar este tiempo a la tarea primordial del analista y diseñador. El diagrama de flujo se presenta a continuación:

Figura 36. **Diagrama de flujo de hoja electrónica para modelación y análisis de cargas**



5.6.2 Manual de usuario, expresiones de cálculo y comparación cálculo manual-cálculo electrónico

Esta hoja electrónica que se presenta no requiere de procedimientos complejos sino que se basa sencillamente en el ingreso de expresiones que se utilizan para el cálculo manual únicamente dejando los valores principales a manera de variables, dichas ecuaciones se presentan a continuación para cada uno de las celdas que las requieren.

- Menú Ingreso de datos

En este menú se ingresan todos aquellos valores de modelación física entre ellos se encuentran; espesor de huella, altura de contrahuella, número de escalones, ancho de la rampa y espesor de la placa que compondrá la base del sistema este menú se debe crear de la manera siguiente:

Figura 37. Menú de ingreso de datos de sistema

INGRESAR DATOS	
Características	metros
Espesor de huellas	0.30
Altura de contrahuellas	0.17
Número de escalones en rampa	10
Ancho total de la rampa	1.00
Espesor de la placa	0.12

Este menú cuenta con cinco únicos datos que deben ser ingresados, se puede apreciar que estos datos corresponden al ejemplo presentado en la sección 5.2 con esto se pretende verificar si los datos empleados en estos ejemplos son correctos, que tan cercanos a la realidad se encuentra y comparar que diferencias

se encuentran entre el análisis manual y el computarizado. Para este menú no se requiere de ninguna ecuación de cálculo, ya que estos valores serán asignados directamente y serán estos los que constituirán variables dentro del sistema.

- Generación de datos mediante datos ingresados

Mediante los datos ingresados en el menú anterior se obtiene el siguiente menú con los datos que se pueden apreciar, las funciones de cálculo se presentan posteriores a la gráfica del menú.

Figura 38. **Datos generados mediante el ingreso de datos del menú de la figura 37**

DATOS GENERADOS	
Largo de la rampa (proyección horizontal)	3.00
Altura de la rampa "H"	1.70
Longitud inclinada de la rampa	3.448
Pendiente de la rampa	0.567
Ángulo de inclinación de la rampa	29.54
Coseno del ángulo	0.870

Mediante el dato ingresado del espesor de huella, altura de contrahuella y número de escalones se puede obtener la longitud proyectada de la rampa, la altura a conectar y la longitud real del tramo, estos datos se obtiene mediante simple trigonometría como se muestra a continuación:

$$\text{Largo de rampa (Proyección horizontal)} = 0.3\text{m} * 10\text{unidades} = 3.00 \text{ m}$$

$$\text{Altura de la rampa} = 0.17 \text{ m} * 10 \text{ unidades} = 1.70 \text{ m}$$

$$\text{Longitud inclinada de la rampa} = \sqrt{[(1.70\text{m})^2 + (3.00\text{m})^2]} = 3.448 \text{ m}$$

Como se podrá observar, esta hoja de cálculo no es más que un simple juego de variable, ya que habiendo obtenido estos valores se puede obtener con simples operaciones aritméticas la pendiente de la rampa, el ángulo de inclinación y el coseno del mismo, esto se obtiene de la manera siguiente:

$$\text{Pendiente de la rampa} = 1.70 \text{ m} / 3.00 \text{ m} = 0.567$$

$$\text{Angulo de inclinación de la rampa} = \text{tangente inversa} (0.567) = 29.54^\circ$$

$$\text{Coseno del ángulo} = \text{Coseno} (29.54^\circ) = 0.870$$

- Generación de cargas involucradas en el sistema

Los valores que fueron ya ingresados generan valores que se relacionan ya directamente con las cargas del sistema el menú correspondiente a esta sección de cargas se presenta en la Figura 39.

