

UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

**MÉTODOS DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS:**  
**COMPARACIÓN DE LOS MÉTODOS ACI-318-08, AISC360-10 Y**  
**PROGRAMAS CSI (SAP2000, ETABS).**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

Presentado ante la

**UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO**

**Como parte de los requisitos para optar al título de**

**INGENIERO CIVIL**

REALIZADO POR

DE MACEDO M., ARMANDO

ZACARÍAS C., BÁRBARA

PROFESOR GUIA

ING. LÓPEZ, EDUARDO

FECHA

CARACAS, OCTUBRE DE 2011

# **DEDICATORIA**

A Justino De Macedo De Macedo, a Isabelina Hernández por darme los padres ejemplares que hoy día tengo, a mi Hermano el cual es mi mejor amigo y compañero, Los cuales siempre me han brindado su apoyo incondicional en todo momento no solo en el transcurso de mi carrera universitaria si no en toda mi vida. A aquellas personas que de una u otra manera han contribuido en el transcurso de mi vida en mi crecimiento.

Armando De Macedo.

Dedico este Trabajo Especial de Grado a mi Papá Roosevelt Zacarías, el cual me ha brindado su apoyo incondicional durante toda mi carrera y siempre ha estado ahí para darme consejos y sobre todo su amor.

Bárbara Zacarías.

# **AGRADECIMIENTOS**

Ing. Eduardo López, por su gran apoyo y consejos brindados durante este Trabajo Especial de Grado, y sobre todo porque ha formado parte de nuestra inspiración durante la carrera. Gracias por todos los conocimientos que nos ha transmitido.

Ing. Arnaldo Gutiérrez, Ing. José Gerardo Castillo, Ing. María Barreiro, Ing. José Velásquez, a estas personas le queremos agradecer su apoyo incondicional, y por transmitirnos los conocimientos que dieron base que a este gran esfuerzo y dedicación y sobre todo a la formación que nos dieron para llegar a ser grandes profesionales a ustedes GRACIAS.

Ing. José Gerardo Castillo por creer en mí desde el comienzo de mi carrera universitaria. (Armando De Macedo)

Armando De Macedo

Bárbara Zacarías

# ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE GENERAL .....	V
RESUMEN	
INTRIDUCCIÓN.....	1
CONCLUSIONES.....	102
RECOMENDACIONES.....	104
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	106

## CONTENIDO

<b>CAPÍTULO I TEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>3</b>
I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
I.2 OBJETIVOS.....	5
I.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
I.2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	5
I.3 ALCANCE Y LIMITACIONES .....	6
I.3.1 ALCANCE.....	6
I.3.2 LIMITACIONES.....	6
I.4 ANTECEDENTES.....	7
<b>CAPÍTULO II MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>8</b>
II.1 DISEÑO DE COLUMNAS MIXTAS.....	10
<b>CAPÍTULO III MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
III.1 COLUMNA.....	14
III.1.2 TIPOS DE COLUMNAS.....	14

III.3 COLUMNAS MIXTAS.....	15
III.3.1 HISTORIA.....	15
III.3.2 USOS PRÁCTICOS DE LAS COLUMNAS MIXTAS.....	15
III.3.3 VENTAJAS.....	16
III.3.4 DESVENTAJAS Y LIMITACIONES.....	16
III.4 DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO.....	17
III.4.1 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO A FLEXOCOMPRESIÓN.....	17
III.4.2 ESBELTEZ EN COLUMNAS.....	17
III.4.3 COLUMNAS DE CONCRETO SOLICITADAS POR FLEXIÓN Y FUERZA AXIAL.....	18
III.4.4 COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES.....	19
III.4.5 DIAGRAMA N – M.....	21
III.5 DISEÑO DE COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL.....	22
III.5.1 MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES.....	22
III.5.2 COLUMNAS DE ACERO SOLICITADAS A FLEXOCOMPRESIÓN.....	23
<b>CAPÍTULO IV APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO ACI318-08 Y AISC360-10 PARA COLUMNAS MIXTAS.....</b>	<b>26</b>
IV.1 MÉTODOS DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN LA NORMA ACI318-08.....	28
IV.2 MÉTODOS DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN LA NORMA AISC360-10.....	48
<b>CAPÍTULO V APLICACIÓN CSI PARA EL DISEÑO DE COLUMNAS MIXTAS (MANUAL DE USO).....</b>	<b>52</b>
V.1 MÉTODO DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN PROGRAMAS CSI (SAP2000).....	54
<b>CAPÍTULO VI DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES DE COLUMNAS MIXTAS ESTUDIADAS.....</b>	<b>62</b>

VI.1 COLUMNAS MIXTAS .....	64
VI.1.1 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB180, CABILLAS N°4.....	64
VI.1.2 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB180, CABILLAS N°4.....	65
VI.1.3 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB180, CABILLAS N°6.....	66
VI.1.4 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB240, CABILLAS N°4.....	68
VI.1.5 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB240, CABILLAS N°5.....	69
VI.1.6 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB240, CABILLAS N°6.....	70
VI.1.7 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB300, CABILLAS N°4.....	71
VI.1.8 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB300, CABILLAS N°5.....	73
VI.1.9 COLUMNA DE 50X50 cm, PERFIL HEB300, CABILLAS N°6.....	74
<b>CAPÍTULO VII RESULTADOS Y ANALISIS.....</b>	<b>76</b>
VII.1 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB300, CABILLAS N°4.....	78
VII.2 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB240, CABILLAS N°4.....	79
VII.3 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB180, CABILLAS N°4.....	81
VII.4 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB300, CABILLAS N°5.....	82
VII.5 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB240, CABILLAS N°5.....	84
VII.6 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB180, CABILLAS N°5.....	85
VII.7 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB300, CABILLAS N°6.....	87
VII.8 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB240, CABILLAS N°6.....	88
VII.9 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, HEB180, CABILLAS N°6.....	90

VII.10 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODOS AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	92
VII.11 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODOS ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	93
VII.12 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf .....	94
VII.13 COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE LOS MÉTODOS RECOMENDADOS POR LAS NORMAS PARA COLUMNAS MIXTAS Y LA SUMA ALGEBRAICA DE UNA COLUMNA DE CONCRETO ARMANDO CON UN PERFIL DE ACERO ESTRUCTURA.....	98
VII.14 EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, HEB-300 Y CABILLAS N°6, POR SAP2000,NORMAS ACI318-08 Y AISC360-10.....	100

## FIGURAS

FIGURA N°1: COLUMNA CUADRADA.....	14
FIGURA N°2: COLUMNA RECTANGULAR.....	14
FIGURA N°3: COLUMNA CIRCULAR .....	14
FIGURA N°4: COLUMNA MIXTA.....	14
FIGURA N°5: EXCENTRICIDAD EQUIVALENTE PAA LA CARGA DE UNA COLUMNA.....	17
FIGURA N°6: DIAGRAMA BLOQUE EQUIVALENTE .....	20
FIGURA N°7: DIAGRAMA N-M DE UNA COLUMANA SOMETIDA A FLEXIÓN Y CARGA AXIAL COMBINADAS.....	22
FIGURA N°8: ESTADO LÍMITE DE AGOTAMIENTO RESISTENTE .....	23
FIGURA N°9: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACION A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA TAMBIEN A COMPRESIÓN A 0,001.....	29

FIGURA N°10 (a): MÉTODO 1 CENTRO DE GRAVEDAD DE LA SECCIÓN A COMPRESIÓN Y A TRACCIÓN.....	31
FIGURA N°10 (b): MÉTODO 2 DISCRETIZADO.....	31
FIGURA N°11: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA TAMBIEN A COMPRESIÓN A 0,000.....	32
FIGURA N°12: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA A TRACCIÓN A 0,001...	34
FIGURA N°13: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA A TRACCIÓN A 0,002...	37
FIGURA N°14: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA A TRACCIÓN A 0,005...	40
FIGURA N°15: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA A TRACCIÓN A 0,003...	42
FIGURA N°16: DIAGRAMA DE DEFORMACIONES: DEFORMACIÓN A COMPRESIÓN IGUAL A 0,003 Y LA FIBRA OPUESTA A TRACCIÓN A 0,008...	45
FIGURA N°17: SAP2000 DEFINE.....	54
FIGURA N°18: SAP2000 DEFINE MATERIALS .....	55
FIGURA N°19: SAP2000 MATERIAL PROPERTY.....	55
FIGURA N°20: SAP2000 DEFINE, SECTION PROPERTIES, REINFORCEMENT BAR.....	56
FIGURA N°21: SAP2000 REINFORCING BAR.....	56
FIGURA N°22: SAP2000 DEFINE, SECTION PROPERTIES, FRAME SECTION..	57
FIGURA N°23: SAP2000 FRAME PROPERTIES .....	57
FIGURA N°24: SAP2000 SECTION DESIGNER .....	58
FIGURA N°25: SAP2000 SECTION DESIGNER .....	59
FIGURA N°26: SAP2000 SECTION DESIGNER .....	59
FIGURA N°27: SAP2000 INTERACTION SURFACE.....	60

FIGURA N°28: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 180 CABILLAS N°4.....	64
FIGURA N°29: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 180 CABILLAS N°5.....	65
FIGURA N°30: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 180 CABILLAS N°6.....	66
FIGURA N°31: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 240 CABILLAS N°4.....	68
FIGURA N°32: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 240 CABILLAS N°5.....	69
FIGURA N°33: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 240 CABILLAS N°6.....	70
FIGURA N°34: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 300 CABILLAS N°4.....	71
FIGURA N°35: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 300 CABILLAS N°5.....	73
FIGURA N°36: SAP2000 SECTION DESIGNER COLUMNA DE 50X50 cm HEB 300 CABILLAS N°6.....	74
FIGURA N°37: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB300 Y CABILLAS N°4.....	79
FIGURA N°38: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB240 Y CABILLAS N°4.....	80
FIGURA N°39: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB180 Y CABILLAS N°4.....	82
FIGURA N°40: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB300 Y CABILLAS N°5.....	83

FIGURA N°41: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB240 Y CABILLAS N°5.....	85
FIGURA N°42: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB180 Y CABILLAS N°5.....	86
FIGURA N°43: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB300 Y CABILLAS N°6.....	88
FIGURA N°44: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB240 Y CABILLAS N°6.....	89
FIGURA N°45: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP2000 PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB180 Y CABILLAS N°6.....	91
FIGURA N°46: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, AISC360-10 CG Y PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB240 Y CABILLAS N°4.....	92
FIGURA N°46: COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO, ACI318-08 CG Y PARA UNA COLUMANA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB240 Y CABILLAS N°5.....	94
FIGURA N°48 COMPARACIÓN ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP 2000 DEL RESULTADO DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf.....	95
FIGURA N°49 COMPARACIÓN ENTRE CABILLAS N°4, N°5 Y N°6 RESULTADO DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf POR EL MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y SAP 2000.....	95
FIGURA N°50 COMPARACIÓN ENTRE CABILLAS N°4, N°5 Y N°6 RESULTADO DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf POR EL MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO.....	96
FIGURA N°51 COMPARACIÓN ENTRE HEB-180,HEB-240 Y HEB-300 RESULTADO DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf POR EL MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO.....	97

FIGURA N°52 COMPARACIÓN ENTRE HEB-180,HEB-240 Y HEB-300 RESULTADO DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf POR EL MÉTODO ACI318-08 Y SAP2000 DISCRETIZADO.....	97
FIGURA N°53 COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO, ACI318-08 DISCRETIZADO PARA UNA COLUMNA MIXTA Y LA SUMA ALGEBRAICA DE UNA COLUMNA DE CONCRETO ARMADO MAS EL APORTE DE UN PERFIL DE ACERO ESTRUCTURAL.....	99
FIGURA N°54 SAP2000 FRAME SECTIONS PROPERTIES.....	100
FIGURA N°55 SAP2000 CONCRETE FRAME DESIGN-START DESIGN.....	100
FIGURA N°56 SAP2000 STEEL FRAME DESIGN-START DESIGN.....	101
FIGURA N°57 SAP2000 P-M INTERACTIONS RATIOS.....	101

## TABLAS

TABLAS N°1 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°4.....	64
TABLAS N°2 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°5.....	65
TABLAS N°3 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°6.....	67
TABLAS N°4 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°4.....	68
TABLAS N°5 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°5.....	69
TABLAS N°6 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°6.....	70
TABLAS N°7 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°4.....	72
TABLAS N°8 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°5.....	73
TABLAS N°9 GEOMETRÍA Y CARACTERÍSTICAS DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°6.....	74

TABLAS N°10 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°4, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	78
TABLAS N°11 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°4, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	79
TABLAS N°12 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°4, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	81
TABLAS N°13 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°5, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	82
TABLAS N°14 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°5, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	84
TABLAS N°15 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°5, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	85
TABLAS N°16 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°6, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	87
TABLAS N°17 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°6, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	88
TABLAS N°18 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°6, POR SAP2000, ACI318-08 Y AISC360-10.....	90
TABLAS N°19 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD .....	92
TABLAS N°20 RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	93
TABLA N°21 DESCRIPCIÓN DE LAS NORMAS, CABILLAS, CARGAS Y MOMENTOS.....	94
TABLA N°22 DESCRIPCIÓN DE LAS NORMAS, CABILLAS, CARGAS Y MOMENTOS.....	96

TABLAS N°23 RESULTADOS OBTENIDOS POR AISC360-10, ACI318-08 Y LA  
SUMA ALGEBRAICA DE CADA SECCIÓN.....98

# **INTRODUCCIÓN**

Las columnas mixtas son miembros compuestos de dos materiales, el acero estructural y el concreto armado, puede tener dos posibilidades de diseño, que el acero estructural este embebido en concreto armado o bien que el acero estructural se encuentre relleno de concreto. El uso de este tipo de miembros se justifica en aquellos casos donde es necesario aprovechar la capacidad de cada material.

La Norma ACI318-08 enfoca el diseño de las columnas mixtas hacia el concreto armado e incluso considera en sus recomendaciones las mismas reglas de diseño. La Norma AISC360-10 plantea formulaciones que involucran al acero estructural y al concreto armado, suponiendo como material base el acero estructural. Esto implica que cada Norma se desliga de un material u otro y no existe un punto de encuentro entre ambas. Por otro lado, existen programas especializados que en su rutina de diseño consideran las columnas mixtas, pero es una incógnita en base a qué Normas o criterio diseñan.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo comparar las Normas en el diseño de columnas mixtas, y a su vez, validar estos resultados con los obtenidos mediante los programas especializados.

El tema de investigación se encuentra desarrollado en los siguientes capítulos:

- **CAPÍTULO I TEMA DE INVESTIGACIÓN.**

Se presentan las causas que conllevaron a la realización de este trabajo de investigación, los objetivos que se pretenden alcanzar, los alcances y limitación del mismo.

- **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.**

Plantea los conceptos básicos necesarios que sustentan el diseño de columnas mixtas.

- **CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO.**

Da un enfoque de los métodos de diseño en columnas mixtas que se abordaron.

- **CAPÍTULO IV APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO ACI318-08 Y AISC360-10 PARA COLUMNAS MIXTAS.**

Se presentan los procedimientos que plantea cada Norma para el diseño de columnas mixtas.

- **CAPÍTULO V APLICACIÓN CSI PARA EL DISEÑO DE COLUMNAS MIXTAS** (Manual de Uso).

En este capítulo muestra como es el procedimiento detalladamente del diseño de columnas mixtas en SAP2000.

- **CAPÍTULO VI DESCRIPCIÓN DE COLUMNAS MIXTAS.**

Se describen los diferentes tipos de columnas mixtas que se utilizaron en el diseño.

- **CAPÍTULO VII RESULTADOS Y ANÁLISIS**

Presenta una comparación de los Diagramas N-M, obtenidos por cada Norma y por los programas especializados.

**CAPÍTULO I**  
**TEMA DE INVESTIGACIÓN**

## **I.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Existen ciertos casos donde una edificación requiere del uso de columnas mixtas, debido a que el acero estructural y concreto reforzado se combinan para producir una estructura que aprovecha las ventajas de cada material, permitiendo que la misma tenga mayor capacidad para resistir las solicitaciones impuestas a la estructura. Por ello, este tipo de diseño puede ser una solución en aquellas ocasiones donde las tensiones, que deben resistir estos miembros, bien sea una columna de concreto reforzado o de acero estructural, excedan las capacidades de cada material.

En este Trabajo Especial de Grado, se revisarán las recomendaciones de diseño de los miembros mixtos en donde el perfil de acero estructural se encuentra embebido en el concreto, es decir, del tipo SRC (Steel Reinforced Concrete), sometidos a fuerzas axiales, corte y flexión. Para tal objetivo se compararan los métodos o criterios de diseño recomendados por las Normas ACI-318-08 y AISC360-10 y se contrastan los resultados con aquellos obtenidos con los Programas CSI, que incluyen en sus rutinas de diseño este tipo de columnas.

## **I.2 OBJETIVOS**

### **I.2.1 OBJETIVO GENERAL**

Plantear recomendaciones de diseño de columnas mixtas sometidas a solicitaciones de flexión y de corte, revisando y comparando los criterios de diseño propuestos por las Normas ACI y AISC en sus últimas versiones.

### **I.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar de las diferencias o coincidencias en los resultados obtenidos con la aplicación de los métodos o criterios de las Normas ACI y AISC.
2. Validar los resultados obtenidos de forma manual con el uso de programas especializados para el diseño estructural (CSI).
3. Comparar los resultados obtenidos de forma manual con aquellos obtenidos con los programas especializados.
4. Realizar un análisis para recomendar las formulas o procedimientos más apropiados para el diseño de las columnas mixtas.

## **I.3 ALCANCE Y LIMITACIONES**

### **I.3.1 ALCANCE**

El presente trabajo de investigación tiene como propósito comparar el diseño de columnas mixtas recomendado por las Normas ACI318-08 y AISC360-10 de forma manual, para así poder dar ciertas recomendaciones y lograr identificar en que caso es conveniente utilizar una norma u otra. Por otra parte, validar los resultados obtenidos en los programas CSI con los de dichas Normas, para saber cómo operan los programas en el diseño de columnas mixtas.

### **I.3.2 LIMITACIONES**

Las limitaciones estarán en función de la calidad de los materiales y geometría de las secciones. El estudio podría ser muy extenso si no se limita a ciertos perfiles y calidades del concreto. Para esto, a efectos de este TEG, se considerarán las siguientes condiciones:

- Concreto con agregados de peso normal y  $F_c$  entre 250 kgf/cm<sup>2</sup>,
- Las secciones de los perfiles serán HEB-300, HEB-240 y HEB-180.
- Barras de refuerzo de N°4, N°5, N°6.
- El programa que se aplicara será CSI<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> CSI: permite usar formulaciones más complejas para curvas Tensiones - Deformación de los materiales, no limitándose al bloque rectangular equivalente del concreto o a curvas bilineales del acero.

#### **I.4 ANTECEDENTES**

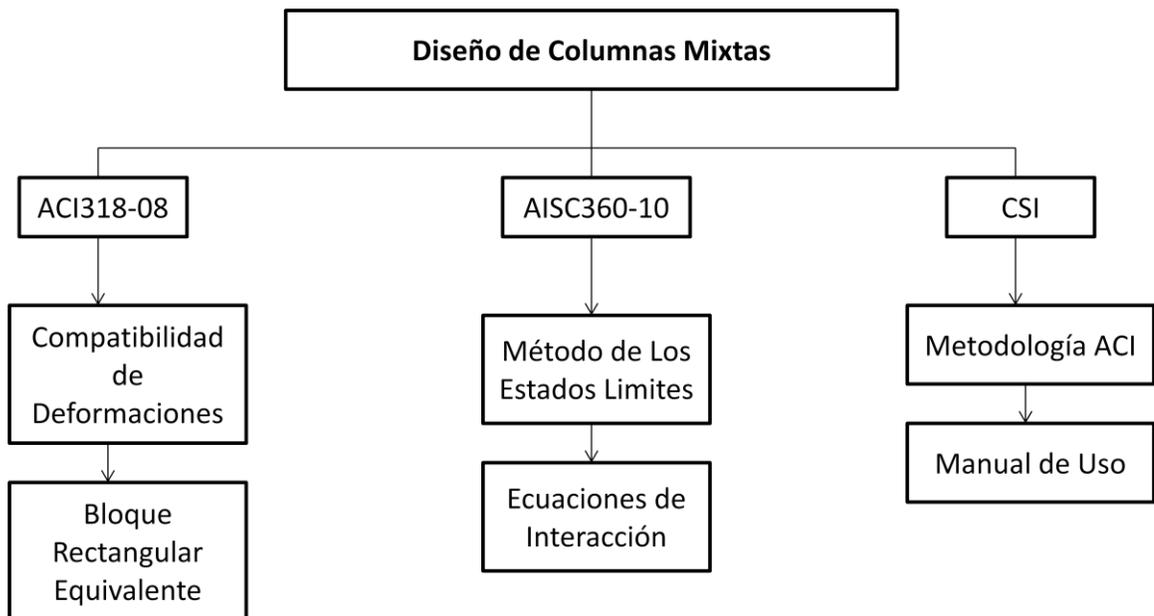
- Maylen Manzo, Nila Sicilia. (1992). *“Diseño de Columnas Mixtas Concreto – Acero según Normas AISC – LRFD 1986”*. Universidad Católica Andrés Bello. Tutor Arnaldo Gutiérrez. Este trabajo Especial de Grado, se baso en el diseño de columnas mixtas según la Norma AISC-1986.
- Sebastián Navarrete, R. Herrera, J. Beltrán, L. Massone. (2006). *“Recomendaciones de Diseño de Columnas Mixtas”*. Universidad de Chile. Este documento presenta recomendaciones de diseño de columnas mixtas acero. Concreto sometidas a sollicitaciones de tracción, compresión, momento y corte, los cuales se elaboraron en base a estudios estadísticos de los resultados obtenidos usando las Normas AISC360-05, ACI318-05 y Eurocódigo 4- 2004.
- Roberto León. (2008). *“Desarrollos recientes en construcción mixta en los Estados Unidos de Norteamérica”*. Acero Latinoamericano N°507, Santiago de Chile. Este artículo describe: las nuevas disposiciones para la construcción mixta, Especificaciones AISC -2005, Columnas Mixtas.

**CAPÍTULO II**  
**MARCO MEDOLÓGICO**

## II. DISEÑO DE COLUMNAS MIXTAS

El presente Trabajo Especial de Grado se desarrolló de manera práctica a través de programas especializados en el diseño estructural, CSI, y de forma teórica, aplicando las Normas de concreto y acero (ACI318-08, AISC360-10) para el diseño de columnas mixtas, con el fin de comparar cada método establecido por las Normas y de los programas especializados.

En las Normas principales de diseño estructural, ACI y AISC, se aborda el tema de las columnas con metodologías muy distintas para, teóricamente, llegar al mismo resultado. El ACI maneja el problema por Compatibilidad de Deformaciones, estableciendo deformación unitaria máxima en el concreto y aplicando el bloque rectangular equivalente y cedencia del acero en función de su deformación unitaria para construir un diagrama de interacción, mientras que el AISC en su formato LRFD determina la resistencia límite de cada sollicitación,  $P_n$ ,  $M_{n_x}$ ,  $M_{n_y}$ , tomando en cuenta el acero del perfil, las barras de refuerzo y el área de concreto, para luego utilizar ecuaciones de interacción que dependen del nivel de carga axial que somete a la columna, y en función de las sollicitaciones actuantes determinar el estado resistente de la misma. Los programas SAP, ETABS, CSI utilizan la metodología ACI y, alternativamente, pueden usar la del AISC con un módulo de elasticidad y una tensión cedente modificados.



Esquema N°1: Diseño de Columnas Mixtas  
Fuente: Propia.

**CAPÍTULO III**  
**MARCO TEÓRICO**

### III.1 COLUMNA<sup>2</sup>

Columna, es una palabra proveniente del latín (columna) y fue aplicada en sus inicios, a los miembros verticales de una altura sensiblemente mayor que sus dimensiones transversales, que servían para sostener cubiertas o simplemente decorativas. Por lo general, se asocia a las columnas, con miembros que soportan fuerzas axiales de compresión y los conocimientos sobre su comportamiento se basaban exclusivamente en ensayos a compresión pura y no fue sino hasta 1930 en que la flexión en las columnas fue considerada tal como se hace hoy. Posteriormente con la aparición de nuevos materiales y nuevas técnicas, fue perfeccionándose el diseño de las mismas.

Las columnas se definen como los componentes verticales de una estructura que soportan al sistema de pisos de la misma y que están sometidos a altas cargas de fuerza axial (principalmente a compresión) aún cuando actúen también sobre ellas momentos flectores alrededor de uno o de los dos ejes de la sección transversal.

### III.2 TIPOS DE COLUMNAS

Existen diferentes tipos de columnas: según su forma de la sección transversal y por la relación entre la longitud del miembro con la menor dimensión de su sección trasversal. Las formas más comunes son la rectangular, cuadrada y la circular, sin embargo pueden existir otros tipos de formas como las columnas en L o en T, y en ciertos casos, columnas mixtas con perfiles de acero embebidas en concreto.