Figura 39. Menú de estimaciones de cargas

ESTIMACIONES DE CARGAS				
Con estos datos de dimensiones y pendientes analizamos las cargas en Tn/m2 de área en proyección horizontal:				
TRAMO INCLINADO DE SALIDA:				
Peso propio de losa			0.331	Tnf/m2
Peso propio de los escalones			0.204	Tnf/m2
Acabado de los escalones			0.069	Tnf/m2
Acabado inferior en rampa de losa			0.379	Tnf/m2
SUBTOTAL DE CARGA PERMANENTE	0.983			Tnf/m2
Carga viva en rampa			0.350	Tnf/m2
Carga de impacto			0.053	Tnf/m2
SUBTOTAL DE CARGA VIVA	0.403			Tnf/m2
TOTAL CARGA DE SERVICIO			1.386	Tnf/m2
DETERMINANDO CARGA MAYORADA				
Para ver combinaciones y factores de mayoracion citar Tabla III				
Descripción de carga	Carga	Factor de carga	Carga mayorada	Unidades
Carga permanente	0.983		1.180	Tnf/m2
Carga viva	0.403		0.644	Tnf/m2
Carga de ambiente	0.000		0.000	Tnf/m2

Para la determinación de las cargas únicamente se aplican los valores obtenidos ya en la hoja de cálculo de la siguiente forma:

$W_{losa} = \text{ancho de la losa} * \text{espesor de losa} * \text{longitud inclinada} * \text{peso específico del concreto.}$

$W_{escalones} = 0.5 * \text{espesor de huella} * \text{altura de contrahuella} * \text{peso específico del concreto.}$

$W_{acabados} = \text{espesor del acabado} * \text{área de aplicación} * \text{peso específico del acabado.}$

Como se menciona en la tabla resumen, las combinaciones pueden apreciarse en el código ACI318S específicamente en el capítulo 8, y como se puede apreciar el valor obtenido de carga mayorada fue de 1.82 ton / m² que corresponde a 372.97 Lb / ft² que distribuida de forma lineal se obtiene un valor de 1,223.34 Lb / ft que supera únicamente en 11% el valor que se aplicó para las ejemplificaciones, por lo que se puede apreciar que los valores sean obtenidos de forma manual como electrónica deberán oscilar en las mismas cantidades.

Figura 40. **Menú de resultados**

Carga límite	
Valor de carga	Unidades
1.82	Tnf / m ²
372.97	Lbf / ft ²

Tal y como se mencionó esta hoja de cálculo no es más que un ejemplo para que el lector puede con facilidad contar con una herramienta que le permita agilizar muchos de los cálculos que son de largo proceso, además con este breve ejemplo se podrán llevar a cabo hojas electrónicas de mucha más capacidad.

CONCLUSIONES

1. Se determinó que los sistemas de escaleras juegan un papel de mucha importancia dentro de toda edificación, tanto para su estabilidad como para el uso y comodidad que representan para el usuario.
2. Existe una cantidad limitada de bibliografía referente a este tema, por lo que el conocimiento sobre estas estructuras es reducido.
3. Para la planificación, análisis y diseño de este tipo de estructuras se debe ser muy cuidadoso y conservador de los parámetros a emplear.
4. La mano de obra a emplear en este tipo de sistemas debe ser calificada para la actividad que se está realizando, ya que este tipo de obras pueden constituirse en obras de arte.
5. Son pocos los sistemas de escaleras que han sido ejecutados de la forma tanto física como estructural que se planificó, esto recae nuevamente en la mala mano de obra que se emplea y con la que se cuenta en Guatemala sin dejar de mencionar los malos supervisores que llevan a cabo las obras.