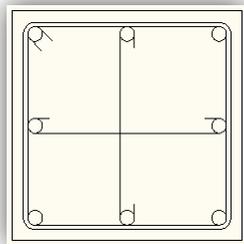


Fig. N° 1: Columna Cuadrada

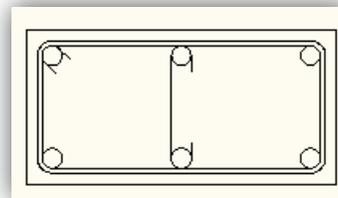


Fig. N°2: Columna Rectangular

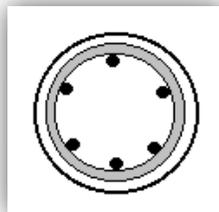


Fig. N° 3: Columna Circular

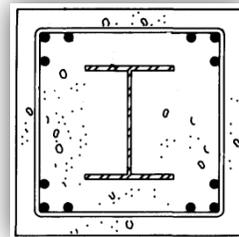


Fig. N° 4: Columna Mixta

---

<sup>2</sup> Barreiro, María. Apuntes de Concreto. Curso de Pregrado. 2010. Universidad Católica Andrés Bello.

### **III.3 COLUMNAS MIXTAS**

Una columna mixta se define como el conjunto de un perfil de acero embebido en concreto armado o bien un perfil tubular relleno de concreto. Las columnas mixtas se construyen de manera que el perfil de acero estructural y el concreto armado actúen en conjunto para resistir la compresión axial y flexión.

Cuando el perfil de acero esta embebido en concreto, este contiene un refuerzo longitudinal que se encuentra usualmente en cada esquina de la columna, los estribos laterales se envuelven alrededor de las barras longitudinales a ciertos intervalos con el fin de estabilizar las barras durante la construcción y evitar el pandeo local, cuando se aplica una carga de compresión axial una vez haya curado el concreto.

#### **III.3.1 HISTORIA**

Los miembros estructurales compuestos por perfiles de acero, en combinación con concreto simple o reforzado, han sido utilizados por los ingenieros durante muchos años. Las Primeras estructuras se limitaron a tomar ventaja de la protección que el concreto ofrece a los perfiles de acero, dando resistencia al fuego y a la corrosión. Pero la investigación sobre la fuerza de dichos miembros se llevó a cabo en el año 1900, y las disposiciones de diseño fueron formuladas en 1924, con la llegada de la construcción moderna de edificios de gran altura, los ingenieros desarrollaron nuevos métodos racionales para tomar ventaja de la rigidez y el fortalecimiento de los efectos del concreto y las barras de refuerzo.

#### **III.3.2 USOS PRÁCTICOS DE LAS COLUMNAS MIXTAS**

Las aplicaciones prácticas en el uso de columnas mixtas se encuentran, tanto en las estructuras de baja altura, como de gran altura. En lugares donde las estructuras que predominan son de baja altura, como un área de juegos cubierta, un almacén o estacionamiento, puede que sea necesario o conveniente envolver una columna de acero con concreto, bien sea por razones estéticas o prácticas, por ejemplo, la arquitectura, apariencia, resistencia a la corrosión. Este tipo de estructuras con columnas mixtas pueden ofrecer cierta ventaja en la resistencia a la gravedad y cargas laterales.

En algunos edificios de gran altura se suelen colocar columnas mixtas en las esquinas del edificio para maximizar el momento, resistiendo así el peso propio del edificio y las cargas para el cual fue diseñado. Con frecuencia, en estructuras de gran altura, donde el espacio es un recurso valioso, se recurre a la utilización de columnas mixtas, ya que se logra disminuir la gran superficie que ocupa una columna de concreto reforzado.

### **III.3.3 VENTAJAS**

1. Sección inferior a lo requerido por una columna convencional de concreto armado.
2. Mayor capacidad de carga.
3. Ductilidad y tenacidad disponibles para su uso en zonas sísmicas.
4. Velocidad de construcción cuando se usa como parte de una estructura mixta.
5. Resistencia al fuego, en comparación con las columnas de acero.
6. Una mayor rigidez, cuando forma parte de un sistema de carga lateral.
7. Mayores características de amortiguación de la percepción del movimiento en edificios altos, cuando se parte de un sistema de carga lateral.
8. Rigidez, efecto de la resistencia contra el pandeo de la sección laminada.

### **III.3.4 DESVENTAJAS Y LIMITACIONES**

Cuando la construcción del sistema mixto es a gran altura, los ingenieros tienen dificultad para controlar el ritmo y la magnitud de la reducción de la columna mixta con respecto a las columnas de acero o muros de corte. Estos problemas se ven agravados por la amplia variación que existe en la construcción que a menudo se experimenta en la zona comprendida entre el punto donde las columnas de la sección de acero son fundacionales y el punto donde el concreto se coloca alrededor del acero para formar la columna mixta. Esta variación en el número de plantas entre las actividades de construcción ha hecho que sea difícil de calcular con precisión el efecto de acortamiento de la columna. Efectos de fluencia en columnas mixtas con respecto a las columnas centrales de acero macizo, también puede ser problemático para predecir para el ingeniero. El efecto neto de estos problemas pueden ser pisos que no están al mismo nivel de un punto a otro. Una solución para estos problemas ha sido la medición de la columna de empalme de elevaciones en el transcurso de la construcción, con la consiguientes correcciones en elevación con cuñas de acero para compensar diferencias entre la elevación calculada y medida.

Al igual que con cualquiera de las columnas de concreto armado y acero, el ingeniero debe ser muy consciente en los problemas potenciales en la colocación del acero de refuerzo y la congestión que afecta a la factibilidad de construcción de la columna. Esto es particularmente cierto en viga-columna en las articulaciones posibles interferencias entre un viga de acero, una viga de piso perpendicular, las barras verticales, los lazos comunes, y todos los conectores de corte puede causar dificultad para reforzar la colocación de barras.

## **III.4 DISEÑO DE COLUMNAS DE CONCRETO REFORZADO**

### **III.4.1 COMPORTAMIENTO DEL CONCRETO A FLEXOCOMPRESIÓN** <sup>3</sup>

Los miembros de concreto pueden estar solicitados a compresión pura aunque no suele ser lo usual, pero también a una combinación de las diferentes solicitaciones.

En el caso de un pórtico, las acciones actuantes generarán sobre los miembros solicitaciones de compresión, flexión, corte, torsión y todas ellas combinadas. En el caso de la compresión, tanto vigas como columnas y muros pueden estar sometidos a ellas. Sin embargo, en el caso de la columna la fuerza axial es un valor grande, al contrario de las vigas que suele ser un pequeño porcentaje. Rara vez una columna está solicitada a compresión pura. Lo más usual es la existencia de momento en dos direcciones ortogonales. El comportamiento de la columna ante las acciones que sobre ella trabajan tiene diferente comportamiento si la columna es esbelta o no. En este tema se trabaja con columnas que no están clasificadas como esbeltas. Cuando la columna tiene solicitaciones de Fuerza axial de compresión combinada con momento por flexión de manera simultánea, se dice que está sometida a flexocompresión.

### **III.4.2 ESBELTEZ EN COLUMNAS**

La relación que existe entre la longitud del miembro con el radio de giro de su sección transversal, se conoce como relación de esbeltez. Las columnas con un valor elevado de esa relación, se clasifican como columnas esbeltas, mientras que aquellas cuyo valor  $L/r$  sea pequeño son columnas no esbeltas.

---

<sup>3</sup> Barreiro, María. Apuntes de Concreto. Curso de Pregrado. 2010. Universidad Católica Andrés Bello.

### III.4.3 COLUMNAS DE CONCRETO SOLICITADAS POR FLEXIÓN Y FUERZA AXIAL.<sup>4</sup>

Los fundamentos en los cuales se basa el desarrollo teórico de este tema, tienen su origen en los extensos estudios experimentales que se han ido acumulando en las diferentes investigaciones sobre los miembros de concreto armado solicitados a carga axial y flexión, y que a través de ellos ha sido posible elaborar teorías apoyadas en hipótesis razonables, por medio de las cuales se puede predecir la resistencia de un miembro con tolerable precisión.

Como se sabe, en las construcciones la mayoría de las cargas son aplicadas lentamente y de manera sostenida. Debido a esto se produce el flujo plástico, el cual genera deformaciones adicionales, que tienen una enorme influencia sobre las tensiones del acero ya que tiende a aumentarlos. El miembro estructural sometido a compresión, presenta respuestas diferentes cuando está sometido a cargas rápidas en contraposición con la aplicación de las cargas en forma lenta y sostenida, encontrándose una menor resistencia en este último caso. Por esta razón en el estudio de las columnas reforzadas se hace el análisis en función de las deformaciones para las cuales llega a la rotura, independientemente de la historia de la carga.

El acero alcanza su resistencia de agotamiento resistente para deformaciones unitarias del orden de 0,08 mientras que el concreto falla por aplastamiento a valores de deformaciones unitarias que van desde 0,003 hasta incluso 0,008 bajo condiciones muy especiales, de acuerdo a ensayos de diferentes tipos. Para concretos de altas resistencias las deformaciones de rotura son menores que los de baja resistencia. Para concretos normales en cuanto a materiales y dosificación los valores usuales son entre 0,003 y 0,004. El Norma ACI, adopta un valor de deformación máximo a la rotura igual a 0,003. Se ha estudiado el comportamiento de la columna a compresión pura en la que la deformación es también uniforme a lo largo de toda la sección, sin embargo, las columnas no están solicitadas tan solo a compresión, sino que las condiciones de carga más comunes son aquellas en las que interviene también la flexión.

La determinación de las formulas de fuerza axial y momentos actuando sobre una sección transversal de una columna, se basa en la compatibilidad de las deformaciones así como en las ecuaciones de equilibrio.

---

<sup>4</sup> Barreiro, María. Apuntes de Concreto. Curso de Pregrado. 2010. Universidad Católica Andrés Bello.

### III.4.4 COMPATIBILIDAD DE DEFORMACIONES

Cuando la fuerza axial actuante esta aplicada en el centro de gravedad de la sección transversal (Centro Plástico), se dice que el miembro está sometido a compresión uniforme. Lo cual implica que todos los puntos de la sección, tiene la misma deformación, y que por lo tanto las tensiones que se producen en ellas son también iguales entre sí. Como las columnas están reforzadas con acero, las deformaciones de éste, deben ser iguales a las del concreto que lo circunda, es decir existe compatibilidad en las deformaciones.

El Centro Plástico se define como el punto de aplicación de la fuerza resultante de la sección transversal de la columna que incluye la fuerza en el concreto y en el acero, para el cual la columna se encuentra comprimida de manera uniforme hasta la deformación de falla 0,003, en toda la sección trasversal.

Formula Compresión Pura:

$$P = 0,85 * F(c) * Ac + As * (Fy - 0,85 * Fc) \quad (1)$$

Cuando existe un momento aplicado, las deformaciones que produce este momento sobre cada uno de los puntos de la sección solicitada, ya no son iguales. No se puede hablar entonces de distribución uniforme de las deformaciones y por tanto tampoco de los tensiones.

La combinación de cargas es equivalente a una fuerza axial aplicada, no en el centro plástico, sino con una excentricidad tal, que produzca el momento que está actuando sobre la sección.

Si se separan los efectos de cada sollicitación sobre la sección, puede suponerse que la fuerza axial, aplicada en el centro plástico produce deformaciones uniformes cuyo valor se designa como ( $\epsilon_0$ ). Pero, estas deformaciones no podrán ser iguales al valor máximo, de 0,003 ya que esto supondría que no es posible agregarle otro efecto más, pues fallaría el concreto. Estas deformaciones uniformes son producidas por tensiones también uniformes, que serán menores al valor máximo de resistencia de  $0,85 * Fc$ , debido a que a éstos se le agregarán los tensiones adicionales producidos por el momento actuante.

Si se analiza el efecto de un momento aplicado actuando individualmente sobre la sección, puede observarse, que ya las deformaciones no van a ser uniformes, sino que varían desde un máximo a tracción ( $\epsilon_t$ ) hasta un máximo a compresión ( $\epsilon_c$ ). Si se suman los dos efectos se obtiene un estado de deformaciones que no es uniforme, y dependiendo de la relación existente entre las magnitudes del momento y de la fuerza

axial, toda la sección estará sometida a compresión, o en caso contrario también contará con zonas sometidas a tracción.

El esfuerzo actuante en cada punto va a depender de la deformación a la que esté sometido dicho punto. De modo que, siguiendo el diagrama de tensiones-deformación obtenido del ensayo del cilindro, puede determinarse que el diagrama de tensiones sobre la sección tiene un perfil más o menos parabólico. Sin embargo de acuerdo a los estudios realizados por diversos investigadores, se puede sustituir el volumen de tensiones parabólico, por un diagrama más sencillo, tal como un bloque rectangular equivalente, que sea equivalente en cuanto al volumen total y a los brazos de momento.

Cuando el momento se produce alrededor de un eje principal, el eje Neutro es perpendicular a la excentricidad y coincide además con la dirección del eje principal, esto, permite encontrar una solución sencilla de un estado de cargas determinado.

Esta simplificación es prácticamente exacta cuando se trata de momentos alrededor de ejes principales o de secciones rectangulares sometidas a flexión pura.

Cuando la zona a compresión no es rectangular los factores que estos investigadores han propuesto, ya no dan valores tan exactos. Sin embargo el American Concrete Institute, adoptó este bloque equivalente de tensiones con parámetros un poco más conservadores. Entre ellos están el valor máximo que supone el ACI, para la rotura del concreto, que se fijó en 0,003. Si bien es cierto que pueden existir muestras de concreto que den por debajo de este valor, la gran mayoría falla a deformaciones superiores. Prácticamente a esta deformación el concreto no muestra aún fisuras visibles ni desconchamiento. Y a estos niveles el brazo de momento no se afecta significativamente. Por este motivo se usará el bloque equivalente de tensiones para las secciones con flexocompresión biaxial con áreas de concreto solicitadas a compresión no rectangulares.

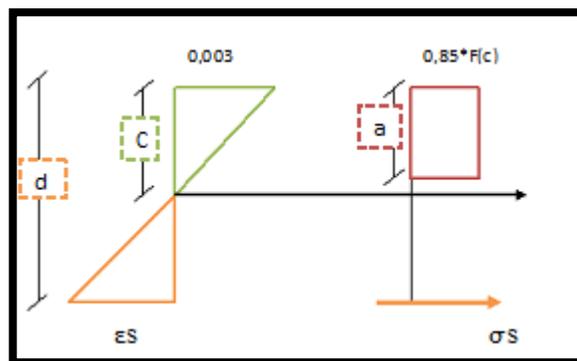


Fig. N°6: Diagrama Bloque Equivalente

Fuente: Propia

### III.4.5 DIAGRAMA N – M<sup>5</sup>

El Diagrama N – M define la carga y el momento de falla para determinada columna en el intervalo completo de excentricidades desde cero hasta el infinito. Para cualquier excentricidad, existe un solo par de valores de  $P_n$ ,  $M_n$  que producirá un estado inminente de falla. Este par de valores puede dibujarse como un punto en un gráfico que relacione  $P_n$  y  $M_n$ , como en la Fig. N° 7.

En este Diagrama N – M cualquier línea radial representa una excentricidad particular  $e = M/P$ , para esta excentricidad al aumentar gradualmente la carga se definirá una trayectoria de carga como se ilustra, y cuando esta trayectoria de carga alcance la curva límite se presentará la falla. Las excentricidades pequeñas producirán una falla regida por la compresión del concreto, mientras que las excentricidades grandes llevarán a una falla iniciada por la cedencia del acero a tracción.

En dicho diagrama el eje vertical corresponde a  $e = 0$  y  $P_o$  es la capacidad de la columna para carga concéntrica (compresión pura), mientras que el eje horizontal corresponde a un valor de  $e$  infinito, es decir, flexión pura con una capacidad a momento de  $M_o$ .

El diagrama N – M puede construirse de forma más sencilla si se escogen valores sucesivos de la distancia al eje neutro  $c$ , desde  $P_o$  hasta obtener la flexión pura. Para cada valor de  $c$ , se tendrá su deformación y esfuerzo, con los límites establecidos para cada material.

La línea de falla del diagrama N- M se divide en un intervalo de falla a compresión y un intervalo de falla a tracción. La falla balanceada ocurre cuando el concreto alcanza su deformación límite en el mismo instante que el acero a tracción, este punto en el diagrama divide la falla a compresión y la falla a tracción.

---

<sup>5</sup> A efectos de este TEG se denominara Diagrama N – M a los Diagramas de Interacción Uniaxial como lo especifica la Norma ACI318-08.

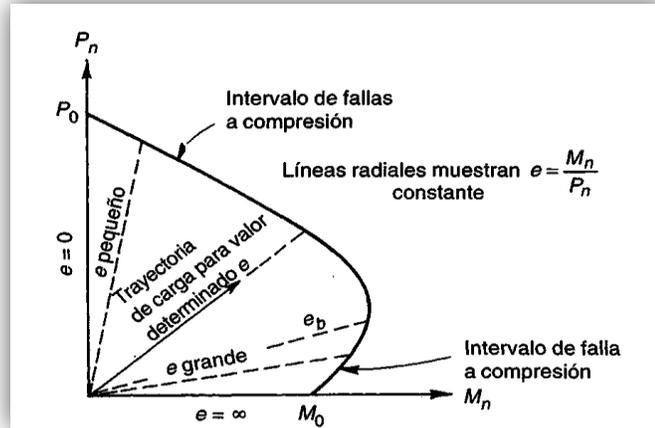


Fig. 7: Diagrama N – M de una columna sometida a flexión y a carga axial combinadas  
Fuente: Nilson, (2001). Diseño de Estructuras de Concreto.

### III.5 DISEÑO DE COLUMNAS DE ACERO ESTRUCTURAL

#### III.5.1 MÉTODO DE LOS ESTADOS LÍMITES <sup>6</sup>

En el diseño de los miembros de acero, concreto reforzado, y/o miembros mixtos acero – concreto, se usará el Método de los Estados Límites.

El objetivo del diseño por el Método de los Estados Límites es mantener una baja probabilidad de alcanzar un estado límite preestablecido para una tipología estructural. Para lograr este objetivo la demanda de rigidez, resistencia, estabilidad, absorción y disipación de energía sobre la estructura, sus miembros y juntas no debe exceder la capacidad de rigidez, resistencia, estabilidad, absorción y disipación de energía de los mismos.

Se alcanza este objetivo multiplicando las solicitaciones por sus factores de mayoración para cuantificar la demanda y multiplicando las resistencias teóricas por sus factores de minoración para calcular la capacidad.

<sup>6</sup> Núñez, Luis. Apuntes de Estructuras de Acero. Curso Pregrado.2010. Universidad Católica Andrés Bello

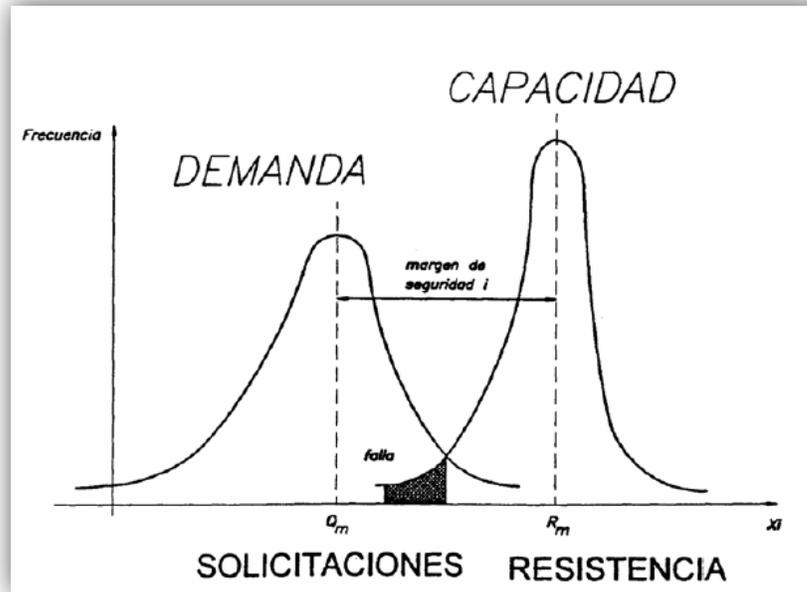


Fig. N° 8: Estado Límite de agotamiento Resistente  
 Fuente: Núñez, Luis. Estructuras de Acero. Curso de Pregrado.  
 Universidad Católica Andrés Bello.

### III.5.2 COLUMNAS DE ACERO SOMETIDAS A FLEXOCOMPRESIÓN <sup>7</sup>

La combinación simultanea de fuerzas de compresión y flexión son tratadas en términos de ecuaciones de interacción.

$$\begin{aligned}
 & Pu/\phi_c P_n \geq 0.2 & (2) \\
 & \frac{Pu}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & Pu/\phi_c P_n < 0.2 & (3) \\
 & \frac{Pu}{2\phi_c P_n} + \left( \frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1
 \end{aligned}$$

En las Especificaciones AISC360-10 se presentan estas ecuaciones (Ec. N°:2 y 3) de interacción, las cuales se representan gráficamente, según dos rectas que dan una mejor aproximación de la resistencia de la columna.

<sup>7</sup> Norma AISC360-10, Capítulo H, Sección H.1

La Ec. N°2, es aplicable en el caso en que la carga axial es predominante sobre el momento. En caso contrario se aplica la Ec. N°3, donde el momento predomina sobre la carga axial.

Los términos  $\phi_c * P_n$ ,  $\phi_b * M_{nx}$ ,  $\phi_b * M_{ny}$  representan las capacidades a compresión normal, flexión en “x” y flexión en “y”, respectivamente. Cada uno de ellos es un valor fijo para cada perfil y longitud, por lo que se puede decir que son constantes.<sup>8</sup>

Los términos  $P_u$ ,  $M_{ux}$ ,  $M_{uy}$  representan las solicitaciones de compresión normal, flexión en “x” y flexión en “y”, respectivamente. Todos estos términos son variables y dependen del caso o combinación de carga analizados.<sup>9</sup>

Las Especificaciones AISC-LRFD usan las Fórmulas de Interacción, considerando dos situaciones:

1) Por los diseñadores que usan Programas para el análisis de segundo orden (que proporcionan directamente resultados del efecto del momento de segundo orden).

2) Para procurar aproximar dichos efectos, cuando se usan Programas de Análisis de primer orden.

---

<sup>8</sup> <sup>9</sup>José, Castillo. Mary, Delgado. (2000). *Algoritmo computacional para automatizar el diseño de las columnas completas de acero en edificios aporticados*. Universidad Católica Andrés Bello.

## **CAPÍTULO IV**

# **APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS DE DISEÑO ACI318-08 Y AISC360-10 PARA COLUMNAS MIXTAS**

## **IV.1 MÉTODO DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN LA NORMA ACI318-08:**

- **Sección 10.13 Norma ACI318-08 Miembros Mixtos Solicitados Compresión.<sup>10</sup>**

*Artículo 10.13.2:* la resistencia de los miembros compuestos debe calcularse para las mismas condiciones limitantes que se aplican a los miembros comunes de concreto.

- **Sección 10.2 Hipótesis para el Análisis y Diseño**

*Artículo 10.2.2:* las deformaciones unitarias en el refuerzo y en el concreto deben suponerse directamente proporcionales a la distancia desde el eje neutro.

*Artículo 10.2.3:* la máxima deformación unitaria utilizable en la fibra externa solicitadas compresión del concreto se supone igual 0,003.

*Artículo 10.2.4:* la tensión en el refuerzo, cuando sea menor que  $f_y$  debe tomarse como  $E_s$  veces la deformación unitaria del acero. Para deformaciones unitarias mayores que las correspondientes a  $f_y$ , La tensión se considera independiente de la deformación unitaria e igual a  $f_y$ .

*Artículo 10.2.5:* la resistencia a la tracción del concreto no debe considerarse en los cálculos de miembros de concreto reforzado solicitadas a flexión y carga axial.

*Artículo 10.2.6:* la relación entre la distribución de los tensiones de compresión en el concreto y la deformación unitaria en el concreto se debe suponer rectangular, trapezoidal, parabólica o de cualquier otra forma que de origen a una predicción de la resistencia que coincida con los resultados de ensayos representativos.

*Artículo 10.2.7:* los requisitos de 10.2.6 se satisfacen con una distribución rectangular equivalente de tensiones en el concreto, definida como sigues:

*Artículo 10.2.7.1:* una tensión en el concreto de  $0,85 \cdot F_c$  uniformemente distribuido en una zona de compresión equivalente, limitada por los bordes de la sección transversal y por una línea recta paralela al eje neutro, a una distancia  $a = \beta_1 \cdot c$  de la fibra de deformación unitaria máxima en compresión.

*Artículo 10.2.7.2:* la distancia desde la fibra de la deformación unitaria máxima al eje neutro,  $c$ , se debe medir en dirección perpendicular al eje neutro.

*Artículo 10.2.7.3:* para  $F_c \leq 280 \text{ kgf/cm}^2$   $\beta_1 = 0,85$  y para  $F_c > 280 \text{ kgf/cm}^2$   $\beta_1 = (1,05 - F_c/1400) \geq 0,65$

---

<sup>10</sup> En este TEG se han corregido las malas traducciones de las Normas.

- **Sección 10.3 Principios y Requisitos Generales**

*Artículo 10.3.2:* la condición de deformación balanceada existe en una sección transversal cuando el refuerzo en tracción alcanza la deformación unitaria correspondiente a  $f_y$  al mismo tiempo que el concreto a compresión alcanza su deformación unitaria última supuesta 0,003.

*Artículo 10.3.3:* las secciones se denominan controladas por compresión si la deformación unitaria neta a tracción en el acero extremo a tracción, es igual o menor que el límite de deformación unitaria controlada por compresión cuando el concreto en compresión alcanza su límite de deformación supuesto 0,003.

*Artículo 10.3.4:* las secciones son controladas por tracción si la deformación unitaria neta de tracción en el refuerzo de acero extremo en tracción, es igual o menor a 0,005, justo cuando el concreto en compresión alcanza su límite de deformación unitaria asumido 0,003.

**Considerando todas las disposiciones que plantea esta Norma ACI 318-08, se procedió al cálculo del Diagrama N-M, para columnas mixtas.**

1. Cálculo de la Compresión Pura  $P_o$  (kgf/cm<sup>2</sup>):

$$P_o = 0,85 * F(c) * (A_c - A_s - A_p) + F_{ys} * A_s + F_{yp} * A_p \quad (4)$$

2. Sección controlada por compresión  $P_1$  (kgf/cm<sup>2</sup>) deformación a compresión igual a 0,003 y para la fibra opuesta también a compresión 0,001

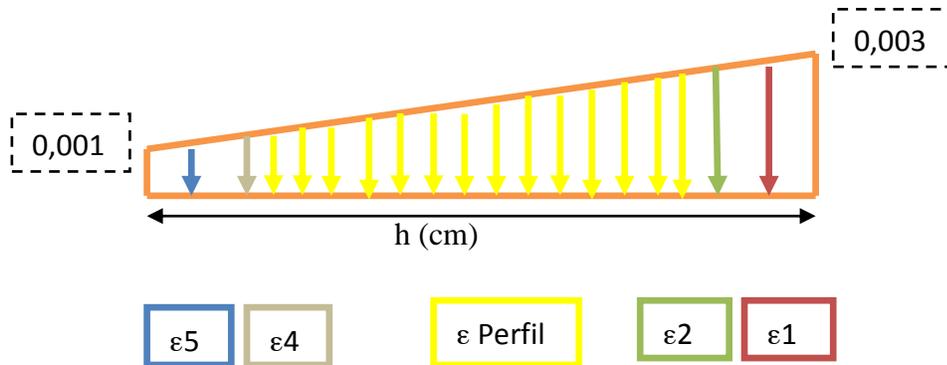


Fig.N°9: Diagrama de Deformaciones

$$\begin{aligned}
 P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * A_c \\
 P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * A_s + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * A_{sr} \\
 P_{n1} &= P_{acero} + P_{concreto} \\
 M_{n1} &= A_s * \sigma_s * (\text{brazo}) + A_{sr} * \sigma_{sr} * (\text{brazo})
 \end{aligned} \quad (5)$$

✓ Cálculo de  $c$  (cm):

En este caso como toda la sección esta a compresión y el diagrama de deformaciones tiene forma de rombo, se prolonga el diagrama de deformaciones hasta llegar a cero, y se busca la distancia a la cual el diagrama es triangular, en el caso en que  $a = c * \beta_1$  supere la dimensión real de la columna se tomara como valor de  $a$  la dimensión real de la columna. Ejemplo: si la columna es de 50x 50 (cm) y la dimensión del diagrama es 75 (cm) se toma como valor de  $a$  50 (cm).

✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>):

• Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\varepsilon_1 = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{2100 + 4200 * (c - Re)}{c} \quad (6)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{2100 + 4200 * (c - Re - Se)}{c} \quad (7)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,001 + 0,002 * (Re + Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{2100 + 4200 * (Re + Se)}{c} \quad (8)$$

$$\varepsilon_5 = \frac{0,001 + 0,002 * (Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{2100 + 4200 * (Re)}{c} \quad (9)$$

• Sección de Acero (Perfil)

En el cálculo tanto de las deformaciones como de las tensiones en el perfil se procederá a mediante dos formas o métodos, el primero (Fig.10(a)), se basara en buscar el centro de gravedad del perfil (Teorema de Steiner) y en ese punto hallar la deformación y el esfuerzo, mientras que en el segundo método (Fig.10(b)), se basará en una forma discretizada, en el cual el perfil se dividirá en secciones y en cada sección se hallara tanto las deformaciones como las tensiones, en este caso las secciones se dividirán tal que se formen cuadrados en el alma del perfil de tamaño  $t_w$ , en aquellos casos donde las secciones no sean pares sino de sección impar se considerará  $t_w$ \*dimensión restante, y el ala se según su sección  $b_f$ \* $t_f$ ,

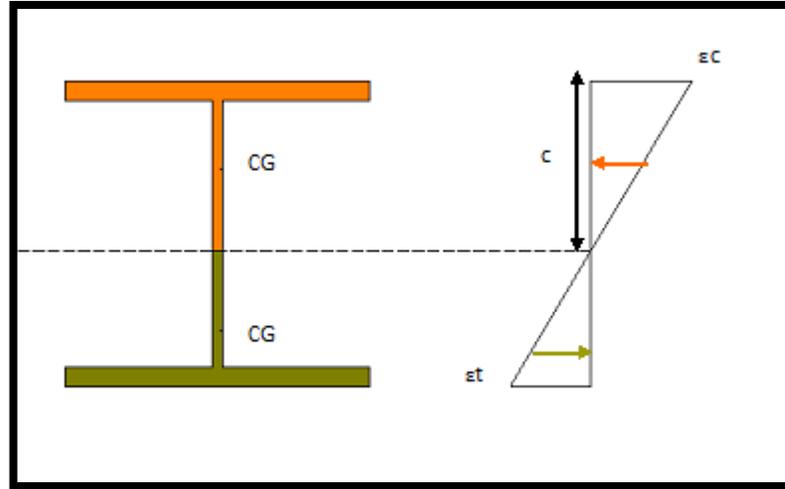


Fig.N°10 (a): Método 1 (Centro de Gravedad de la Sección a Compresión y a Tracción)

Fuente: Propia.

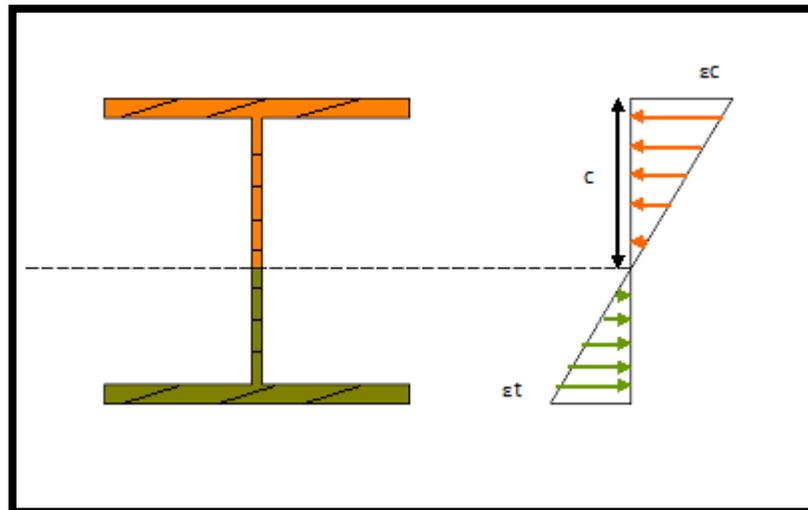


Fig.N°10 (b): Método 2 (Discretizado)

Fuente: Propia.

- ✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:

$$\epsilon_p = \frac{0,001 + 0,002 * (c - cg)}{c} \quad \sigma_p = \frac{2100 + 4200 * (c - cg)}{c} \quad (10)$$

- ✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Ala:

$$\epsilon_p = \frac{0,001 + 0,002 * \left(c - Rp - \frac{Tf}{2}\right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{2100 + 4200 * \left(c - Rp - \frac{Tf}{2}\right)}{c} \quad (11)$$

Alma: (12)

$$\varepsilon_{p(n)} = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_{p(n)} = \frac{2100 + 4200 * (c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(13)

$$\varepsilon_{p(n+1)} = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_{p(n+1)} = \frac{2100 + 4200 * (c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(14)

$$\varepsilon_{p(n+2)} = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_{p(n+2)} = \frac{2100 + 4200 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(15)

$$\varepsilon_{p(n+n)} = \frac{0,001 + 0,002 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_{p(n+n)} = \frac{2100 + 4200 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

3. Sección controlada por compresión P2 (kgf/cm<sup>2</sup>) deformación a compresión igual a 0,003 y para la fibra opuesta también a compresión 0,000

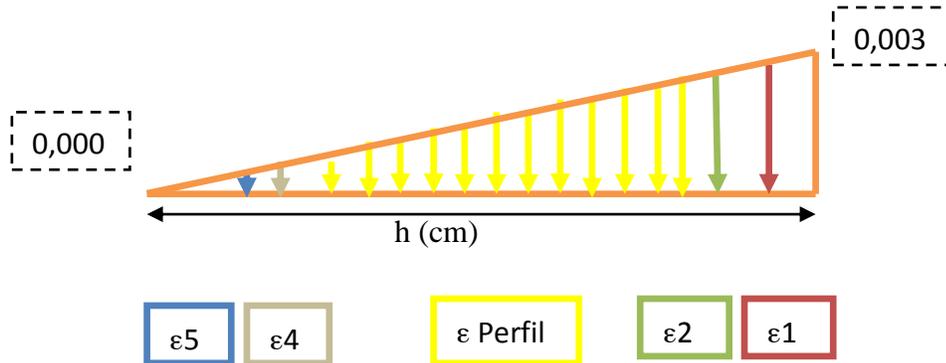


Fig.N°11: Diagrama de Deformaciones

$$\begin{aligned}
 P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * A_c \\
 P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * A_s + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * A_{sr} \\
 P_{n2} &= P_{acero} + P_{concreto} \\
 M_{n2} &= P_c * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + A_s * \sigma_s * (\text{brazo}) + A_{sr} * \sigma_{sr} * (\text{brazo})
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

En este caso como toda la sección esta a compresión y el diagrama de deformaciones es triangular el valor de c es igual a h.

✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>)

• Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\epsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c} \quad (17)$$

$$\epsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \quad (18)$$

$$\epsilon_4 = \frac{0,003 * (Re + Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{6300 * (Re + Se)}{c} \quad (19)$$

$$\epsilon_5 = \frac{0,003 * (Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{6300 * (Re)}{c} \quad (20)$$

• Sección de Acero (Perfil)

✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (c - cg)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (c - cg)}{c} \quad (21)$$

✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Ala: (22)

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c}$$

Alma: (23)

$$\epsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - \frac{T_w}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - \frac{T_w}{2} \right)}{c}$$

(24)

$$\epsilon_p(n+1) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - T_w - \frac{T_w}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n+1) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - T_w - \frac{T_w}{2} \right)}{c}$$

(25)

$$\varepsilon_p (n+2) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_p (n+2) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(26)

$$\varepsilon_p (n+n) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

$$\sigma_p (n+n) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

4. Sección a compresión P3 (kgf/cm2) Fibra a compresión 0,003 y la fibra externa a tracción 0,001

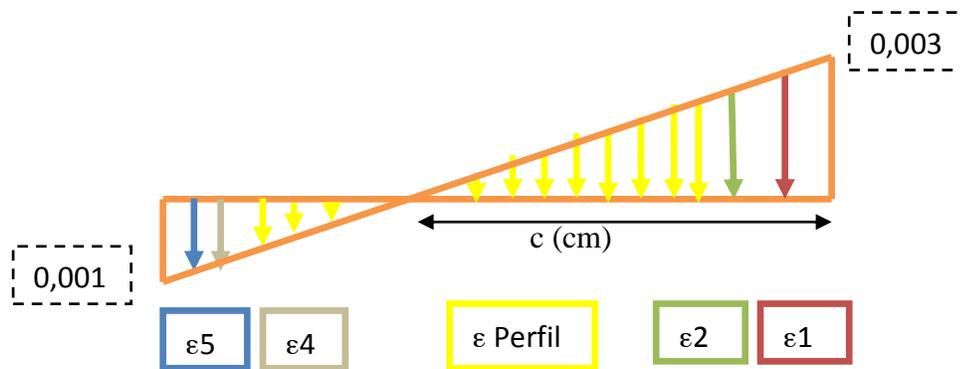


Fig.N°12: Diagrama de Deformaciones Sección a Compresión.

$$\begin{aligned}
 P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * Ac \\
 P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * As + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * Asr \\
 P_{n3} &= P_{acero} + P_{concreto} \\
 Mn3 &= Pc * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + As * \sigma_s * (brazo) + Asr * \sigma_{sr} * (brazo)
 \end{aligned}
 \tag{27}$$

- ✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

$$\frac{0,003}{c} = \frac{0,001}{h - c} \tag{28}$$

- ✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm2):

- Acero de Refuerzo (cabillas)

(29)

$$\varepsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \quad (30)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,003 * (h - c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{6300 * (h - c - Re - Se)}{c} \quad (31)$$

$$\varepsilon_5 = \frac{0,003 * (h - c - Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{6300 * (h - c - Re)}{c} \quad (32)$$

- Sección de Acero (Perfil)

- ✓ Cálculo de las deformaciones y tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:  
Para el cálculo de las deformaciones y tensiones es necesario calcular el centro de gravedad y el área de la sección comprimida y traccionada del perfil.

Sección a Compresión:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (c - cgc - Rp)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (c - cgc - Rp)}{c} \quad (33)$$

Sección a Tracción:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (h - c - cgt - Rp)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (h - c - cgt - Rp)}{c} \quad (34)$$

- ✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Sección a Compresión:

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad (35)$$

Alma:

$$\varepsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (36)$$

(37)

$$\varepsilon_p(n+1) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n+1) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c}$$

(38)

$$\varepsilon p (n+2) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + 2) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(39)

$$\varepsilon p (n+n) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + n) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

Sección a Tracción:

(33)

Ala:

$$\varepsilon p = \frac{0,003 * (h - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c} \quad \sigma p = \frac{6300 * (h - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c}$$

Alma:

(41)

$$\varepsilon p (n) = \frac{0,003 * (h - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n) = \frac{6300 * (h - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(42)

$$\varepsilon p (n+1) = \frac{0,003 * (h - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + 1) = \frac{6300 * (h - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(43)

$$\varepsilon p (n+2) = \frac{0,003 * (h - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + 2) = \frac{6300 * (h - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(44)

$$\varepsilon p (n+n) = \frac{0,003 * (h - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + n) = \frac{6300 * (h - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

5. Sección en Condición Balanceada P4 (kgf/cm<sup>2</sup>) Fibra a compresión 0,003 y la fibra de acero opuesta a tracción 0,002.

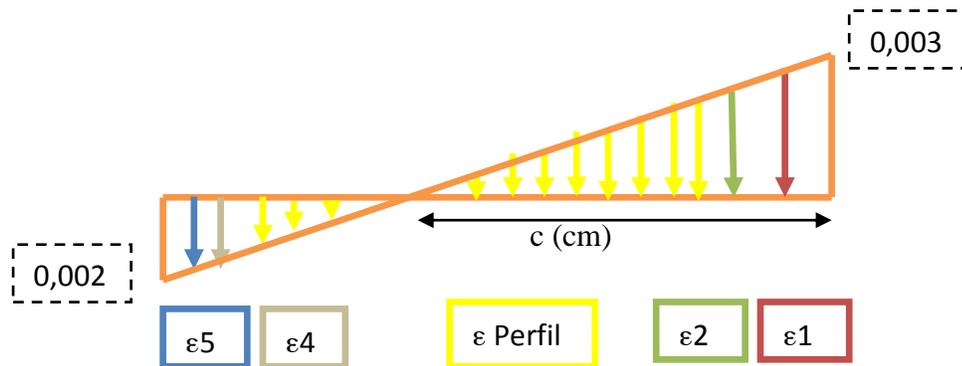


Fig.Nº13: Diagrama de Deformaciones Sección a Compresión y Tracción.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{concreto}} &= 0,85 * F(c) * A_c \\
 P_{\text{acero}} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * A_s + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * A_{sr} \\
 P_{n4} &= P_{\text{acero}} + P_{\text{concreto}} \\
 Mn4 &= Pc * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + A_s * \sigma_s * (\text{brazo}) + A_{sr} * \sigma_{sr} * (\text{brazo})
 \end{aligned} \tag{45}$$

- ✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

$$\frac{0,003}{c} = \frac{0,002}{d - c} \tag{46}$$

- ✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>):

- Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\epsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c} \tag{47}$$

$$\epsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \tag{48}$$

$$\epsilon_4 = \frac{0,003 * (d - c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{6300 * (d - c - Re - Se)}{c} \tag{49}$$

$$\epsilon_5 = \frac{0,003 * (d - c - Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{6300 * (d - c - Re)}{c} \tag{50}$$

- Sección de Acero (Perfil)

- ✓ Cálculo de las deformaciones y tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:  
Para el cálculo de las deformaciones y tensiones es necesario calcular el centro de gravedad y el área de la sección comprimida y traccionada del perfil.

Sección a Compresión: (51)

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (c - cgc - Rp)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * (c - cgc - Rp)}{c}$$

(52)

Sección a Tracción:

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - cgt - Rp)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - cgt - Rp)}{c}$$

- ✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Sección a Compresión:

Ala:

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \qquad (53)$$

Alma:

$$\epsilon_p (n) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \qquad \sigma_p (n) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \qquad (54)$$

(55)

$$\epsilon_p (n+1) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \qquad \sigma_p (n+1) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c}$$

(56)

$$\epsilon_p (n+2) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \qquad \sigma_p (n+2) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2} \right)}{c}$$

(57)

$$\varepsilon p (n+n) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + n) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

Sección a Tracción:

Ala:

$$\varepsilon p = \frac{0,003 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c} \quad \sigma p = \frac{6300 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c} \quad (58)$$

Alma:

$$\varepsilon p (n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p(n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c} \quad (59)$$

(60)

$$\varepsilon p (n+1) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + 1) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(61)

$$\varepsilon p (n+2) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + 2) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(62)

$$\varepsilon p (n+n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma p (n + n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

6. Sección Controlada a Tracción P5 (kgf/cm<sup>2</sup>) Fibra a compresión 0,003 y la fibra de acero opuesta a tracción 0,005.

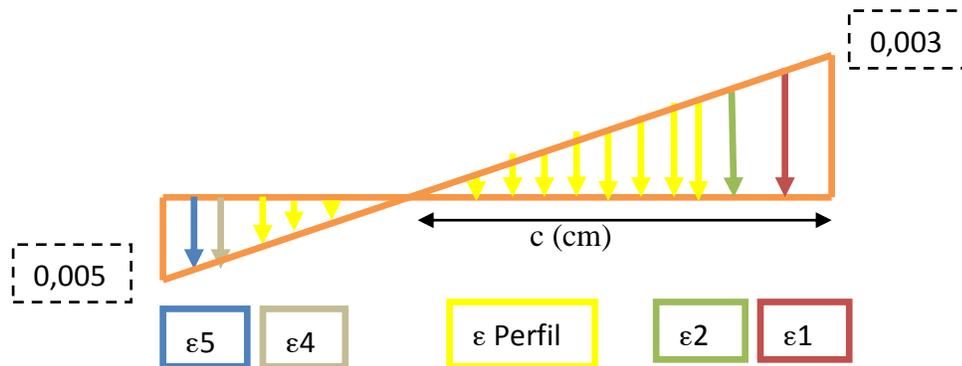


Fig.Nº14: Diagrama de Deformaciones Sección a Compresión y Tracción.

$$\begin{aligned}
 P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * A_c \\
 P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * A_s + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * A_{sr} \\
 P_{n5} &= P_{acero} + P_{concreto} \\
 M_{n5} &= P_c * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + A_s * \sigma_s * (\text{brazo}) + A_{sr} * \sigma_{sr} * (\text{brazo})
 \end{aligned} \tag{63}$$

✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

$$\frac{0,003}{c} = \frac{0,005}{d - c} \tag{64}$$

✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>):

- Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\varepsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \qquad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c} \tag{65}$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \qquad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \tag{66}$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,003 * (d - c - Re - Se)}{c} \qquad \sigma_4 = \frac{6300 * (d - c - Re - Se)}{c} \tag{67}$$

$$\varepsilon_5 = \frac{0,003 * (d - c - Re)}{c} \qquad \sigma_5 = \frac{6300 * (d - c - Re)}{c} \tag{68}$$

- Sección de Acero (Perfil)

- ✓ Cálculo de las deformaciones y tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:  
Para el cálculo de las deformaciones y tensiones es necesario calcular el centro de gravedad y el área de la sección comprimida y traccionada del perfil.

Sección a Compresión:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (c - cgc - Rp)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * (c - cgc - Rp)}{c} \qquad (69)$$

Sección a Tracción:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - cgt - Rp)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - cgt - Rp)}{c} \qquad (70)$$

- ✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Sección a Compresión:

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * \left(c - Rp - \frac{Tf}{2}\right)}{c} \qquad \sigma_p = \frac{6300 * \left(c - Rp - \frac{Tf}{2}\right)}{c} \qquad (71)$$

Alma:

$$\varepsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left(c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2}\right)}{c} \qquad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left(c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2}\right)}{c} \qquad (72)$$

(73)

$$\varepsilon_p(n+1) = \frac{0,003 * \left(c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2}\right)}{c} \qquad \sigma_p(n+1) = \frac{6300 * \left(c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2}\right)}{c}$$

(74)

$$\varepsilon_p(n+2) = \frac{0,003 * \left(c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2}\right)}{c} \qquad \sigma_p(n+2) = \frac{6300 * \left(c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2}\right)}{c}$$

(75)

$$\varepsilon_p(n+n) = \frac{0,003 * \left(c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2}\right)}{c} \qquad \sigma_p(n+n) = \frac{6300 * \left(c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2}\right)}{c}$$

Sección a Tracción:

Ala: (76)

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c}$$

Alma: (77)

$$\epsilon_p(n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - \frac{TW}{2})}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - \frac{TW}{2})}{c}$$

(78)

$$\epsilon_p(n+1) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - TW - \frac{TW}{2})}{c} \quad \sigma_p(n+1) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - TW - \frac{TW}{2})}{c}$$

(79)

$$\epsilon_p(n+2) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - TW * 2 - \frac{TW}{2})}{c} \quad \sigma_p(n+2) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - TW * 2 - \frac{TW}{2})}{c}$$

(80)

$$\epsilon_p(n+n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - TW * n - \frac{TW}{2})}{c} \quad \sigma_p(n+n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - TW * n - \frac{TW}{2})}{c}$$

7. Sección a Compresión y Tracción P6 (kgf/cm<sup>2</sup>) Fibra a compresión 0,003 y la fibra de acero opuesta a tracción 0,003.

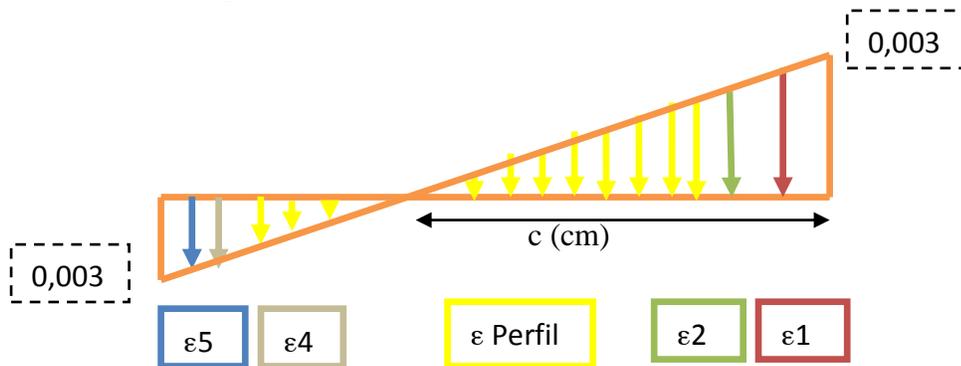


Fig.Nº15: Diagrama de Deformaciones Sección a Compresión y Tracción.

$$\begin{aligned}
P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * Ac \\
P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * As + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * Asr \\
P_{n6} &= P_{acero} + P_{concreto} \\
M_{n6} &= P_c * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + As * \sigma_s * (brazo) + Asr * \sigma_{sr} * (brazo)
\end{aligned} \tag{81}$$

✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

$$\frac{0,003}{c} = \frac{0,003}{d - c} \tag{82}$$

✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>):

• Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\epsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c} \tag{83}$$

$$\epsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \tag{84}$$

$$\epsilon_4 = \frac{0,003 * (d - c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{6300 * (d - c - Re - Se)}{c} \tag{85}$$

$$\epsilon_5 = \frac{0,003 * (d - c - Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{6300 * (d - c - Re)}{c} \tag{86}$$

• Sección de Acero (Perfil)

✓ Cálculo de las deformaciones y tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:

Para el cálculo de las deformaciones y tensiones es necesario calcular el centro de gravedad y el área de la sección comprimida y traccionada del perfil.