RECOMENDACIONES

1. Legalizar un código guatemalteco que legisle toda construcción para la República de Guatemala.
2. Recopilar y actualizar constantemente la información concerniente a este tipo de estructuras.
3. Impartir los procedimientos y criterios a emplear en este tipo de estructuras, en los cursos de análisis y diseño de las diferentes universidades del país
4. Instruir al estudiante y demostrar la importancia que los sistemas de escaleras pueden tener en una estructura, para dejar de tomarlos como sistemas secundarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACI 318S-05. **Requisitos esenciales para edificios de concreto reforzado para edificios de tamaño y altura limitados basado en ACI 318-02.** Colombia: International Publication Series, 2002. 256 Pág.
2. ACI 318SR-05. **Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05). Informado por el comité ACI 318.** Estados Unidos de América: International Publication Series, 2005. 495 Pág.
3. BLASCO, ANTONIO BLANCO. **Estructuración y diseño de estructuras de concreto armado.** Consejo departamental de Lima 2000. 155 Pág.
4. CALAVERA, JOSÉ. **Proyecto y cálculo de estructuras de hormigón-tomo I.** España: INTEMAC 1999. 897 Pág.
5. FERNANDEZ CHEA, CARLOS ANTONIO. **Análisis y Diseño de escaleras,** Lima Perú, 108 Pág.
6. GONZÁLEZ, ÓSCAR. **Análisis estructural.** México: Limusa, 2002. 584 Pág.
7. HARMSEN TEODORO E. **Diseño de estructuras de concreto armado.** Universidad Nacional de Perú: Fondo Editorial de Perú 2002. 629 Pág.
8. M.Y.H BANGASH. **Structural details in concrete.** OXFORD: LONDON EDHINBURG BOSTON ediciones 1998. 269 Pag.
9. NILSON, Arthur. **Diseño de estructuras de concreto.** 12^aEd. Colombia: Mcgraw-Hill Interamericana, S.A. 772pág.

APÉNDICE

Tabla 1.	Características físicas de las varillas de acero para concreto armado según ACI318S-05 APENDICE E	116
Tabla 2.	Tabla de equivalencias de valores de fluencia del acero y compresión del concreto en diferentes sistemas de mediciones según ACI318S-08 APENDICE E	116
Figura 1.	Esquema general de un sistema de escaleras. T HARMSEN, Diseño de estructuras de concreto armado	117
Figura 2.	Esquema general de armado estructural de un sistema de escaleras. M.Y.H BANGASH, Structural details in concrete	118
Figura 3.	Disposición de sistemas de escaleras dentro de una edificación. M.Y.H BANGASH, Structural details in concrete	119
Figura 4.	Diferentes ganchos y refuerzos transversales de acero para concreto armado. M.Y.H BANGASH, Structural details in concrete	120

Tabla 1. **Características físicas de las varillas de acero para concreto armado según ACI318S-05 APENDICE E**

BARRAS DE REFUERZO ESTÁNDAR DE LA ASTM

Barra No.*	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm ²	Masa nominal, kg/m
10	9.5	71	0.560
13	12.7	129	0.994
16	15.9	199	1.552
19	19.1	284	2.235
22	22.2	387	3.042
25	25.4	510	3.973
29	28.7	645	5.060
32	32.3	819	6.404
36	35.8	1006	7.907
43	43.0	1452	11.38
57	57.3	2581	20.24

*Los números de designación de las barras aproximan el número de milímetros del diámetro nominal de la barra.

Tabla 2. **Tabla de equivalencias de valores de fluencia del acero y compresión del concreto en diferentes sistemas de medicions según ACI318S-08 APENDICE E**

	<i>Sistema SI esfuerzos en MPa</i>	<i>Sistema mks esfuerzos en kgf/cm²</i>	<i>Sistema Ingles esfuerzos en libras por pulgada cuadrada (psi)</i>
	1 MPa	10 kgf/cm ²	142.2 psi
	$f'_c = 21$ MPa	$f'_c = 210$ kgf/cm ²	$f'_c = 3\ 000$ psi
	$f'_c = 28$ MPa	$f'_c = 280$ kgf/cm ²	$f'_c = 4\ 000$ psi
	$f'_c = 35$ MPa	$f'_c = 350$ kgf/cm ²	$f'_c = 5\ 000$ psi
	$f'_c = 42$ MPa	$f'_c = 420$ kgf/cm ²	$f'_c = 6\ 000$ psi
	$f_y = 240$ MPa	$f_y = 2\ 400$ kgf/cm ²	$f_y = 34\ 000$ psi
	$f_y = 420$ MPa	$f_y = 4\ 200$ kgf/cm ²	$f_y = 60\ 000$ psi

Figura 1. Esquema general de un sistema de escaleras. T HARMSEN, Diseño de estructuras de concreto armado