Sección a Compresión: (87)

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (c - c_{gc} - Rp)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (c - c_{gc} - Rp)}{c}$$

Sección a Tracción: (88)

$$\epsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - c_{gt} - Rp)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - c_{gt} - Rp)}{c}$$

✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Sección a Compresión:

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * \left( c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad (89)$$

Alma:

$$\varepsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (90)$$

$$\varepsilon_p(n+1) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n+1) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (91)$$

$$\varepsilon_p(n+2) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n+2) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (92)$$

$$\varepsilon_p(n+n) = \frac{0,003 * \left( c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n+n) = \frac{6300 * \left( c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (93)$$

Sección a Tracción:

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * \left( d - c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * \left( d - c - Rp - \frac{Tf}{2} \right)}{c} \quad (94)$$

Alma:

$$\varepsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left( d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left( d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2} \right)}{c} \quad (95)$$

(96)

$$\varepsilon_{p(n+1)} = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_{p(n+1)} = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(97)

$$\varepsilon_{p(n+2)} = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_{p(n+2)} = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(98)

$$\varepsilon_{p(n+n)} = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_{p(n+n)} = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

8. Sección a Compresión y Tracción P6 (kgf/cm<sup>2</sup>) Fibra a compresión 0,003 y la fibra de acero opuesta a tracción 0,008.

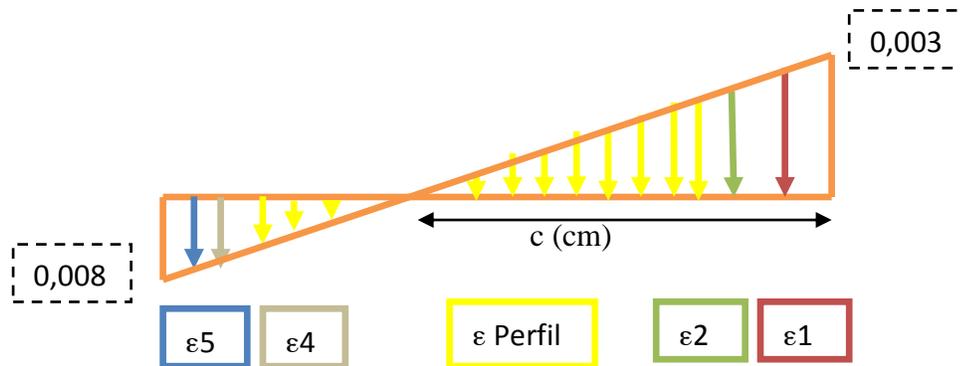


Fig.Nº16: Diagrama de Deformaciones Sección a Compresión y Tracción.

$$\begin{aligned} P_{concreto} &= 0,85 * F(c) * A_c \\ P_{acero} &= (\sigma_s - 0,85 * F(c)) * A_s + (\sigma_{sr} - 0,85 * F(c)) * A_{sr} \\ P_{n7} &= P_{acero} + P_{concreto} \\ M_{n7} &= P_c * \left(0,5 * h - \frac{a}{2}\right) + A_s * \sigma_s * (\text{brazo}) + A_{sr} * \sigma_{sr} * (\text{brazo}) \end{aligned} \quad (99)$$

- ✓ Cálculo de c (cm): Cálculo de c (cm):

$$\frac{0,003}{c} = \frac{0,008}{d - c} \quad (100)$$

✓ Cálculo de Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>)

• Acero de Refuerzo (cabillas)

$$\varepsilon_1 = \frac{0,003 * (c - Re)}{c} \quad \sigma_1 = \frac{6300 * (c - Re)}{c} \quad (101)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{0,003 * (c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_2 = \frac{6300 * (c - Re - Se)}{c} \quad (102)$$

$$\varepsilon_4 = \frac{0,003 * (d - c - Re - Se)}{c} \quad \sigma_4 = \frac{6300 * (d - c - Re - Se)}{c} \quad (103)$$

$$\varepsilon_5 = \frac{0,003 * (d - c - Re)}{c} \quad \sigma_5 = \frac{6300 * (d - c - Re)}{c} \quad (104)$$

• Sección de Acero (Perfil)

✓ Cálculo de las deformaciones y tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el primer método:  
Para el cálculo de las Deformaciones y Tensiones es necesario calcular el centro de gravedad y el área de la sección comprimida y traccionada del perfil.

Sección a Compresión:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (c - c_{gc} - R_p)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (c - c_{gc} - R_p)}{c} \quad (105)$$

Sección a Tracción:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - c_{gt} - R_p)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - c_{gt} - R_p)}{c} \quad (106)$$

✓ Cálculo de las Deformaciones y Tensiones (kgf/cm<sup>2</sup>) según el segundo método:

Sección a Compresión:

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * \left( c - R_p - \frac{T_f}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * \left( c - R_p - \frac{T_f}{2} \right)}{c} \quad (107)$$

Alma:

$$\varepsilon_p(n) = \frac{0,003 * \left( c - R_p - T_f - \frac{T_w}{2} \right)}{c} \quad \sigma_p(n) = \frac{6300 * \left( c - R_p - T_f - \frac{T_w}{2} \right)}{c} \quad (108)$$

(109)

$$\varepsilon_p (n+1) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+1) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(110)

$$\varepsilon_p (n+2) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+2) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(111)

$$\varepsilon_p (n+n) = \frac{0,003 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+n) = \frac{6300 * (c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

Sección a Tracción:

(112)

Ala:

$$\varepsilon_p = \frac{0,003 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c} \quad \sigma_p = \frac{6300 * (d - c - Rp - \frac{Tf}{2})}{c}$$

Alma:

(113)

$$\varepsilon_p (n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(114)

$$\varepsilon_p (n+1) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+1) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(115)

$$\varepsilon_p (n+2) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+2) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * 2 - \frac{Tw}{2})}{c}$$

(116)

$$\varepsilon_p (n+n) = \frac{0,003 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c} \quad \sigma_p (n+n) = \frac{6300 * (d - c - Rp - Tf - Tw * n - \frac{Tw}{2})}{c}$$

9. Las capacidades resistentes teóricas obtenidas para cada caso, deben afectarse por su respectivo valor de reducción ( $\phi$ ), este factor de reducción proporciona a la sección cierto margen de reserva de resistencia. De acuerdo con las recomendaciones de la Norma ACI318-08 (9.3) para las combinaciones de solicitaciones que produzcan en el acero sometido a tracción una deformación menor o igual a 0,002, mientras que el concreto alcance una deformación máxima de compresión de 0,003 el valor de  $\phi$  será 0,65, cuando el acero sometido a tracción tenga una deformación mayor o igual a 0,005  $\phi$  será 0,90 y si la deformación del acero sometido a tracción se encuentra entre 0,02 y 0,05  $\phi$  se obtendrá por medio de interpolación.

#### **IV.2 MÉTODO DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN LA NORMA AISC360-10:**

- ✓ Resistencia a la compresión:

Limitaciones:

Las columnas mixtas con perfiles de acero embebidos en concreto tienen una serie de limitaciones expuestas a continuación:

- El área de la sección transversal del perfil de acero debe ser igual o superior al 1% de la sección transversal mixta total.
- El concreto que recubre al perfil de acero tiene que estar reforzado con barras longitudinales continuas y con estribos, este refuerzo transversal debe ser por lo menos 60 cm<sup>2</sup> por cada m de separación entre los estribos.
- La cuantía mínima de las barras longitudinales continuas debe ser 0,004 y viene expresada por la fórmula:

$$\rho_{sr} = \frac{A_{sr}}{A_g} \quad (117)$$

Resistencia a la compresión:

La resistencia de diseño de compresión de una columna mixta sometida a carga axial se determinará para el estado límite de pandeo por flexión basado en la esbeltez de la columna tal como se muestra a continuación:

$$\phi Pn$$

Donde  $\phi = 0,75$

- Si  $Pno/Pe \geq 2,25$ :

$$Pn = Pno \left[ 0,658 \frac{Pno}{Pe} \right] \quad (118)$$

- Si  $Pno/Pe \leq 2,25$ :

$$Pn = 0,877Pe \quad (119)$$

Donde:

$$Pno = AsFy + AsrFyr + 0,85Acf'c \quad (120)$$

$$Pe = \frac{\pi^2(EIeff)}{(KL)^2} \quad (121)$$

$$EIeff = EsIs + 0,5EsIsr + CEclc \quad (122)$$

$$C1 = 0,1 + 2 \left( \frac{As}{As+Ac} \right) \leq 0,3 \quad (123)$$

$$Ec = 0,136wc^{1,5} \sqrt{f'c} \quad (124)$$

✓ Resistencia a Tracción

La resistencia a la tracción de una columna mixta sometida a fuerza axial se determinara por el estado límite de fluencia con la siguiente formula:

$$Pn = FyAs + FysrAsr \quad (125)$$

$$\phi t Pn$$

Donde  $\phi t = 0,90$

✓ Resistencia a Flexión:

La resistencia a flexión de la columna mixta se determinara con el método de compatibilidad de deformaciones según Capítulo 10 de ACI 318-10 descrito en la Sección II.1 del presente trabajo.

✓ Resistencia al Corte:

La resistencia al corte de la columna mixta se determinara con la suma de la resistencia al corte del perfil de acero más la resistencia al corte de las barras de refuerzo transversales.

$$\begin{aligned}\phi v V_n &= \phi v (V_{nc} + V_{np}) \\ \phi v &= 0,90\end{aligned}\quad (126)$$

✓ Resistencia al corte del Perfil de acero:

La resistencia de corte nominal se determinara para el estado límite de fluencia en corte y pandeo en corte de la siguiente manera:

$$V_n = 0,6 F_y A_w C_v \quad (127)$$

Para almas de miembros laminados de sección H con  $h/t_w \leq 2,24 \sqrt{E/F_y}$

$$\phi v = 1,00$$

Y

$$C_v = 1,0$$

✓ Resistencia al corte de la sección de concreto reforzada:

La resistencia al corte se determinara según lo previsto en el Capítulo 11 de la ACI 318-10.

$$\phi V_n = \phi (V_c + V_s) \quad (128)$$

Donde

$$V_n = \frac{2Mnx}{h} \quad (129)$$

$$V_c = 0,53 \sqrt{f'c} b d \quad (130)$$

$$V_s = \frac{A_v F_y d}{A_s} \quad (131)$$

Donde

$$V_s \leq 2,1\sqrt{f'cbd} \quad (132)$$

✓ Diseño de los conectores de corte:

El área y cantidad de conectores de corte necesario para una columna mixta se determinara despejando de la siguiente ecuación:

$$\frac{P_n}{N^{\circ}} = A_s c F_u \quad (133)$$

✓ Diagramas N-M:

Una vez calculado  $P_n$  y  $M_n$  según lo descrito en las secciones anteriores se procederá a la determinación de los diagramas N-M según las siguientes ecuaciones:

$$\text{Si } \frac{P_r}{P_c} \geq 0,2 : \quad \frac{P_r}{P_c} + \frac{8}{9} \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1,0 \quad (134)$$

$$\text{Si } \frac{P_r}{P_c} < 0,2 : \quad \frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} \right) \leq 1,0 \quad (135)$$

Donde:

$$P_c = \phi_c P_n$$

$$M_c = \phi_b M_n$$

En este caso se tendrían dos incógnitas por lo que  $P_r$  se le irán asignando valores y se despejara  $M_{rx}$  para cada uno de ellos.

**CAPÍTULO V**  
**APLICACIÓN CSI PARA EL DISEÑO**  
**DE COLUMNAS MIXTAS**  
**(Manual de Uso)**

## **V.1 MÉTODO DE DISEÑO PARA COLUMNAS MIXTAS SEGÚN PROGRAMA CSI (SAP2000):**

Procedimiento para la determinación de los diagramas N-M en el diseño de Columnas Mixtas por medio del programa de la CSI (SAP 2000).

Una vez abierta la ventana del programa se procede a definir el material de cada uno de los miembros que conforman la columna mixta: concreto, perfil y barras de refuerzos (cabillas), para ello se va a la barra de herramientas se busca “Define” y luego “Materials...” de la manera como muestra la Figura N°17.

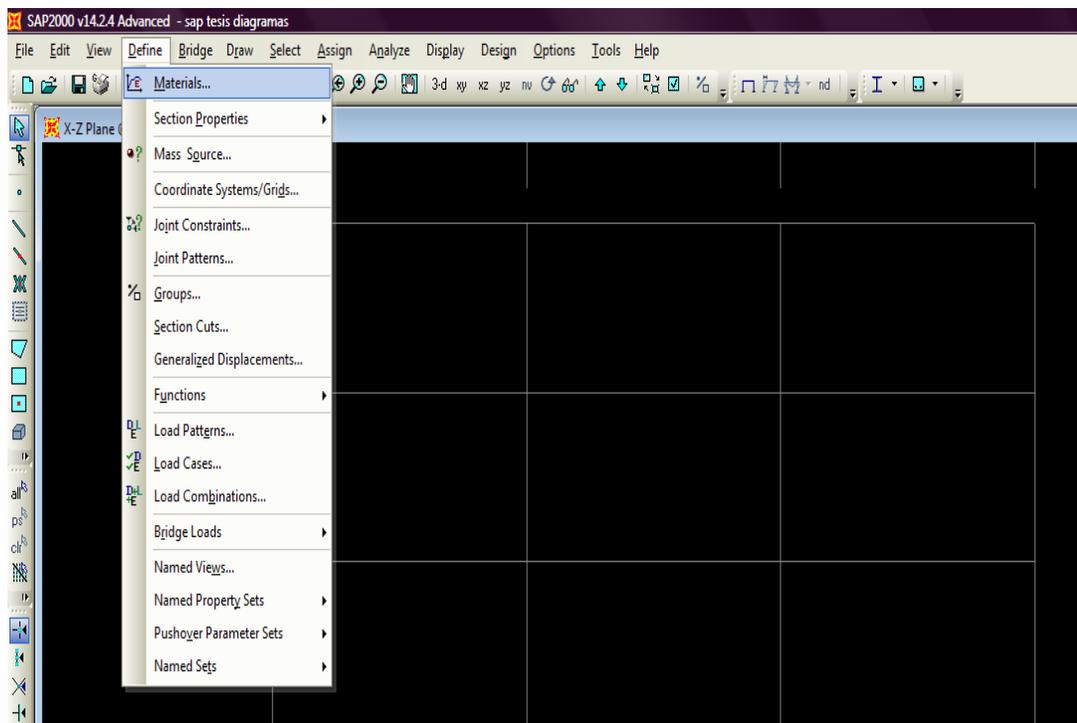


Fig.N°17: SAP2000 (Define).

Cuando se abre la ventana de “Define Materials”, se presiona “Add New Material” y se introducen cada una de las propiedades del material usado.

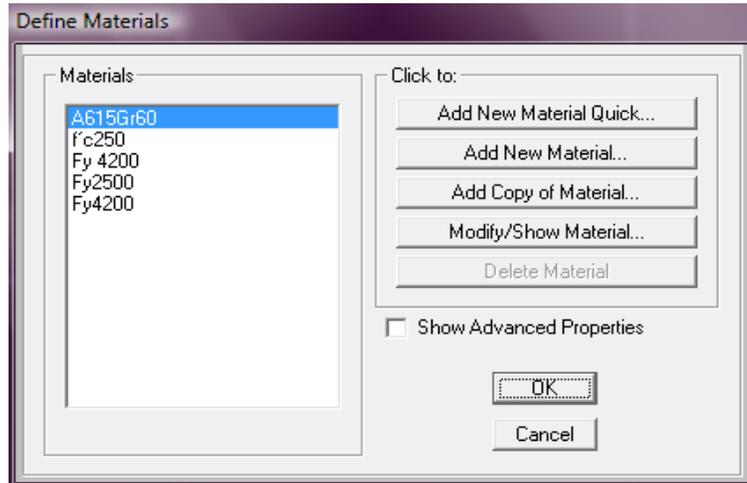


Fig.N°18: SAP2000 (Define Materials).

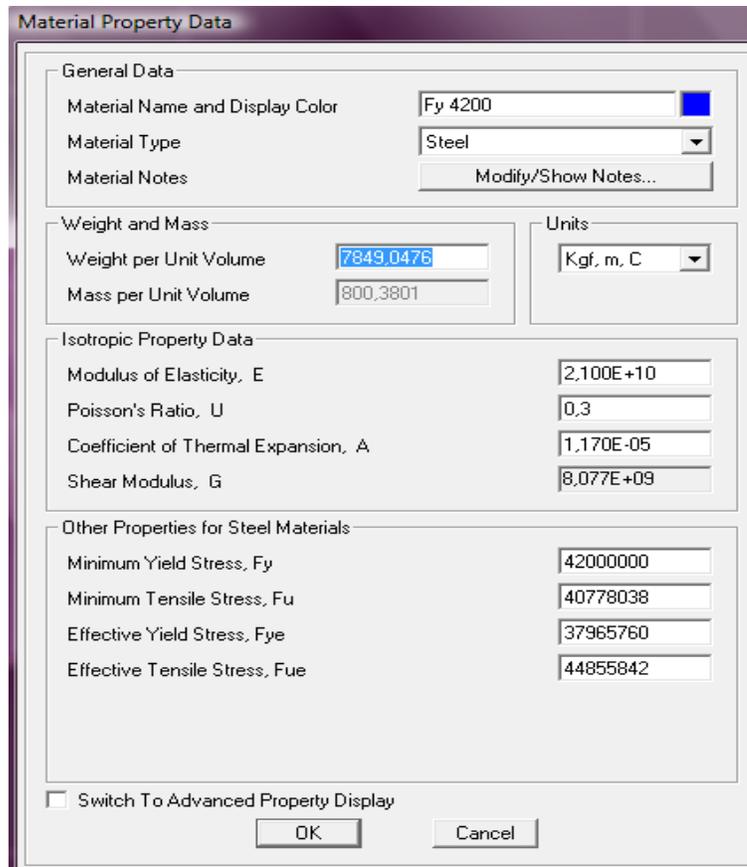


Fig.N°19: SAP2000 (Material Property).

Luego de establecer cada uno de los materiales se procede introducir el diámetro y área de las barras de refuerzos (cabillas) que se utilizaran, de la manera como lo indica en la Figura N°20.

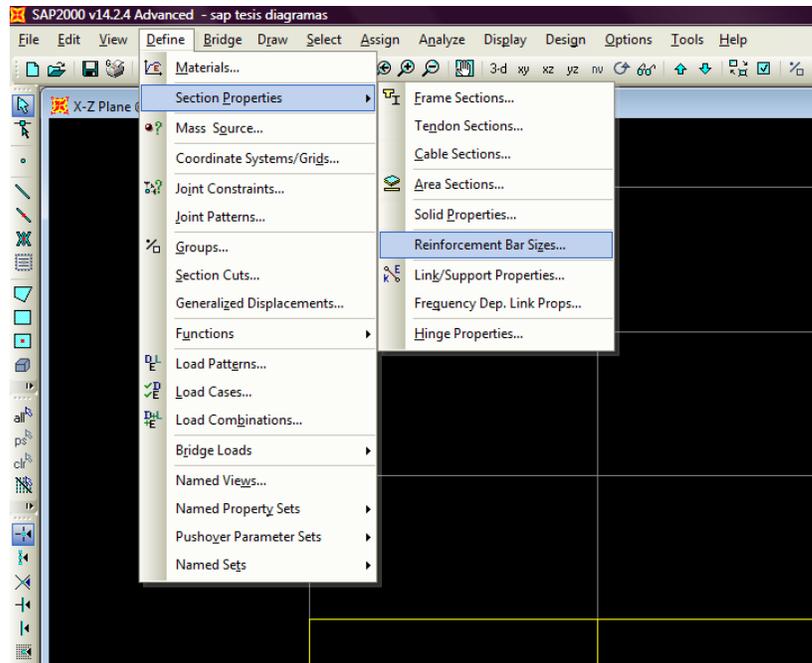


Fig.N°20: SAP2000 (Define, Section Properties, Reinforcement Bar).

Para cada cabilla a utilizar se le coloca el nombre, área y diámetro, se presiona “Add” como se ve en la Figura N°21.

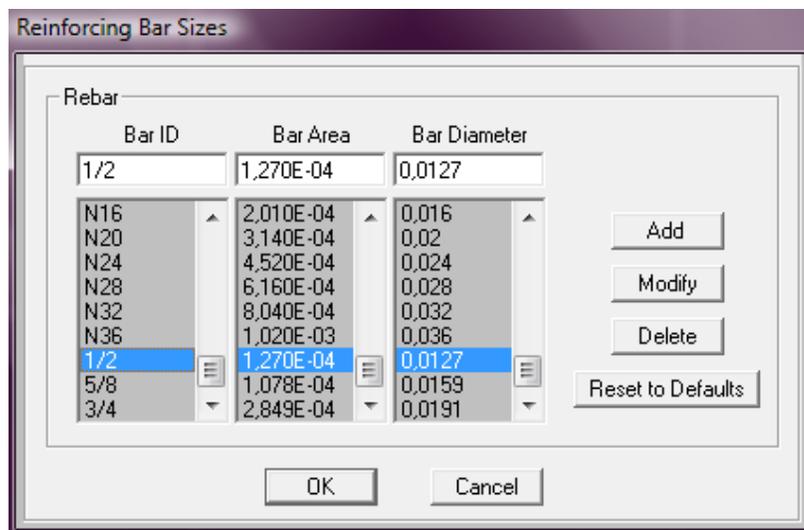


Fig.N°21: SAP2000 (Reinforcing Bar).

Una vez definido cada uno de los parámetros anteriores, para establecer la sección de la columna mixta nuevamente se va a la barra de herramientas “define”, “Section Properties” y “Frame Sections”.

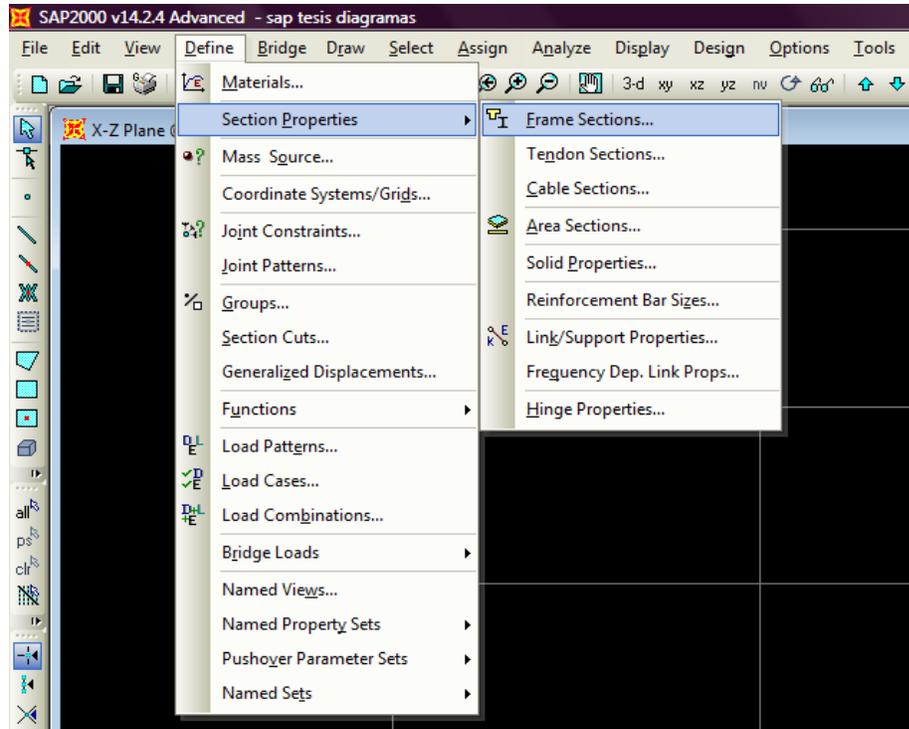


Fig.N°22: SAP2000 (Define, Section Properties, Frame Sections).