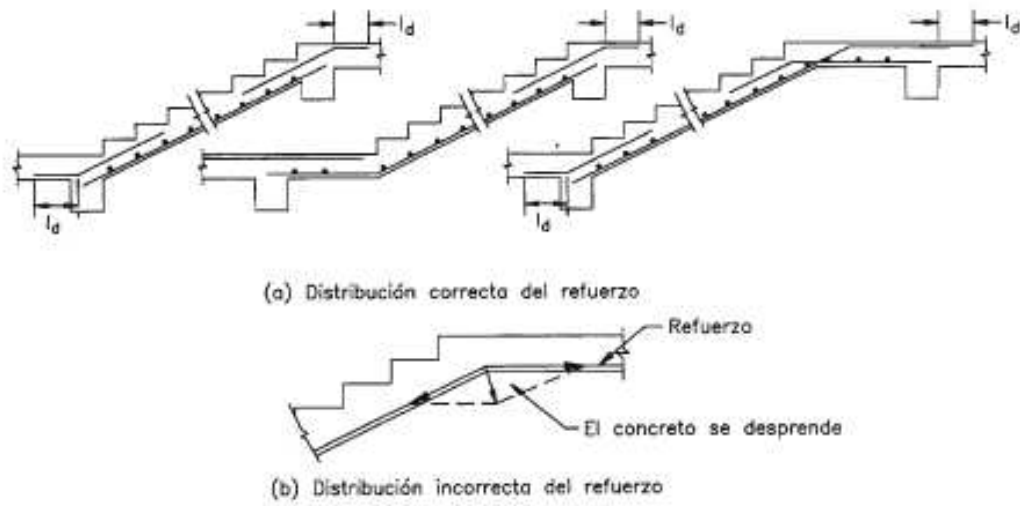


Figura 9.19. Distribución del refuerzo en escaleras

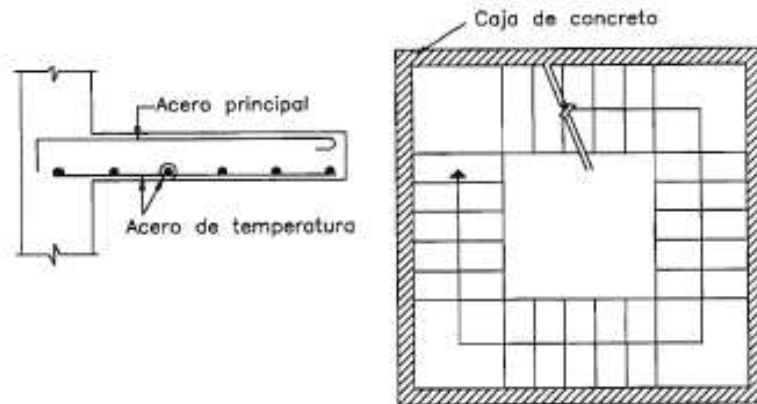


Figura 9.20. Escalera desarrollada dentro de caja de concreto

Figura 2. Esquema general de armado estructural de un sistema de escaleras. M.Y.H BANGASH, Structural details in concrete

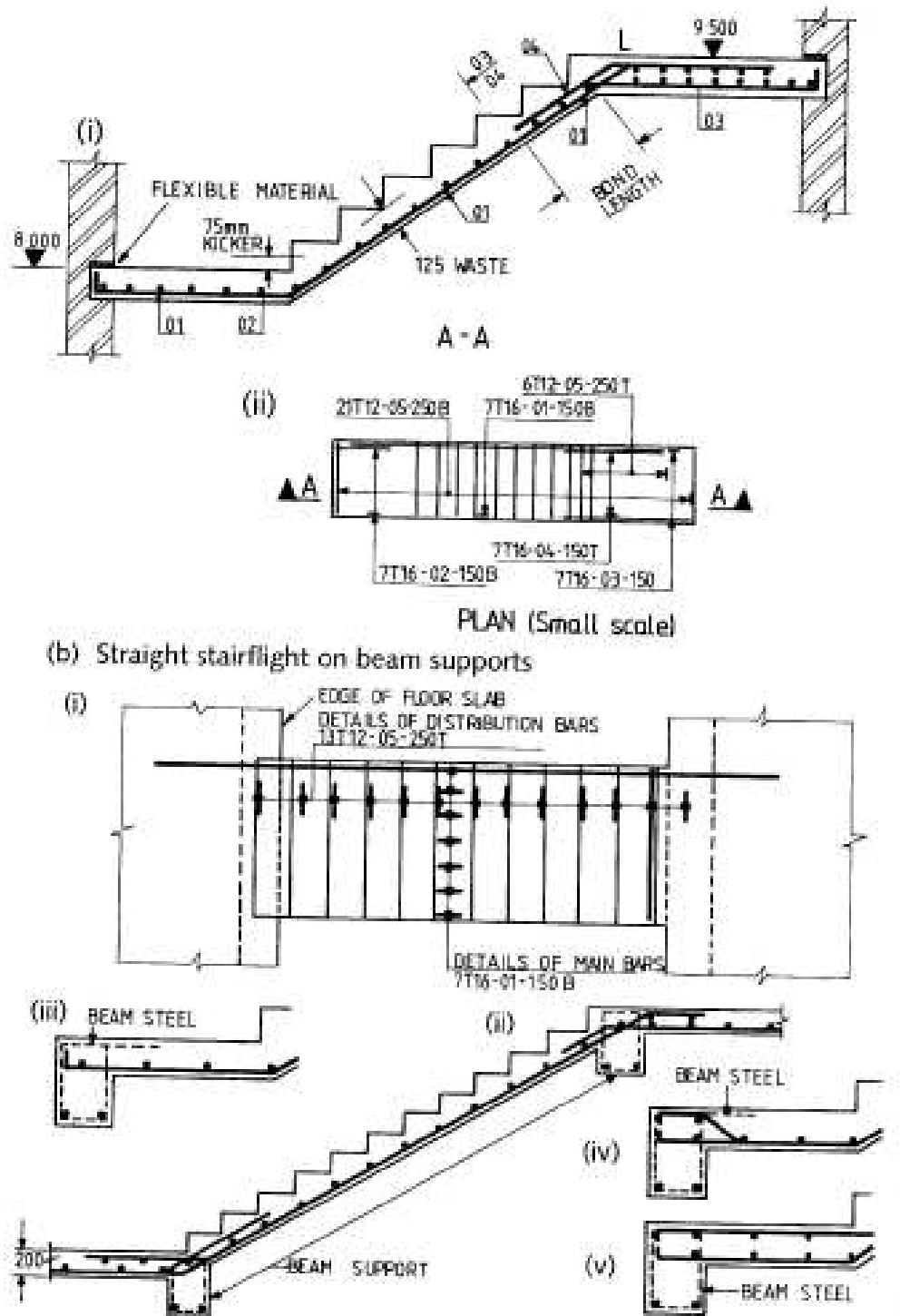
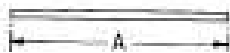








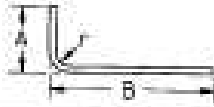



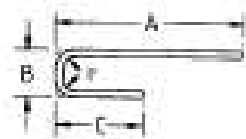




Figura 4. Diferentes ganchos y refuerzos transversales de acero para concreto armado. M.Y.H BANGASH, Structural details in concrete

SHAPE CODE	METHOD OF MEASUREMENT OF BENDING DIMENSIONS	TOTAL LENGTH OF BAR (L) MEASURED ALONG CENTRE LINE	SKETCH & DIMENSIONS TO BE GIVEN IN SCHEDULE
20		A	STRAIGHT
32		$A + h$	
33		$A + 2h$	
34		$A + h$	
35		$A + 2h$	
37		$A + B - 1/2R - \phi$	
38		$A + B + C - R - 2\phi$	
OR		$A + B + C - R - 2\phi$	
L1		<p>WHERE D IS AT LEAST 2ϕ</p> <p>$A + B + C$</p> <p>$A + B + C - r - 2\phi$</p> <p>IF THE ANGLE TO THE HORIZONTAL $> 45^\circ$</p>	