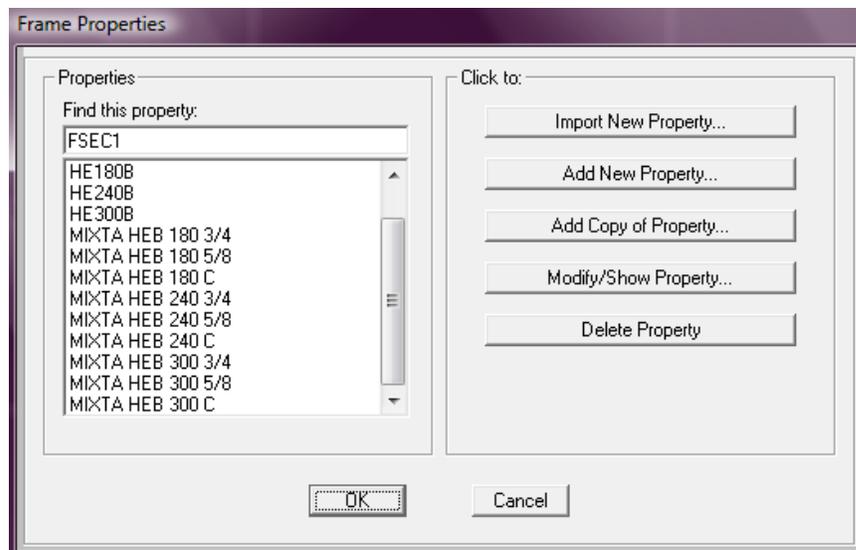


Fig.N°23: SAP2000 (Frame Properties).

En la Figura N°24 se introducen los parámetros de la sección a diseñar, se puede seleccionar en “Base Material” si se desea trabajar con acero o con concreto, esto define la norma con la cual trabajara el programa ACI o AISC, y se crea la seccion en “Section Designer”

The image shows a dialog box titled "SD Section Data" with the following fields and options:

- Section Name:** MIXTA HEB 300 5/8
- Section Notes:** Modify/Show Notes...
- Base Material:** + f'c250
- Design Type:**
  - No Check/Design
  - General Steel Section
  - Concrete Column
- Concrete Column Check/Design:**
  - Reinforcement to be Checked
  - Reinforcement to be Designed
- Define/Edit/Show Section:** Section Designer...
- Section Properties:** Properties...
- Property Modifiers:** Set Modifiers...
- Display Color:**
- Buttons:** OK, Cancel

Fig.N°24: SAP2000 (Section Designer).

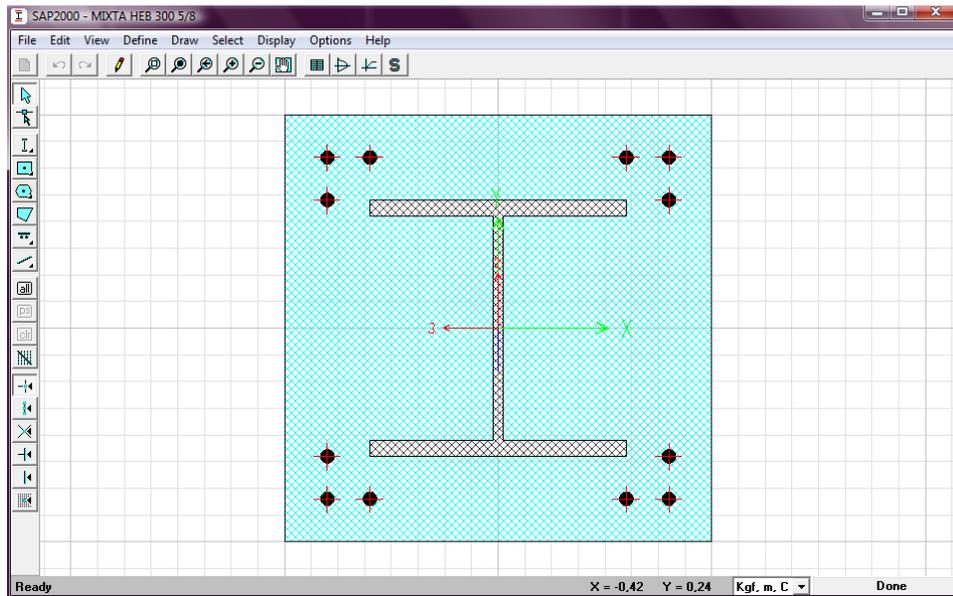


Fig.N°25: SAP2000 (Section Designer).

Luego de haber diseñado la sección con la ayuda de la barra de herramientas, presionando el botón "Show Interaction Surface", y se obtiene el diagrama N-M.

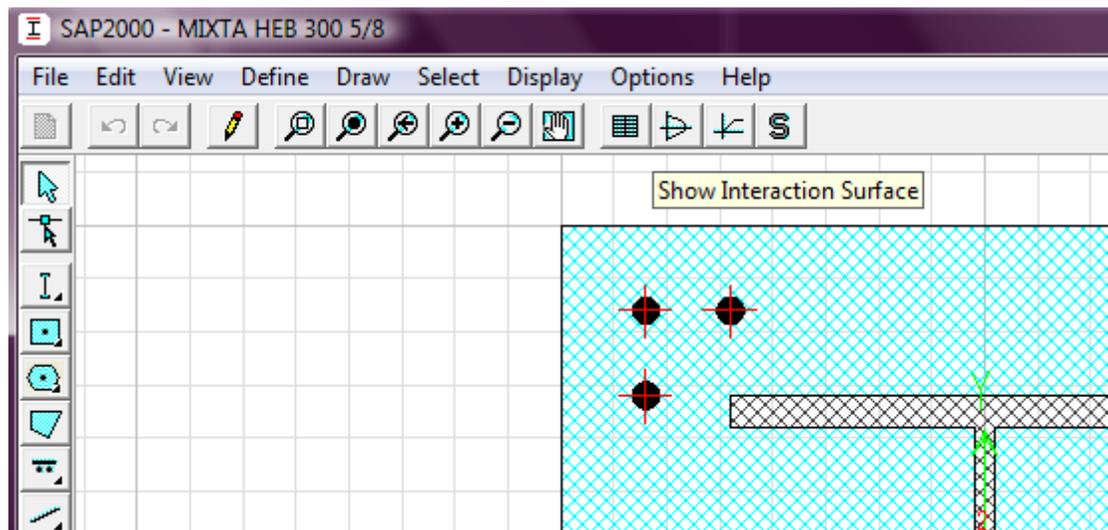


Fig.N°26: SAP2000 (Section Designer).

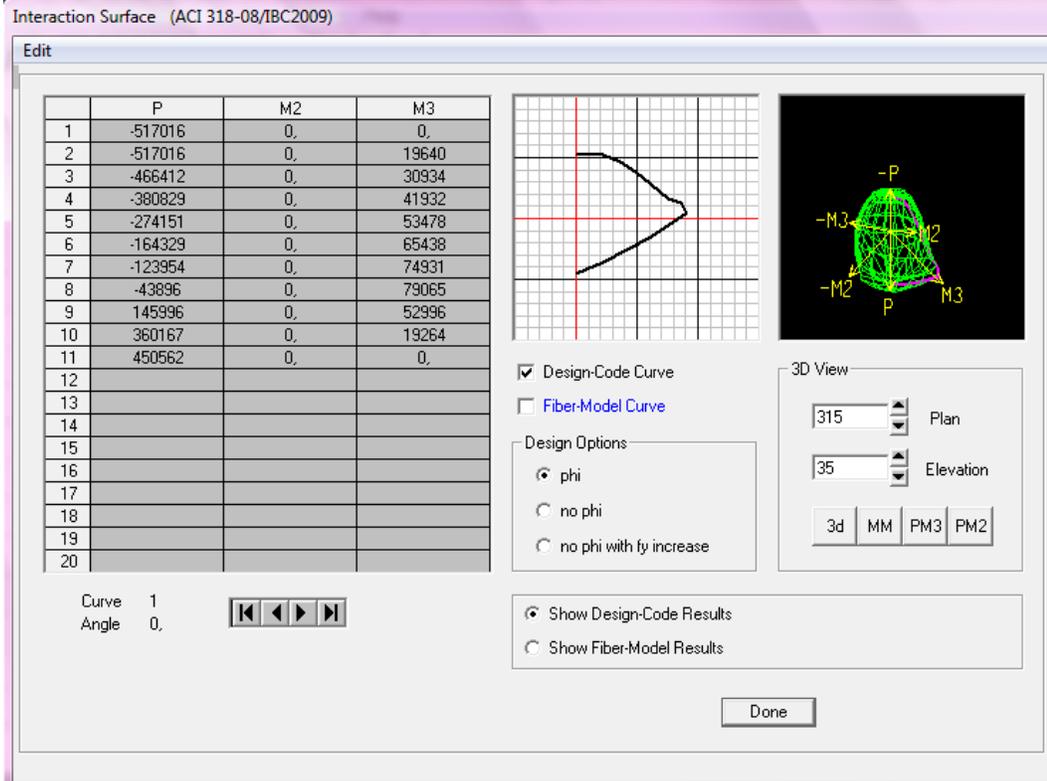


Fig.N°27: SAP2000 (Interaction Surface).

## **CAPÍTULO VI**

# **DESCRIPCIÓN DE LAS SECCIONES DE COLUMNAS MIXTAS ESTUDIADAS**

El presente Trabajo Especial de Grado se desarrolla y fundamenta en el estudio de los métodos de diseño de columnas mixtas según las Normas ACI318-08, AISC360-10 y los programas CSI, para dicho estudio se evaluaron una serie de columnas que se describen a continuación.

## VI.1 COLUMNAS MIXTAS

### VI.1.1 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°4.

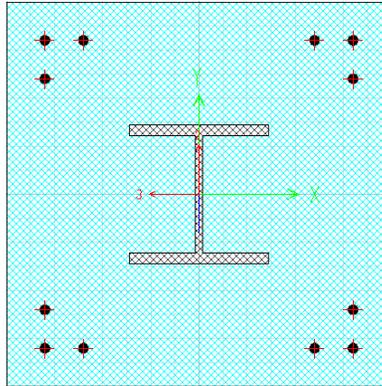


Fig.N°28: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°1:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180, cabillas N°4. cm<sup>2</sup>

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/ cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/ cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 180	65,30	18	18	1,40	0,85	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/ cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo</b>	N°4	1,27	1,27	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.2 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°5.

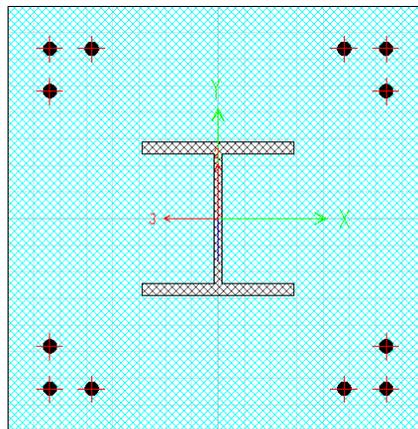


Fig.N°29: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°2:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180, cabillas N°5.

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/ cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 180	65,30	18	18	1,40	0,85	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo “cabillas”</b>	N°5	1,98	1,588	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.3 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-180, CABILLAS N°6.

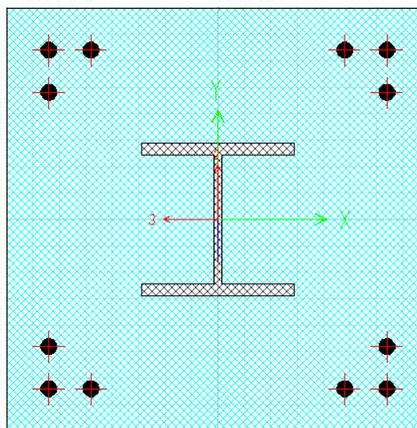


Fig.N°30: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°3:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180, cabillas N°6.

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 180	65,30	18	18	1,40	0,85	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo "cabillas"</b>	N°6	2,85	1,905	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.4 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°4.

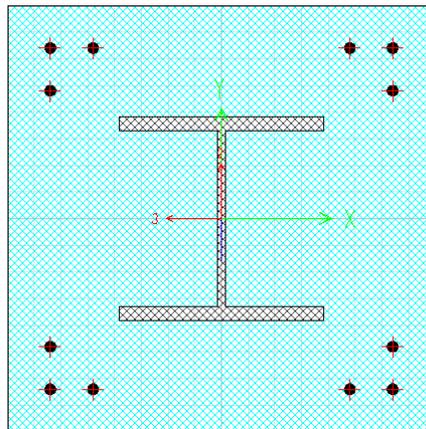


Fig.N°31: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°4:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240, cabillas N°4.

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 240	106	24	24	1,70	1,00	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo "cabillas"</b>	N°4	1,27	1,27	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
Unidad	cm	cm
Recubrimiento	5	16

VI.1.5 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°5.

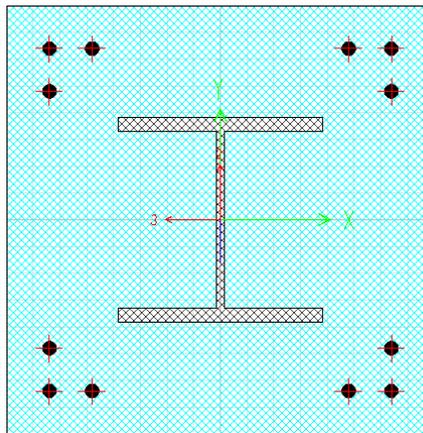


Fig.N°32: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°5:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240, cabillas N°5

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
Unidad	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
Columna de Concreto	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
Unidad	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
Columna de Acero	HEB 240	106	24	24	1,70	1,00	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo “cabillas”</b>	N°5	1,98	1,588	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.6 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-240, CABILLAS N°6.

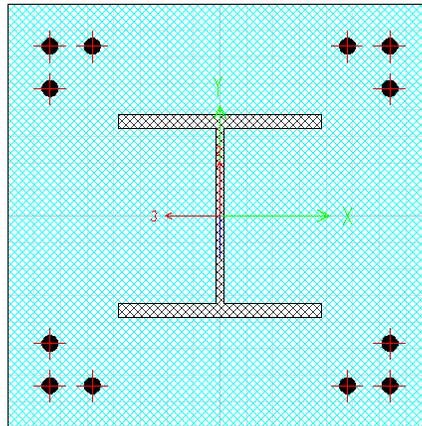


Fig.N°33: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°6:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240, cabillas N°6.

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 240	106	24	24	1,70	1,00	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo “cabillas”</b>	N°6	2,85	1,905	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.7 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°4.

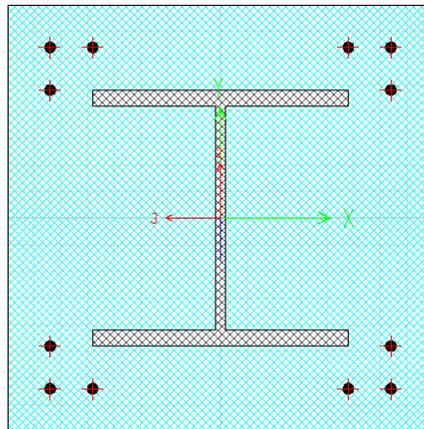


Fig.N°34: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°7:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300, cabillas N°4.

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 300	149	30	30	1,90	1,10	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo "cabillas"</b>	N°4	1,27	1,27	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.8 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°5.

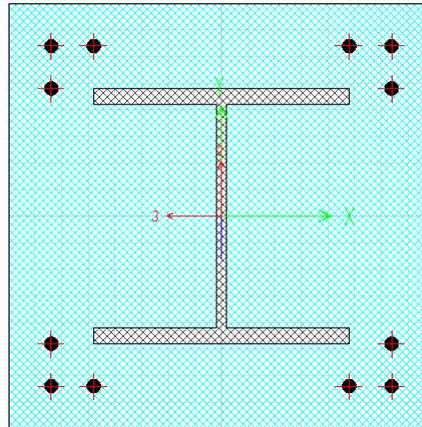


Fig.N°35: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°8:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300, cabillas N°5

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 300	149	30	30	1,90	1,10	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo “cabillas”</b>	N°5	1,98	1,588	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

VI.1.9 COLUMNA DE 50 X50 cm, PERFIL HEB-300, CABILLAS N°6.

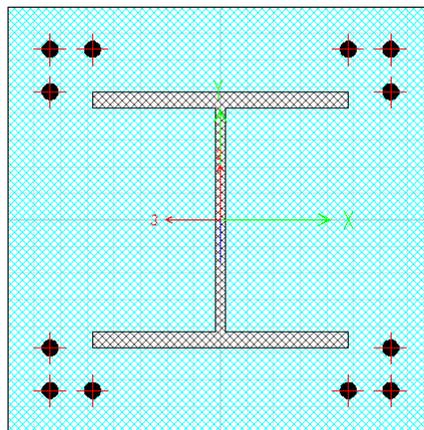


Fig.N°36: SAP2000 (Section Designer).

**Tablas N°9:** Geometría y características de una Columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300, cabillas N°6

Características	Base (b)	Altura (h)	Fc
<b>Unidad</b>	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Concreto</b>	50	50	250

Características	Perfil	Área	Altura (d)	Anchura del ala (bf)	Espesor del ala (tf)	Espesor del alma (tw)	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	cm	cm	cm	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Columna de Acero</b>	HEB 300	149	30	30	1,90	1,10	2500

Características	Cabilla	Área	Diámetro	E	Fy
<b>Unidad</b>	-	cm <sup>2</sup>	cm	kgf/ cm <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Acero de refuerzo “cabillas”</b>	N°6	2,85	1,905	2100000	4200

Características	Cabilla	Perfil
<b>Unidad</b>	cm	cm
<b>Recubrimiento</b>	5	16

**CAPÍTULO VII**  
**RESULTADOS Y ANÁLISIS**

**VII.1. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°10:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-300 y cabilla N°4, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	62894
0,074	50000	60576
0,147	100000	58258
0,221	150000	55108
0,295	200000	49891
0,369	250000	44675
0,442	300000	39459
0,516	350000	34243
0,590	400000	29027
0,663	450000	23811
0,737	500000	18594
0,811	550000	13378
0,885	600000	8162
0,958	650000	2946
1,032	700000	-2270

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
477735	0
477735	16228
439704	26783
359893	36716
261231	46782
164057	56665
127749	64501
51119	67080
-128554	42814
-314617	14052
-378952	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	932857	0	0,65	606357	0
P1	921122	1920,24	0,65	598729	1248
P2	745206	30708	0,65	484384	19960
P3	510429	60735	0,65	331779	39478
P4	226846	86429	0,65	147450	56179
P6	157368	86001	0,73	114879	62781
P5	57372	77996	0,90	51635	70196
P7	-97692	57826	0,90	-87922	52043
P8	-260878	34861	0,90	-234790	31375
0,80*Po	746286	0	0,65	485086	0

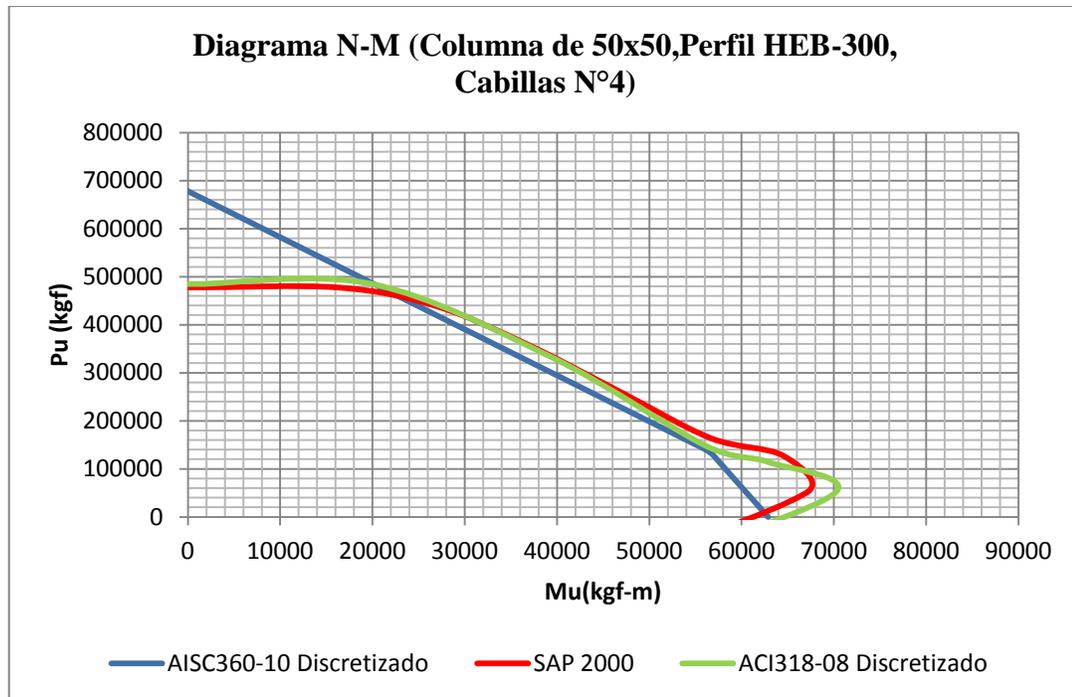


Fig. N°37 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°4.

## **VII.2. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°11:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-240 y cabilla N°4, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	46937
0,083	50000	44986
0,166	100000	43036
0,249	150000	39638
0,332	200000	35249
0,416	250000	30860
0,499	300000	26472
0,582	350000	22083
0,665	400000	17694
0,748	450000	13306
0,831	500000	8917
0,914	550000	4528
0,997	600000	140
1,080	650000	-4249

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
429417	0
429417	12965
408837	21805
341515	29466
260906	36378
170722	43231
118419	48891
26867	47646
-132320	28721
-223222	14052
-287557	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	834494,5	0	0,65	542421	0
P1	822760	1920,24	0,65	534794	1248
P2	688047	24857	0,65	447231	16157
P3	490737	48032	0,65	318979	31221
P4	248811	65591	0,65	161727	42634
P6	164201	66479	0,73	119867	48529
P5	33801	55276	0,90	30421	49748
P7	-106008	39270	0,90	-95407	35343
P8	-215494	25758	0,90	-193945	23183
0,80*Po	667596	0	0,65	433937	0

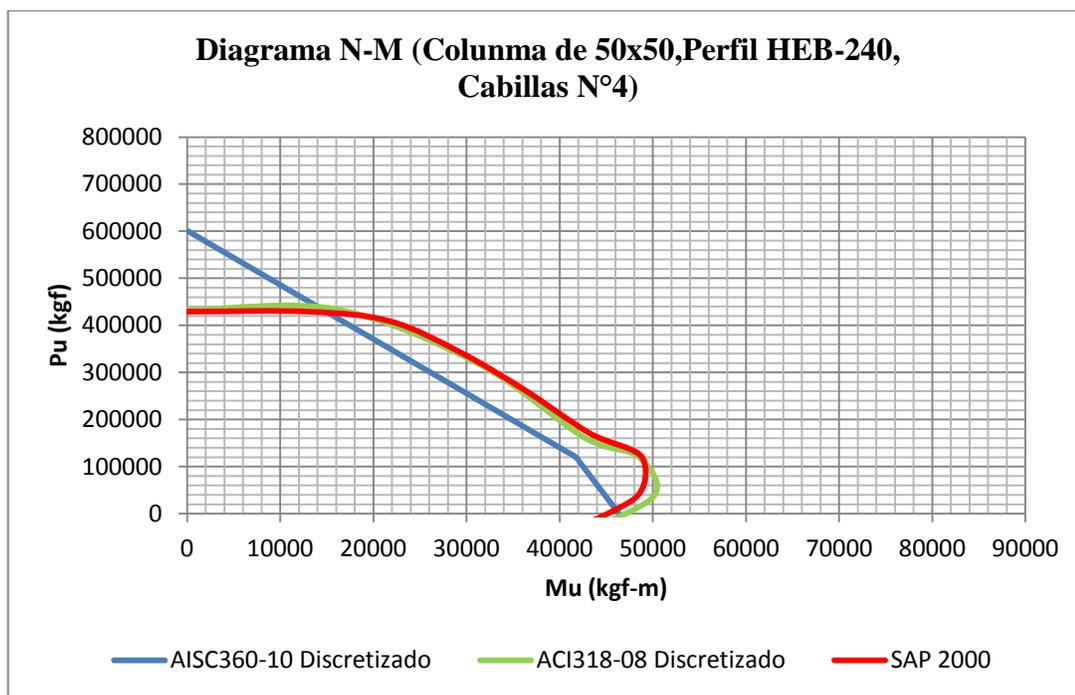


Fig. N°38 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-240 y cabillas N°4.

**VII.3. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°12:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-180 y cabilla N°4, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	34258
0,094	50000	32644
0,188	100000	31029
0,283	150000	27644
0,377	200000	24012
0,471	250000	20380
0,565	300000	16748
0,660	350000	13116
0,754	400000	9484
0,848	450000	5852
0,942	500000	2220
1,037	550000	-1412

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
383169	0
383169	11517
371053	19246
314345	25454
248960	30340
172695	33957
110405	38202
36416	37723
-69757	25943
-135742	14052
-200077	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	741393,25	0	0,65	481906	0
P1	729658	1920,24	0,65	474278	1248
P2	621281	22130	0,65	403832	14385
P3	455722	40929	0,65	296219	26604
P4	262308	51524	0,65	170500	33491
P6	157001	51553	0,73	114611	37634
P5	47180	43399	0,90	42462	39059
P7	-65264	31915	0,90	-58738	28724
P8	-110032	25758	0,90	-99029	23183
0,80*Po	593115	0	0,65	385524	0

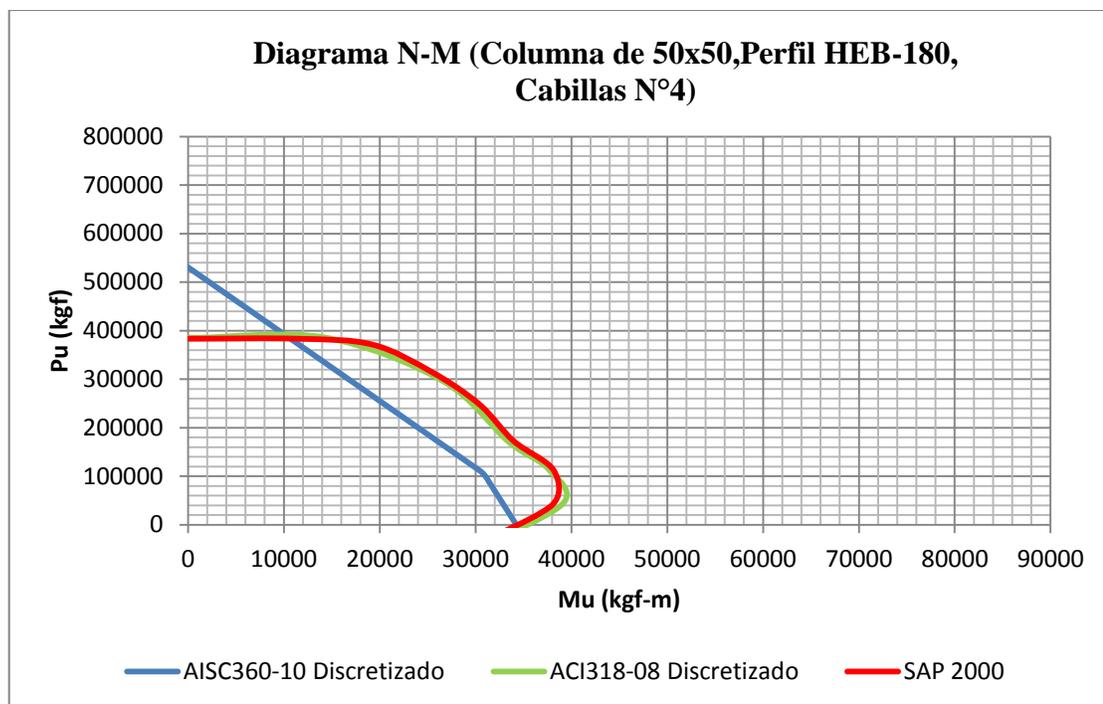


Fig. N°39 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-180 y cabillas N°4.

#### **VII.4. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°13:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-300 y cabilla N°5, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	68800
0,071	50000	66361
0,142	100000	63922
0,213	150000	60935
0,284	200000	55447
0,355	250000	49958
0,425	300000	44470
0,496	350000	38981
0,567	400000	33493
0,638	450000	28005
0,709	500000	22516
0,780	550000	17028
0,851	600000	11539
0,922	650000	6051
0,993	700000	562
1,064	750000	-4926

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
495401	0
495401	17762
451716	28650
369309	39062
267042	49793
164179	60611
126043	69192
47871	72470
-136398	47393
-335102	16396
-411158	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	966830,5	0	0,65	628440	0
P1	948535	2993,76	0,65	616548	1946
P2	764866	33139	0,65	497163	21540
P3	524146	64190	0,65	340695	41723
P4	228171	91946	0,65	148311	59765
P6	156374	92081	0,73	114153	67219
P5	55052	83876	0,90	49547	75489
P7	-103324	63143	0,90	-92992	56829
P8	-271812	39639	0,90	-244631	35675
0,80*Po	773464	0	0,65	502752	0

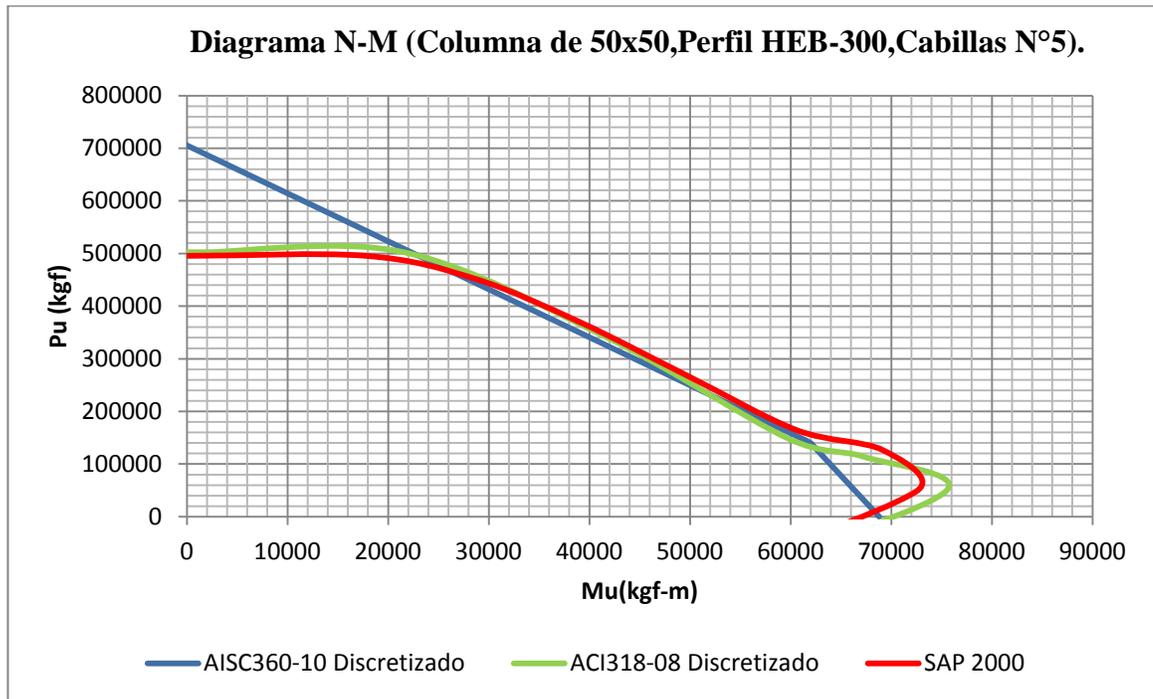


Fig. N°40 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-300 y cabillas N°5.

**VII.5. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°14:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-240 y cabilla N°5, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	52794
0,079	50000	50698
0,159	100000	48602
0,238	150000	45244
0,318	200000	40528
0,397	250000	35812
0,476	300000	31095
0,556	350000	26379
0,635	400000	21663
0,715	450000	16946
0,794	500000	12230
0,873	550000	7514
0,953	600000	2797
1,032	650000	-1919

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
447083	0
447083	14499
420849	23672
350930	31812
266717	39389
170845	47176
116713	53582
23619	53036
-140164	33300
-243707	16396
-319763	0

ACI318-08 DISCRETIZADO					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	707707	27288	0,65	460010	17737
P3	504454	51488	0,65	327895	33467
P4	250136	71108	0,65	162588	46220
P6	163207	72558	0,73	119141	52967
P5	31482	61156	0,90	28333	55041
P7	-111640	44587	0,90	-100476	40128
P8	-226428	30537	0,90	-203785	27483
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0

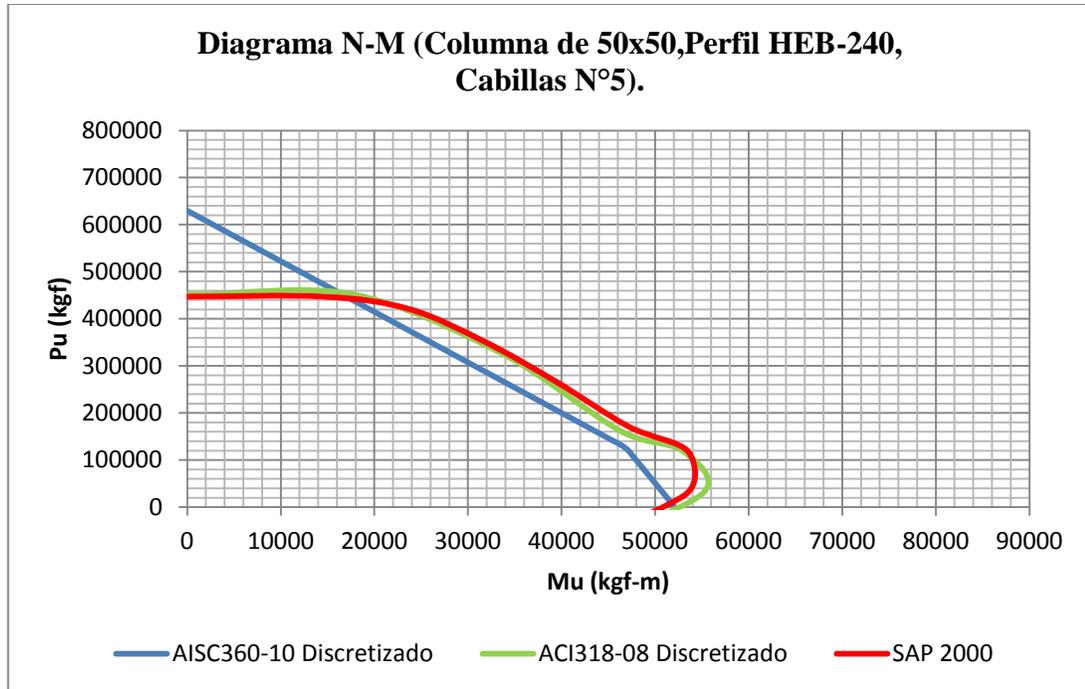


Fig. N°41 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-240 y cabillas N°5.

## **VII.6. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°15:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-180 y cabilla N°5, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	40012
0,089	50000	38225
0,179	100000	36438
0,268	150000	32952
0,357	200000	28931
0,447	250000	24911
0,536	300000	20890
0,625	350000	16869
0,715	400000	12849
0,804	450000	8828
0,893	500000	4807
0,983	550000	787
1,072	600000	-3234

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
400836	0
400836	13051
383064	21113
323761	27801
254771	33352
172817	37903
108699	42893
33168	43113
-77601	30522
-156227	16396
-232283	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	775366,75	0	0,65	503988	0
P1	757072	2993,76	0,65	492097	1946
P2	640941	24560	0,65	416611	15964
P3	469439	44384	0,65	305136	28850
P4	263634	57040	0,65	171362	37076
P6	156007	57633	0,73	113885	42072
P5	44861	49280	0,90	40374	44352
P7	-70897	37232	0,90	-63807	33509
P8	-120966	30537	0,90	-108870	27483
0,80*Po	620293	0	0,65	403191	0

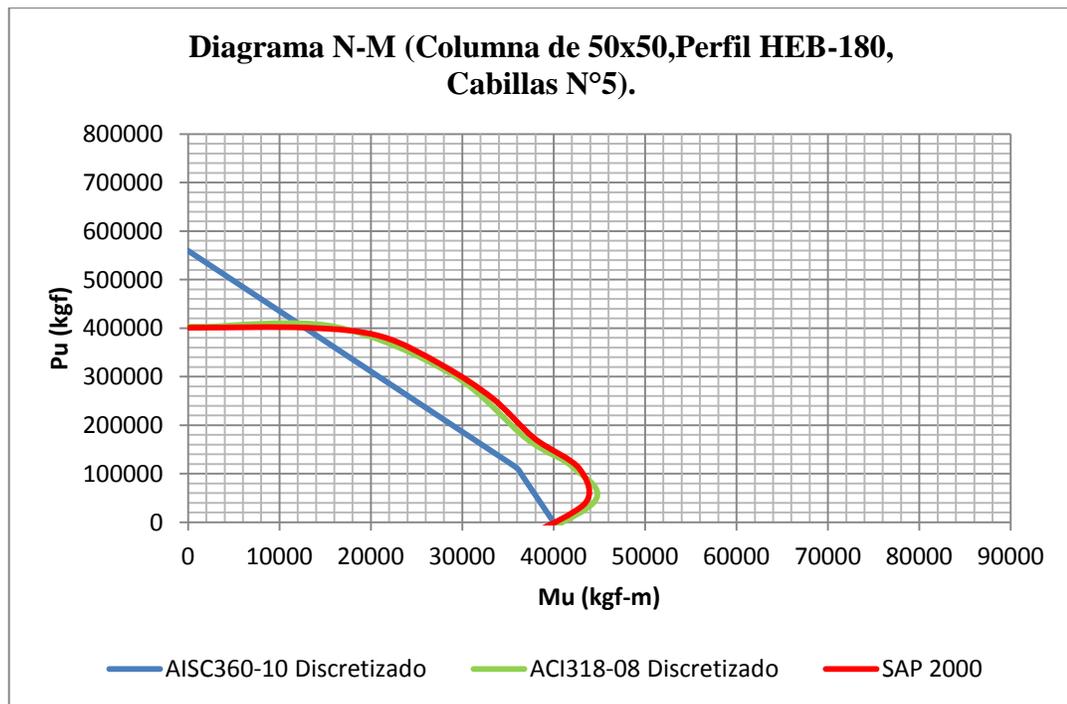


Fig. N°42 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-240 y cabillas N°5.

**VII.7. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°16:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-300 y cabilla N°6, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	76057
0,068	50000	73479
0,136	100000	70901
0,203	150000	68163
0,271	200000	62363
0,339	250000	56562
0,407	300000	50762
0,475	350000	44962
0,542	400000	39161
0,610	450000	33361
0,678	500000	27561
0,746	550000	21761
0,813	600000	15960
0,881	650000	10160
0,949	700000	4360
1,017	750000	-1441

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
517016	0
517016	19640
466412	30934
380829	41932
274151	53478
164329	65438
123954	74931
43896	79065
-145996	52996
-360167	19264
-450562	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	1008460	0	0,65	655499	0
P1	982126	4309,2	0,65	638382	2801
P2	788956	36117	0,65	512822	23476
P3	540955	68424	0,65	351620	44475
P4	229795	98705	0,65	149367	64158
P6	155156	99530	0,73	113264	72657
P5	52210	91082	0,90	46989	81974
P7	-110226	69659	0,90	-99204	62693
P8	-285210	45494	0,90	-256689	40945
0,80*Po	806768	0	0,65	524399	0

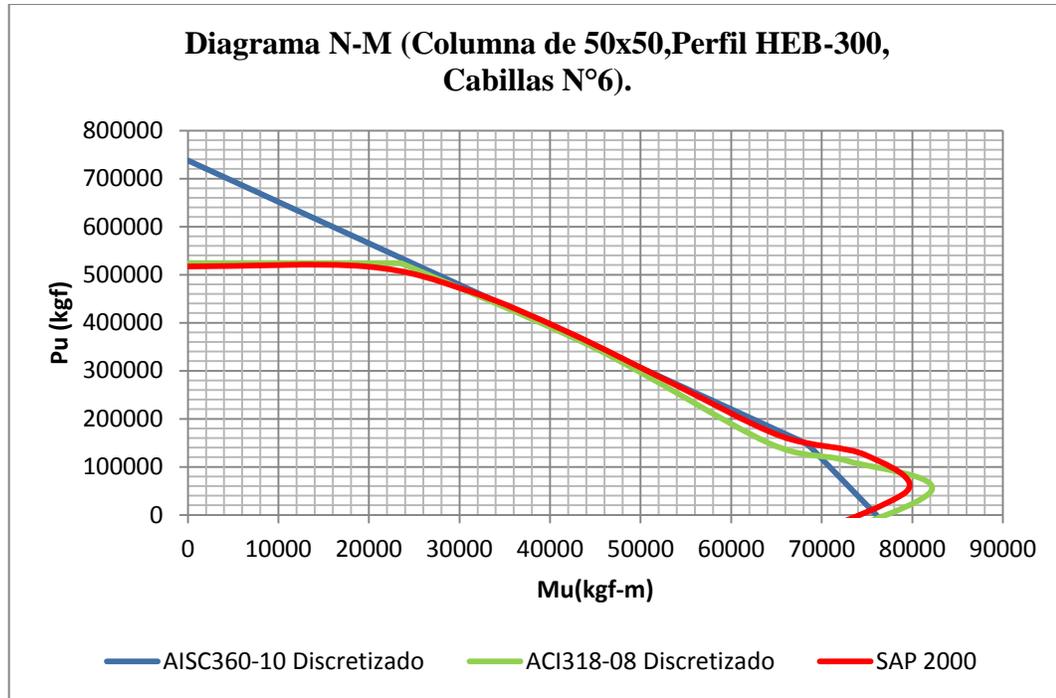


Fig. N°43 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-300 y cabillas N°6.

**VII.8. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°17:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-240 y cabilla N°6, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	59977
0,075	50000	57715
0,151	100000	55454
0,226	150000	52207
0,302	200000	47119
0,377	250000	42030
0,453	300000	36941
0,528	350000	31852
0,603	400000	26763
0,679	450000	21674
0,754	500000	16585
0,830	550000	11496
0,905	600000	6407
0,980	650000	1318
1,056	700000	-3771

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
468698	0
468698	16377
435545	25956
362450	34683
273827	43074
170995	52004
114624	59322
19644	59631
-149762	38903
-268772	19264
-359167	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	910097,5	0	0,65	591563	0
P1	883764	4309,2	0,65	574446	2801
P2	731798	30266	0,65	475668	19673
P3	521263	55722	0,65	338821	36219
P4	251760	77867	0,65	163644	50613
P6	161989	80007	0,73	118252	58405
P5	28640	68362	0,90	25776	61526
P7	-118542	51102	0,90	-106688	45992
P8	-239826	36392	0,90	-215844	32753
0,80*Po	728078	0	0,65	473251	0

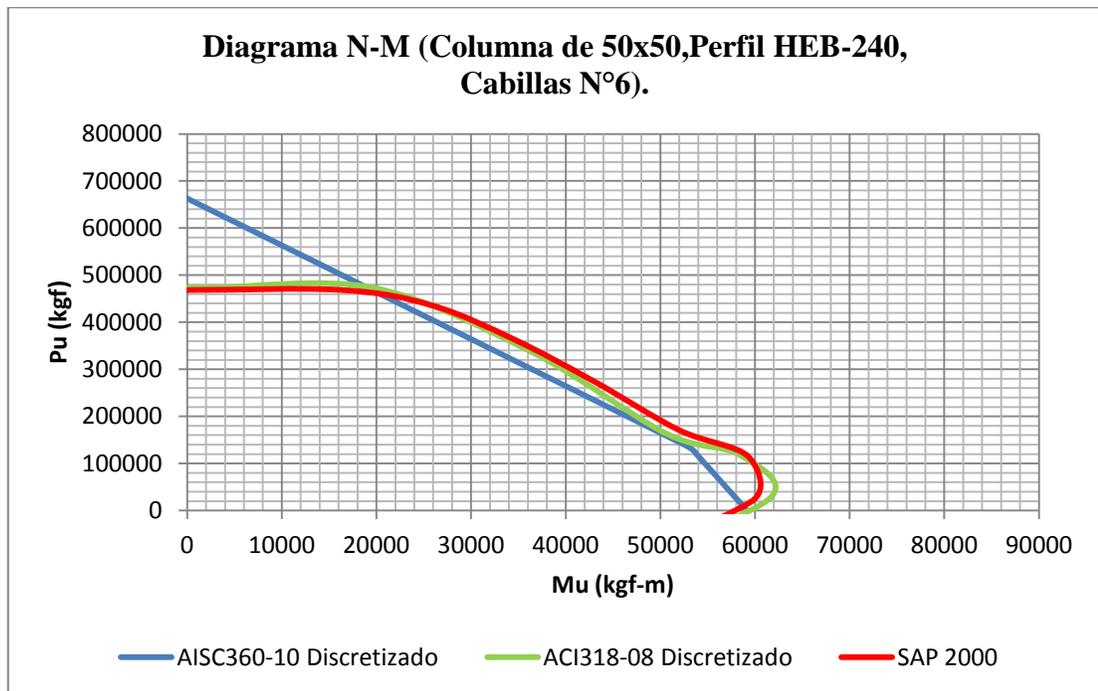


Fig. N°44 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-240 y cabillas N°6.

**VII.9. RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°18:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-180 y cabilla N°6, por SAP200, ACI318-08 y AISC360-10

AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	47088
0,084	50000	45105
0,168	100000	43123
0,253	150000	39591
0,337	200000	35129
0,421	250000	30668
0,505	300000	26207
0,589	350000	21746
0,674	400000	17285
0,758	450000	12824
0,842	500000	8363
0,926	550000	3901
1,011	600000	-560

SAP2000	
Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
422450	0
422450	14929
397761	23397
335281	30671
261881	37037
172967	42730
106610	48633
29193	49707
-87199	36125
-181292	19264
-271687	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	816996,25	0	0,65	531048	0
P1	790662	4309,2	0,65	513930	2801
P2	665031	27538	0,65	432270	17900
P3	486248	48618	0,65	316061	31602
P4	265258	63800	0,65	172417	41470
P6	154789	65082	0,73	112996	47510
P5	42019	56486	0,90	37817	50837
P7	-77799	43748	0,90	-70019	39373
P8	-134364	36392	0,90	-120928	32753
0,80*Po	653597	0	0,65	424838	0

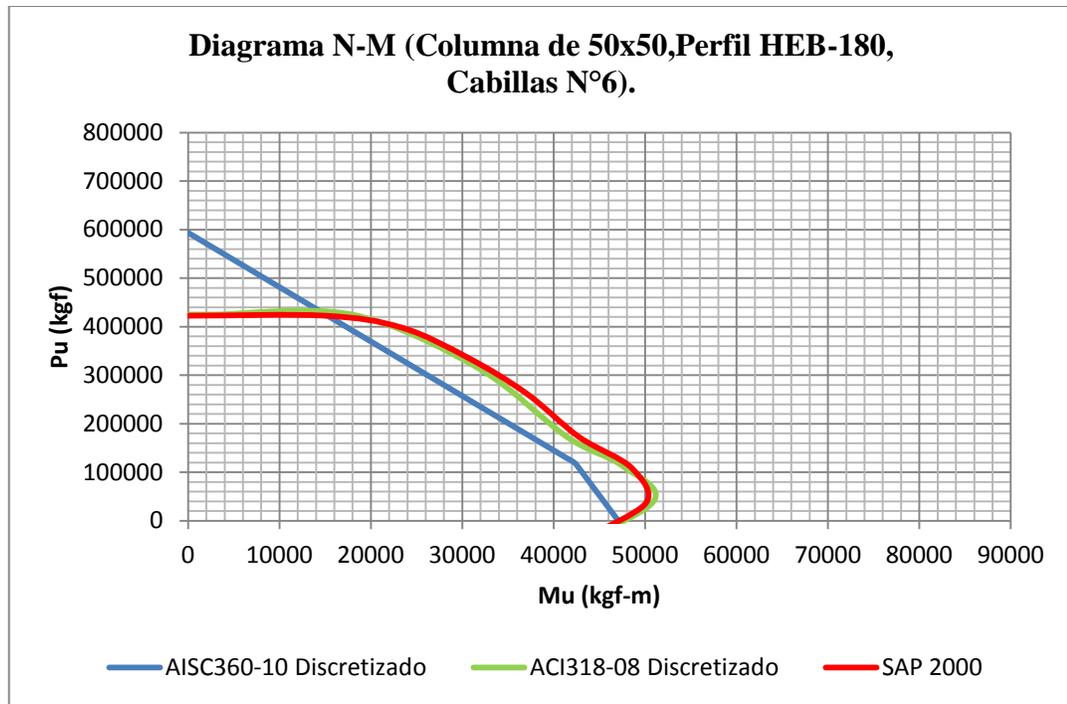


Fig.N°45 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado y SAP 2000 para una columna mixta de 50x50cm, perfil HEB-180 y cabillas N°6.

**VII.10.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.<sup>11</sup>**

**Tablas N°19:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-240 y cabilla N°5 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	48104	0,000	0	46937
0,079	50000	46194	0,083	50000	44986
0,159	100000	44284	0,166	100000	43036
0,238	150000	41225	0,249	150000	39638
0,318	200000	36927	0,332	200000	35249
0,397	250000	32630	0,416	250000	30860
0,476	300000	28333	0,499	300000	26472
0,556	350000	24035	0,582	350000	22083
0,635	400000	19738	0,665	400000	17694
0,715	450000	15441	0,748	450000	13306
0,794	500000	11143	0,831	500000	8917
0,873	550000	6846	0,914	550000	4528
0,953	600000	2549	0,997	600000	140
1,032	650000	-1749	1,080	650000	-4249

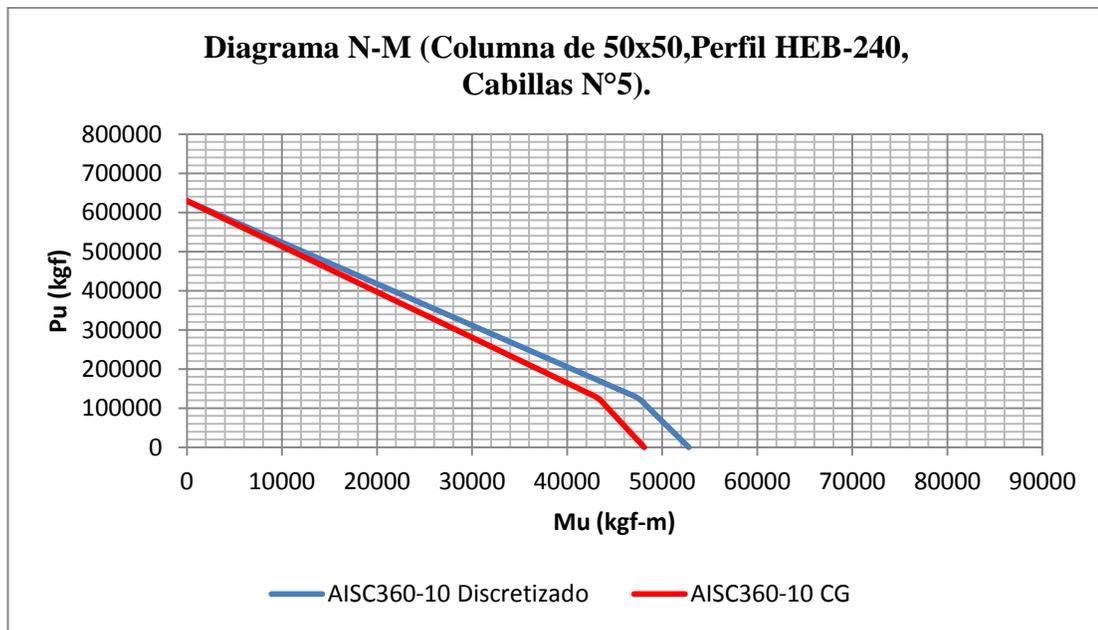


Fig. N°46 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°5

<sup>11</sup> Ver Anexos

**VII.11.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°20:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm perfil HEB-240 y cabilla N°5 ACI310-08 Discretizado y por Centro de Gravedad

ACI318-08 DISCRETIZADO					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	707707	27288	0,65	460010	17737
P3	504454	51488	0,65	327895	33467
P4	250136	71108	0,65	162588	46220
P6	163207	72558	0,73	119141	52967
P5	31482	61156	0,90	28333	55041
P7	-111640	44587	0,90	-100476	40128
P8	-226428	30537	0,90	-203785	27483
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0
ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	748864	23711	0,65	486761	15412
P3	539460	48262	0,65	350649	31370
P4	284295	69370	0,65	184791	45091
P6	174829	72054	0,73	127625	52599
P5	48285	62837	0,90	43456	56553
P7	-90551	48601	0,90	-81496	43741
P8	-167517	39919	0,90	-150766	35927
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0

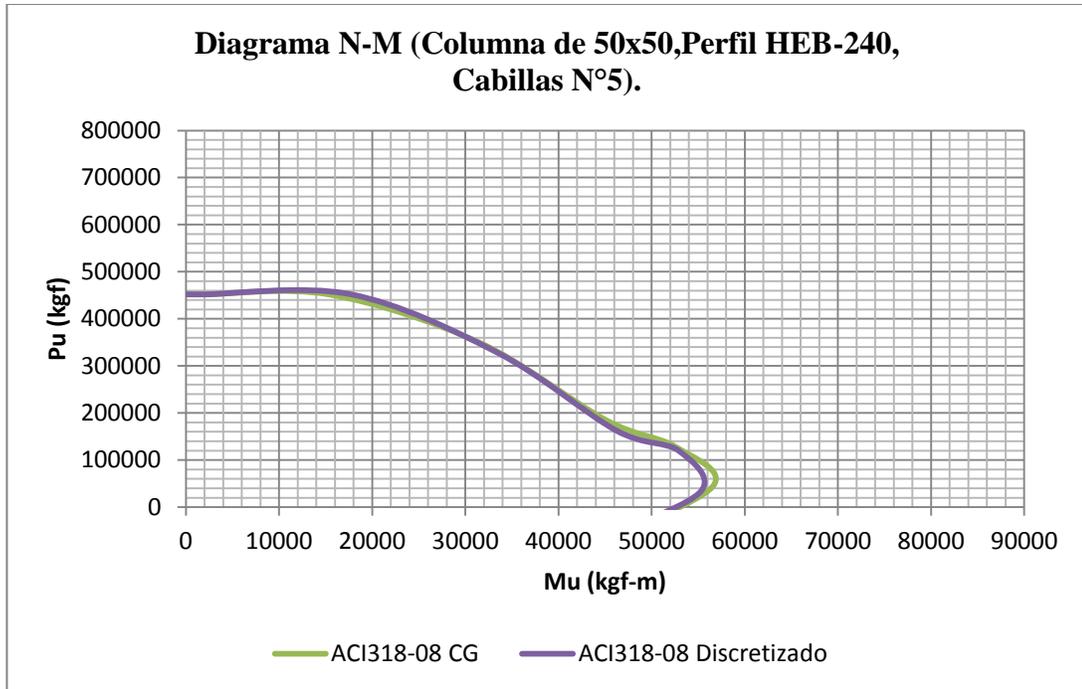


Fig. N°47 Comparación de los Diagramas N-M entre AISC318-08 discretizado y AISC318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°5.

## VII.12. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE $M_u$ FIJANDO $P_u$ IGUAL A 30000 kgf.

**Tabla N°21:** Descripción de Normas, Cabillas, Cargas y momentos.

Perfil HEB-240	Cabillas	N°4	N°5	N°6
	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Mu (kgf-m)	Mu (kgf-m)
AISC360-10 Discretizado	30000	26000	31000	36000
ACI318-08 Discretizado	30000	33000	36000	40000
SAP2000	30000	33000	36000	40000

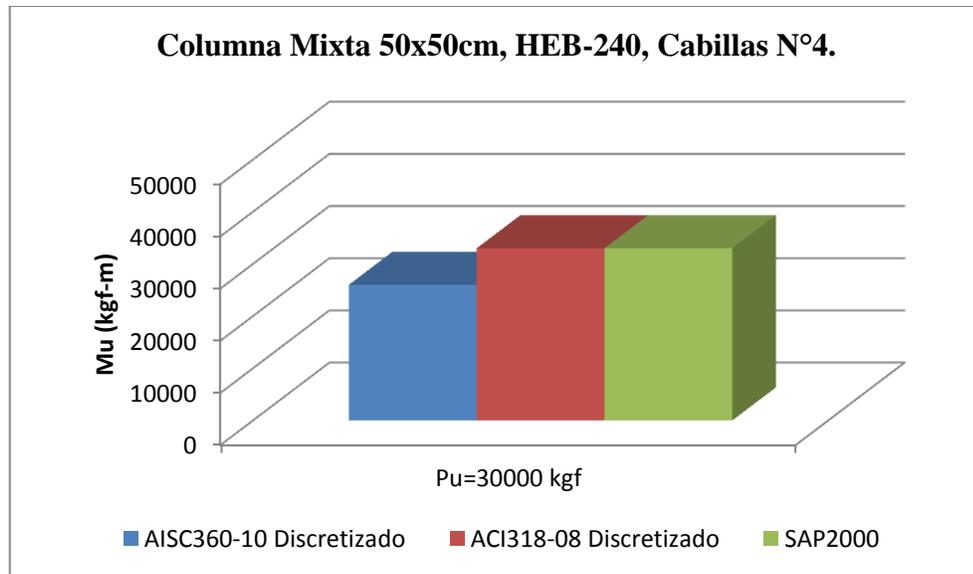


Fig. N°48 Comparación entre AISC360-10 Discretizado, ACI318-08 Discretizado y SAP2000 del resultado de Mu fijando Pu igual a 30000 kgf.

- Como se puede observar en la Fig. N°42 tanto el método ACI318-08 y SAP2000 arrojan los mismo valores, existiendo una diferencia del 25 por ciento con AISC360-10.

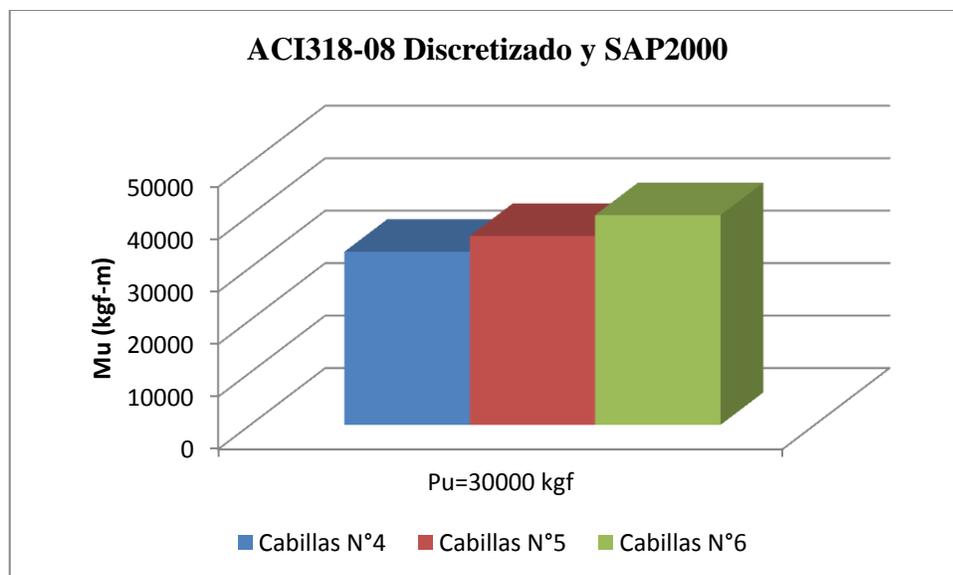


Fig. N°49 Comparación entre Cabillas N°4, N°5 y N°6. resultado de Mu fijando Pu igual a 30000 kgf por el método ACI318-08 Discretizado y SAP2000.

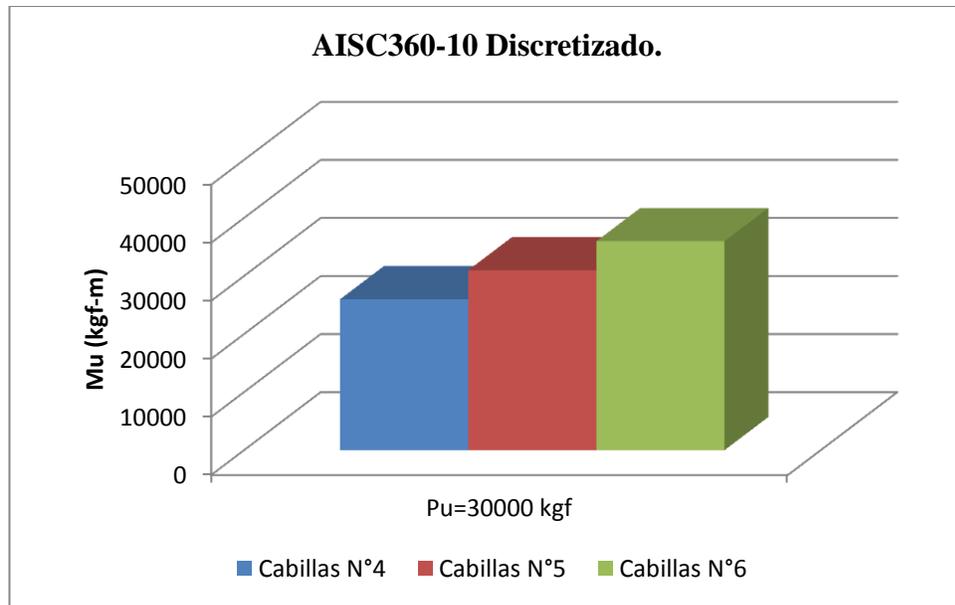


Fig. N°50 Comparación entre Cabillas N°4, N°5 y N°6, resultado de Mu fijando Pu igual a 30000 kgf por el método AISC360-10 Discretizado.

**Tabla N°22:** Descripción de Normas, Cabillas, Cargas y momentos.

Cabillas N°5	Perfil	HEB-180	HEB-240	HEB-300
	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Mu (kgf-m)	Mu (kgf-m)
AISC360-10 Discretizado	30000	21000	31000	46000
ACI318-08 Discretizado	30000	30000	36000	46000
SAP2000	30000	30000	36000	46000

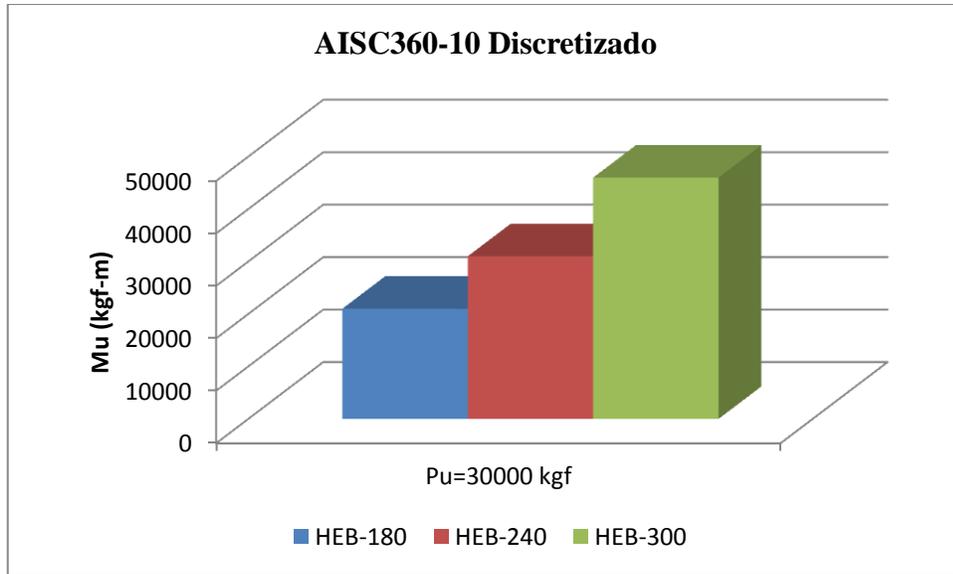


Fig N°51 Comparación entre HEB-180, HEB-240 y HEB-300, Resultado de Mu fijando Pu igual a 30000 kgf por el método AISC360-10 Discretizado.

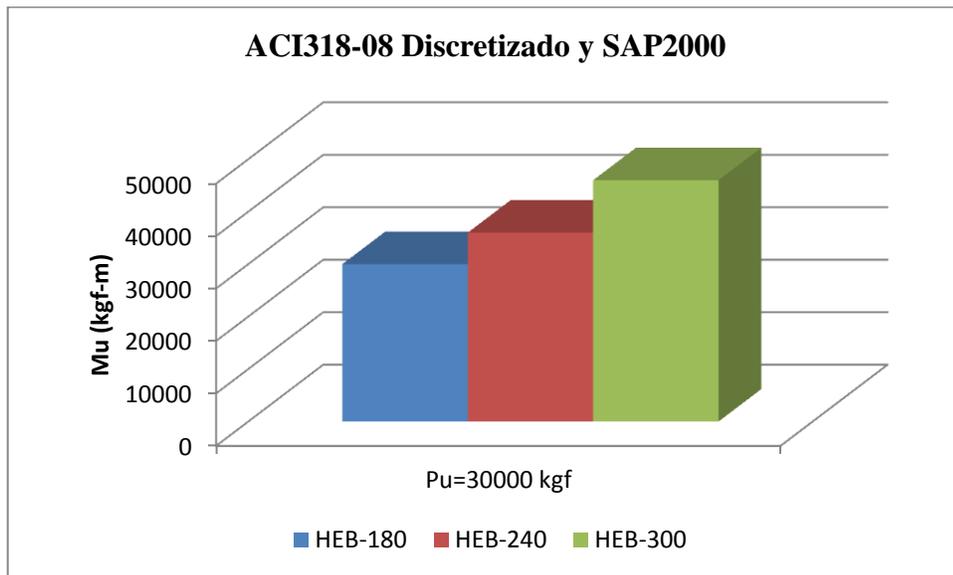


Fig N°52 Comparación entre HEB-180, HEB-240 y HEB-300, Resultado de Mu fijando Pu igual a 30000 kgf por el método ACI318-08 Discretizado y SAP2000.

- A medida que se aumenta el porcentaje de acero se obtienen mayor capacidad a flexión.

**VII.13. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE LOS MÉTODOS RECOMENDADOS POR LAS NORMAS PARA COLUMNAS MIXTAS Y LA SUMA ALGEBRAICA DE UNA COLUMNA DE CONCRETO ARMADO CON UN PERFIL DE ACERO ESTRUCTURA.**

En este apartado se refleja la diferencia que existe entre los métodos recomendados para el diseño de columnas mixtas y la suma del diseño por separado de una columna de concreto armado más el perfil de acero estructural.

**Tablas N°22:** Resultados obtenidos por AISC360-10, ACI318-08 y la suma algebraica de cada sección.

AISC360-10 DISCRETIZADO			SUMA ALGEBRAICA	
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)		
0,000	0	46937	526806	0
0,083	50000	44986	514516	14325
0,166	100000	43036	471333	24400
0,249	150000	39638	405355	32822
0,332	200000	35249	336565	39701
0,416	250000	30860	261963	45266
0,499	300000	26472	225272	52017
0,582	350000	22083	184057	57188
0,665	400000	17694	106869	51808
0,748	450000	13306	0	43910
0,831	500000	8917		
0,914	550000	4528		
0,997	600000	140		
1,080	650000	-4249		

ACI318-08 DISCRETIZADO					
	Pn	Mn	φ	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	707707	27288	0,65	460010	17737
P3	504454	51488	0,65	327895	33467
P4	250136	71108	0,65	162588	46220
P6	163207	72558	0,73	119141	52967
P5	31482	61156	0,90	28333	55041
P7	-111640	44587	0,90	-100476	40128
P8	-226428	30537	0,90	-203785	27483
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0

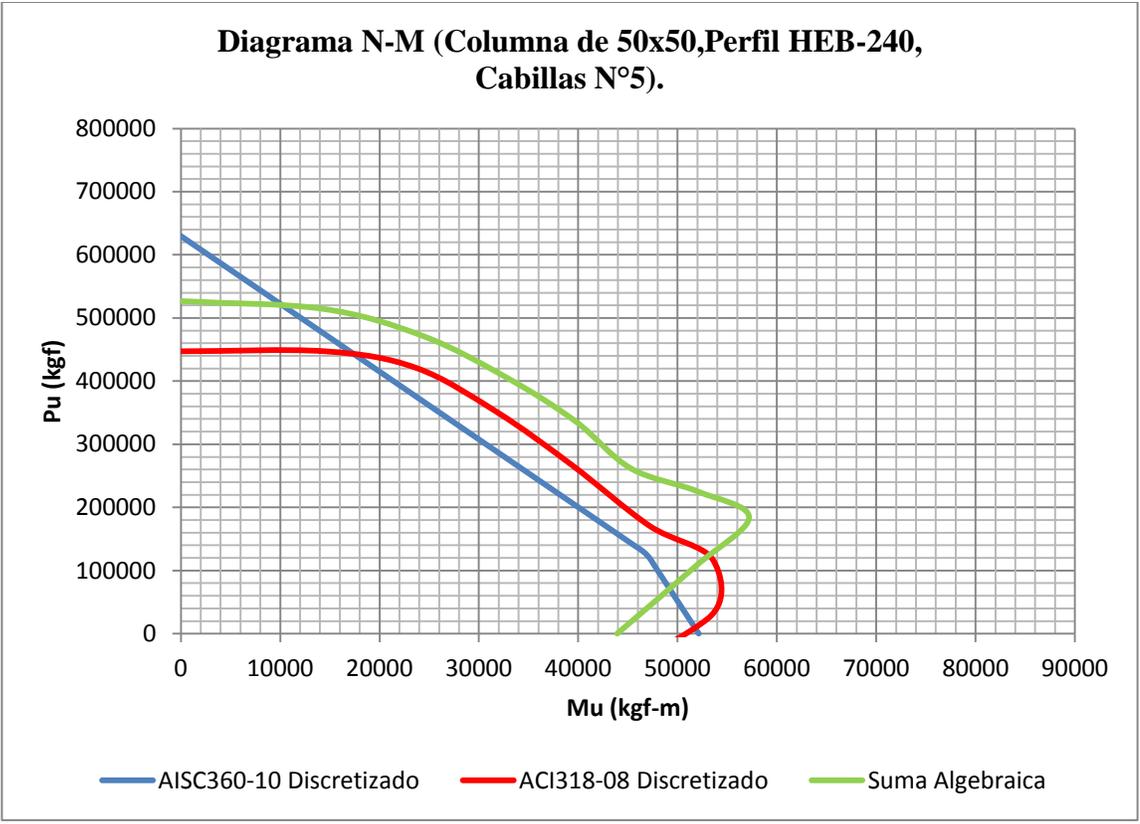


Fig. N°53. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado, ACI318-08 discretizado para una columna mixta (50x50cm, perfil HEB-180 y cabillas N°5) y la suma algebraica de una columna de concreto armado de (50x50cm, cabillas N°5) mas el aporte de un perfil de acero estructural (HEB-240).

**VII.14. EJEMPLO DE DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6. POR SAP2000, NORMAS ACI318-08 Y AISC360-10.**

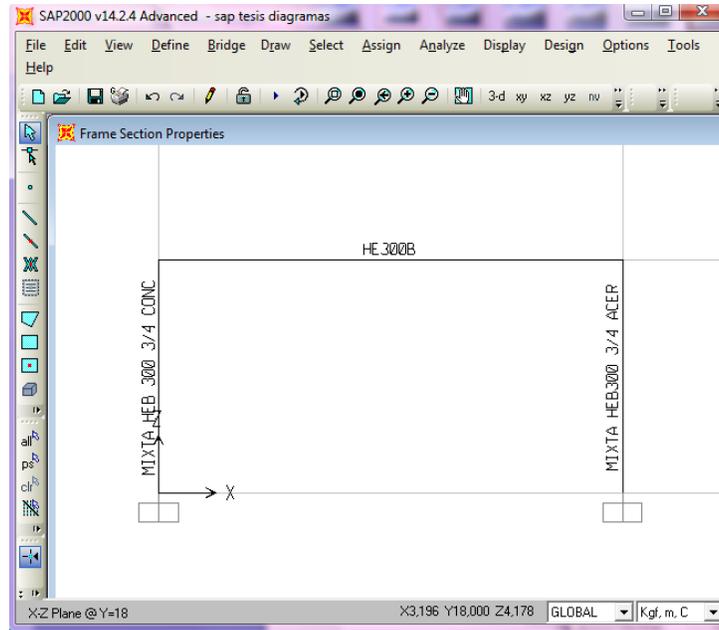


Fig.N°54: SAP2000 (Frame section Properties).

Al extremo derecho se encuentra la columna con material base acero la cual se va a diseñar por AISC y al extremo izquierdo con material base concreto la cual se va a diseñar por ACI.

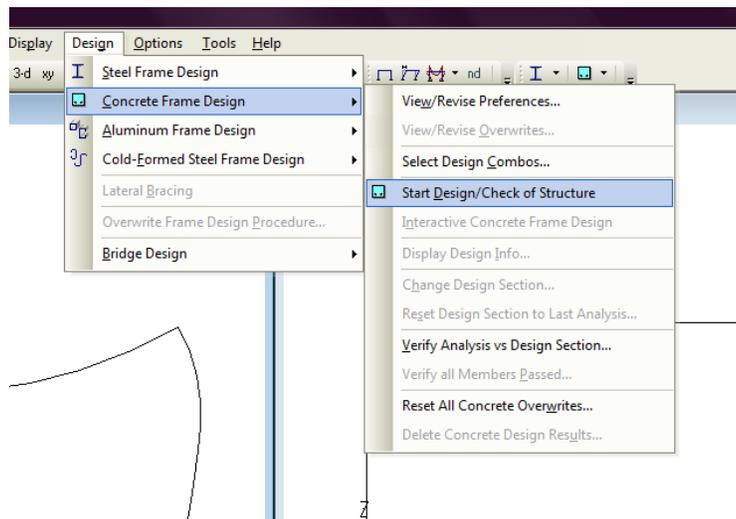


Fig.N°55: SAP2000 (Concrete Frame Design-Start Design).

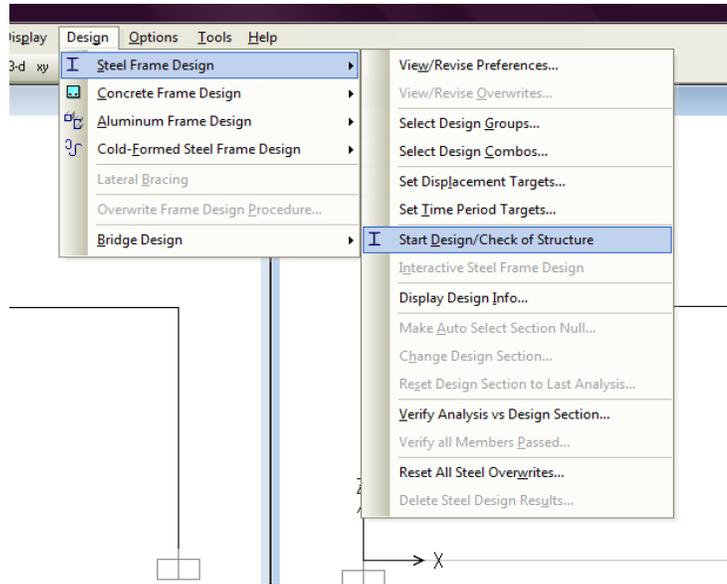


Fig.N°56: SAP2000 (Steel Frame Design-Start Design).

Una vez diseñada las dos columnas por cada método a revisar la interacción de N-M

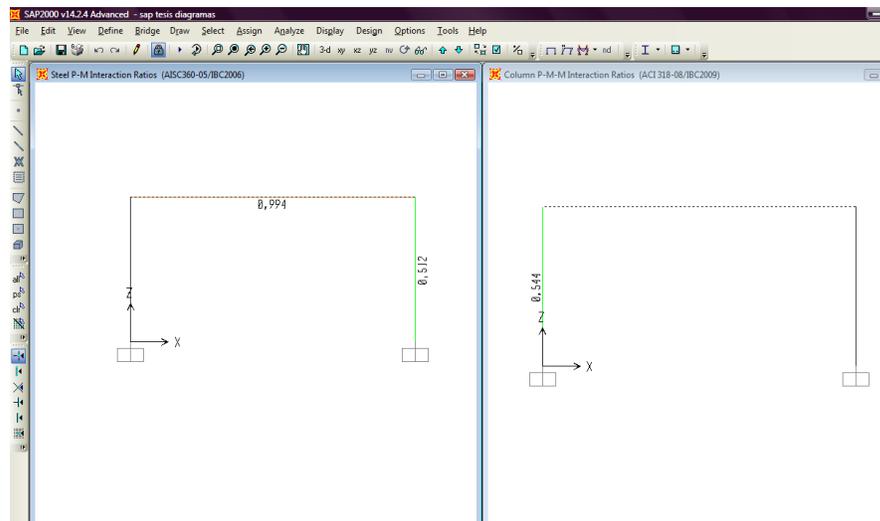


Fig.N°57: SAP2000 (P-M Interactions Ratios).

Como se puede observar la columna diseñada por acero dio un resultado de 0,512 y la diseñada por concreto 0,544 lo cual genera un porcentaje de diferencia de un 6 porciento el cual se puede comparar con los resultados de la figura N°57, existiendo una deferencia en dicha figura entre los dos métodos de un 5,6 porciento.

# CONCLUSIONES

Las Normas ACI318-08 y AISC360-10, en sus recomendaciones en el diseño de columnas mixtas, no definen en que caso es más conveniente utilizar una Norma u otra, ambas plantean su método de diseño como válido para cualquier caso, bien sea que el porcentaje de acero sea mayor que el de concreto o el caso contrario que el porcentaje de concreto sea mayor que el de acero, lo cual implica que las Normas dejan esta decisión a criterio o conveniencia del Ingeniero.

Sin embargo los resultados de este trabajo de investigación reflejan que para una misma carga axial se tiene mayor capacidad a flexión en la columna mixta, cuando se diseña por las recomendaciones de la Norma ACI318-08, esto se debe a que existe una diferencia del 15 por ciento aproximadamente entre en la “zona lineal” del Diagrama N - M según cada Norma y en la zona del punto balanceado existe un porcentaje mayor alrededor del 20 por ciento de diferencia.

En el caso de la Compresión Pura, el método de diseño por AISC, arroja valores mayores con respecto que la ACI, esto es debido a que la Norma ACI318-08 establece que la fuerza axial máxima que puede actuar sobre la columna mixta será igual a un 80 por ciento de la compresión pura, con el fin de tomar en cuenta una excentricidad mínima en el diseño.

Los Diagramas N-M reflejaron que por el método AISC y ACI, discretizando la sección del perfil a compresión y a tracción, y del mismo modo tomando el centro de gravedad de toda la sección del perfil a tracción o compresión, que el método discretizado es más exacto, dado a que toma cada punto con su deformación y tensión real, en cambio cuando se considera el centro de gravedad de cada zona, los resultados son imprecisos, llegándose a una diferencia está un 10 por ciento de la capacidad a flexión.

Los programas CSI (SAP2000, ETABS), dan la opción de definir el material base bien sea acero o concreto, con el cual desea diseñar, es decir, que tomando en cuenta esta consideración el usuario puede definir el método de diseño según sea el caso ACI o AISC.

Los resultados obtenidos tanto por el método manual según Las Normas de diseño, como por los Programas Especializados fueron muy similares, por lo cual se corrobora que (SAP2000, ETABS), son confiables en el diseño de columnas mixtas.

En el diseño según las recomendaciones de la Norma ACI318-08, es primordial el uso del Diagrama N-M, por lo que se verificó que los Programas especializados

concordaran con los resultados obtenidos por el método manual, dando en efecto que el Diagrama N-M diseñado por la Norma ACI318-08, es muy similar al obtenido por SAP2000 o ETABS.

Al comparar los Diagramas N-M, que se obtienen por las recomendaciones de las Normas, con un método que consiste en la sumatoria de cada sección por separado, se observa que en la zona de falla a compresión existe una diferencia del 15 por ciento por encima del Diagrama por ACI y en zona de falla a tracción una diferencia del 20 por ciento por debajo de dicho Diagrama, lo cual refleja un cierto grado de error, siendo más exacto el uso de programas especializados o bien el cálculo manual según las recomendaciones de las Normas, como se presenta en este TEG.

# **RECOMENDACIONES**

- A criterio del ingeniero se seleccionara que Norma utilizar para columnas mixtas, sin embargo los resultados de este TEG indican la conveniencia de usar, preferentemente, el recomendado por la ACI318-08, por la mayor familiaridad con las normas de concreto reforzado y por razones económicas.
- Se recomienda el uso de programas SAP2000, ETABS, ya que se valido que los resultados que arrojan bien sea con una Norma u otra, son confiables.
- Utilizar columnas mixtas en caso de requerir mayores solicitaciones y rapidez constructiva.
- Dar continuidad al presente trabajo, explorando el comportamiento en el tiempo de las secciones mixtas, porque solo se considero el estado limite de agotamiento resistente de cada material. Así como otro tipo de geometría (rectangulares, en L. etc).
- Dar continuidad a la línea de trabajo de la construcción mixta concreto-acero, explorando lo muros y las conexiones mixtas acero-concreto. Así como a los tubulares rellenos de concreto.

# **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Norma ACI318-08. *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. 2008.
2. Norma AISC360-10. *Specification for Structural Steel Buildings*. 2010.
3. AISC Design Guide 6. *Load and Resistance Factor Design of W-Shapes Encased in Concrete*. 2003
4. Nilson. (2001). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Duodécima Edición. Editorial Mc Graw Hill.
5. Barreiro, María. (2010). *Apuntes de Concreto*. Universidad Católica Andrés Bello.
6. Núñez, Luis. (2010). *Apuntes de Estructuras de Acero*. Universidad Católica Andrés Bello.
7. Castillo, José. (2011). *Proyectos de Acero*. Universidad Católica Andrés Bello.
8. Sebastián Navarrete, R. Herrera, J. Beltrán, L. Massone. (2006). *Recomendaciones de Diseño de Columnas Mixtas*. Universidad de Chile.
9. Maylen Manzo, Nila Sicilia. (1992). *Diseño de Columnas Mixtas Concreto – Acero según Normas AISC – LRFD 1986*. Universidad Católica Andrés Bello.
10. Roberto León. (2008). “*Desarrollos recientes en construcción mixta en los Estados Unidos de Norteamérica*”. Acero Latinoamericano N°507, Santiago de Chile.

# **ANEXOS**

# ÍNDICE DE ANEXOS

## CONTENIDOS

A.1 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.....	116
A.2 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.....	117
A.3 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.....	118
A.4 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.....	119
A.5 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	120
A.6 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.....	121
A.7 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.....	122
A.8 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.....	123
A.9 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.....	124
A.10 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.....	125

A.11 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.....	126
A.12 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.....	128
A.13 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.....	129
A.14 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	131
A.15 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.....	132
A.16 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.....	134
A.17 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.....	135
A.18 COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.....	137
A.19 SAP2000 CONCRETE DESIGN.....	139
A.20 SAP2000 STEEL DESIGN.....	140

## FIGURAS

FIG. N°A.1. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.....	116
FIG. N°A.2. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.....	117
FIG. N°A.3. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.....	118
FIG. N°A.4. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.....	119
FIG. N°A.5. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	120
FIG. N°A.6. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.....	121
FIG. N°A.7. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.....	122
FIG. N°A.8. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.....	123
FIG. N°A.9. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.....	124
FIG. N°A.10. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.....	126

FIG. N°A.11. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.....	127
FIG. N°A.12. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.....	129
FIG. N°A.13. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.....	130
FIG. N°A.14. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.....	132
FIG. N°A.15. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.....	133
FIG. N°A.16. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.....	135
FIG. N°A.17. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.....	136
FIG. N°A.18. COMPARACIÓN DE LOS DIAGRAMAS N-M ENTRE ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CG PARA UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.....	138

## **TABLAS**

TABLAS N°A.1: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°4 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	116
TABLAS N°A.2: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°5 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	117

TABLAS N°A.3: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-180 Y CABILLA N°6 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	118
TABLAS N°A.4: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°4 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	119
TABLAS N°A.5: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°5 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	120
TABLAS N°A.6: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-240 Y CABILLA N°6 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	121
TABLAS N°A.7: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°4 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	122
TABLAS N°A.8: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°5 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	123
TABLAS N°A.9: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM PERFIL HEB-300 Y CABILLA N°6 AISC360-10 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	124
TABLAS N°A.10: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	125
TABLAS N°A.11: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	126
TABLAS N°A.12: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	128
TABLAS N°A.13: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	129

TABLAS N°A.14: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	131
TABLAS N°A.15: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	132
TABLAS N°A.16: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	134
TABLAS N°A.17: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	135
TABLAS N°A.18: RESULTADOS DEL DISEÑO DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 CM, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6 ACI318-08 DISCRETIZADO Y POR CENTRO DE GRAVEDAD.....	137

**A.1.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.1:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°4 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	40362	0,000	0	34258
0,094	50000	38460	0,094	50000	32644
0,188	100000	36558	0,188	100000	31029
0,283	150000	32570	0,283	150000	27644
0,377	200000	28291	0,377	200000	24012
0,471	250000	24011	0,471	250000	20380
0,565	300000	19732	0,565	300000	16748
0,660	350000	15453	0,660	350000	13116
0,754	400000	11174	0,754	400000	9484
0,848	450000	6895	0,848	450000	5852
0,942	500000	2616	0,942	500000	2220
1,037	550000	-1663	1,037	550000	-1412

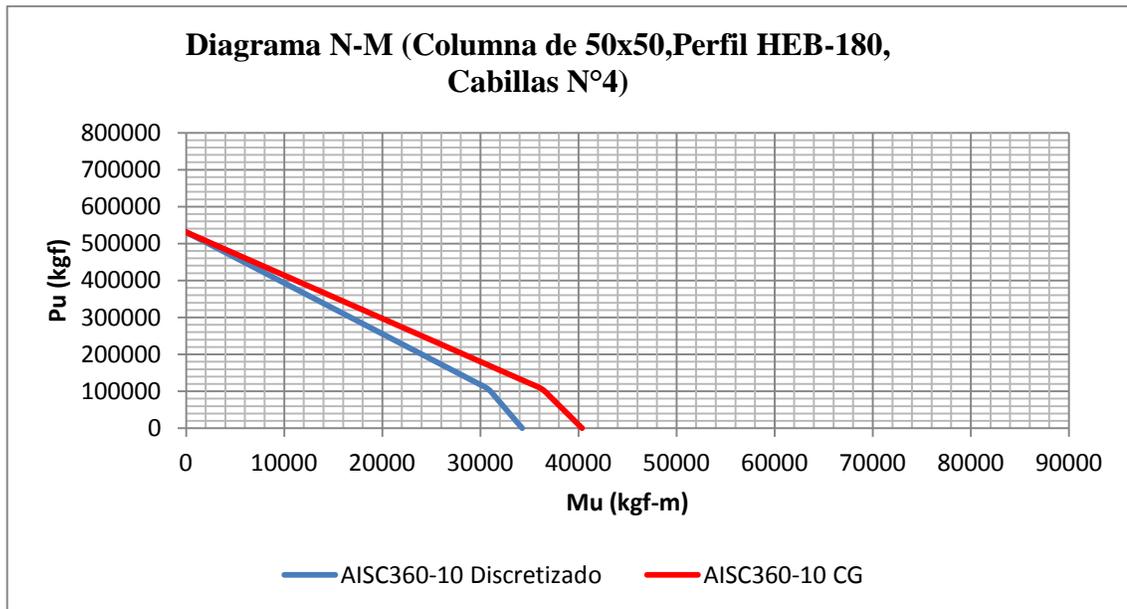


Fig. N°A.1. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°4.

**A.2.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.2:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°5 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	45814	0,000	0	40012
0,089	50000	43768	0,089	50000	38225
0,179	100000	41722	0,179	100000	36438
0,268	150000	37730	0,268	150000	32952
0,357	200000	33126	0,357	200000	28931
0,447	250000	28523	0,447	250000	24911
0,536	300000	23919	0,536	300000	20890
0,625	350000	19315	0,625	350000	16869
0,715	400000	14712	0,715	400000	12849
0,804	450000	10108	0,804	450000	8828
0,893	500000	5504	0,893	500000	4807
0,983	550000	901	0,983	550000	787
1,072	600000	-3703	1,072	600000	-3234

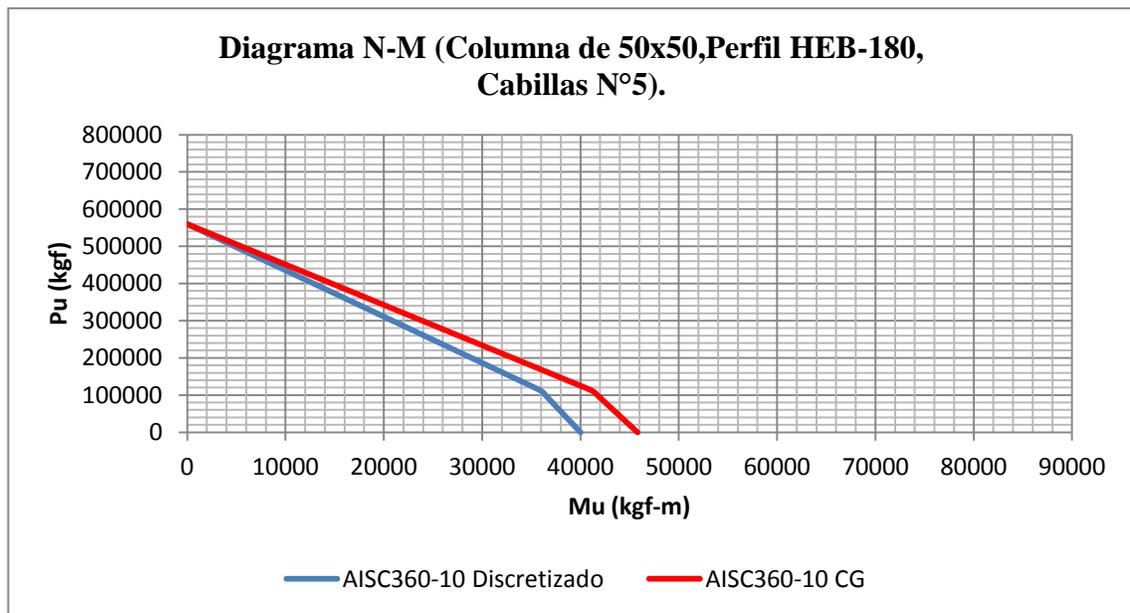


Fig. N°A.2. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°5.

**A.3.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.3:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°6 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	52506,7	0,000	0	47088
0,084	50000	50295,8	0,084	50000	45105
0,168	100000	48084,9	0,168	100000	43123
0,253	150000	44146,5	0,253	150000	39591
0,337	200000	39172,0	0,337	200000	35129
0,421	250000	34197,5	0,421	250000	30668
0,505	300000	29223,0	0,505	300000	26207
0,589	350000	24248,4	0,589	350000	21746
0,674	400000	19273,9	0,674	400000	17285
0,758	450000	14299,4	0,758	450000	12824
0,842	500000	9324,9	0,842	500000	8363
0,926	550000	4350,4	0,926	550000	3901
1,011	600000	-624,1	1,011	600000	-560

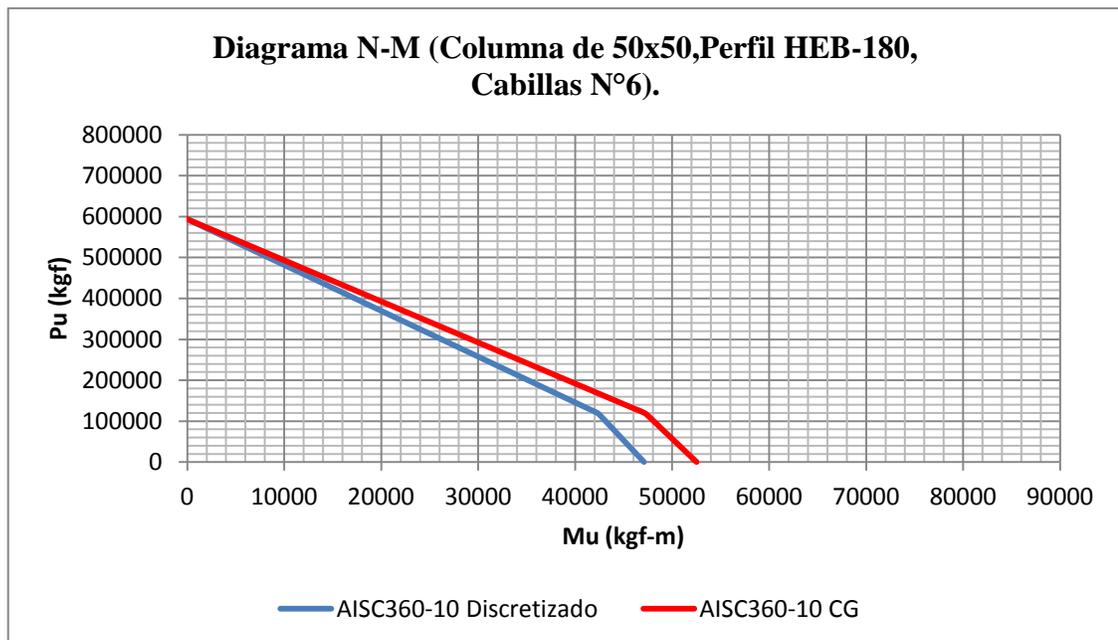


Fig. N°A.3. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°6.

**A.4.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.4:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°4 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	42729	0,000	0	46937
0,083	50000	40953	0,083	50000	44986
0,166	100000	39177	0,166	100000	43036
0,249	150000	36084	0,249	150000	39638
0,332	200000	32089	0,332	200000	35249
0,416	250000	28094	0,416	250000	30860
0,499	300000	24098	0,499	300000	26472
0,582	350000	20103	0,582	350000	22083
0,665	400000	16108	0,665	400000	17694
0,748	450000	12113	0,748	450000	13306
0,831	500000	8118	0,831	500000	8917
0,914	550000	4122	0,914	550000	4528
0,997	600000	127	0,997	600000	140
1,080	650000	-3868	1,080	650000	-4249

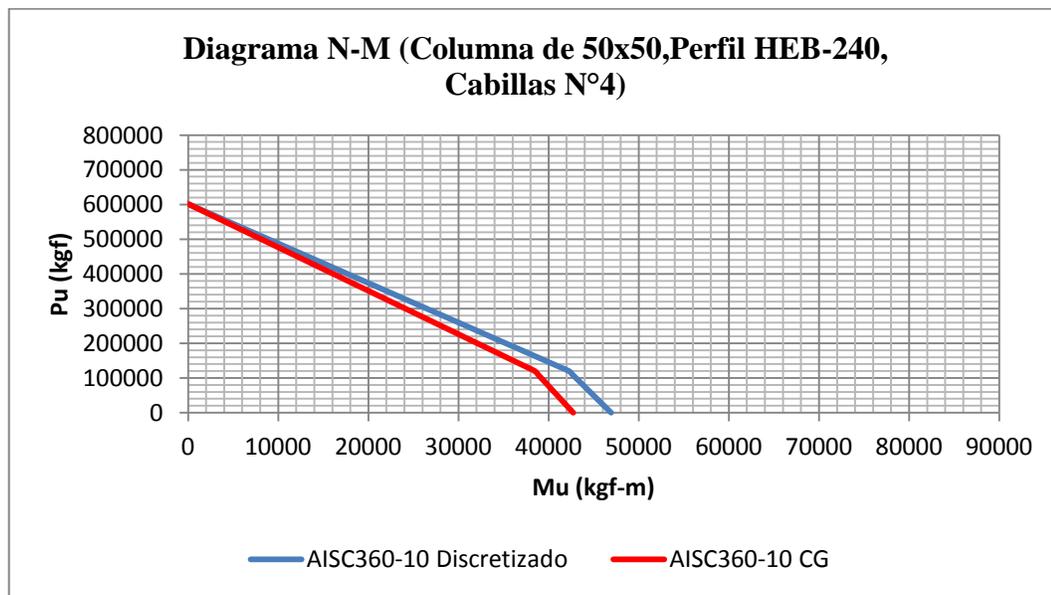


Fig. N°A.4. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°4.

**A.5.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.5:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°5 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	48104	0,000	0	52794
0,079	50000	46194	0,079	50000	50698
0,159	100000	44284	0,159	100000	48602
0,238	150000	41225	0,238	150000	45244
0,318	200000	36927	0,318	200000	40528
0,397	250000	32630	0,397	250000	35812
0,476	300000	28333	0,476	300000	31095
0,556	350000	24035	0,556	350000	26379
0,635	400000	19738	0,635	400000	21663
0,715	450000	15441	0,715	450000	16946
0,794	500000	11143	0,794	500000	12230
0,873	550000	6846	0,873	550000	7514
0,953	600000	2549	0,953	600000	2797
1,032	650000	-1749	1,032	650000	-1919

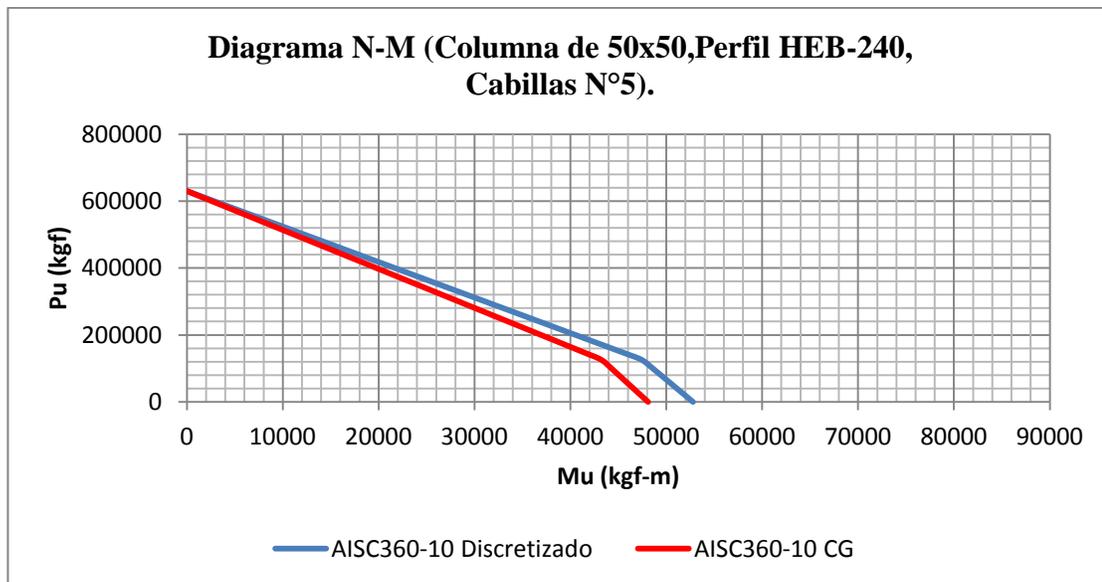


Fig. N°A.5. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°5.

**A.6.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.6:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°6 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	54689	0,000	0	59977
0,075	50000	52627	0,075	50000	57715
0,151	100000	50564	0,151	100000	55454
0,226	150000	47604	0,226	150000	52207
0,302	200000	42964	0,302	200000	47119
0,377	250000	38324	0,377	250000	42030
0,453	300000	33684	0,453	300000	36941
0,528	350000	29043	0,528	350000	31852
0,603	400000	24403	0,603	400000	26763
0,679	450000	19763	0,679	450000	21674
0,754	500000	15123	0,754	500000	16585
0,830	550000	10483	0,830	550000	11496
0,905	600000	5842	0,905	600000	6407
0,980	650000	1202	0,980	650000	1318
1,056	700000	-3438	1,056	700000	-3771

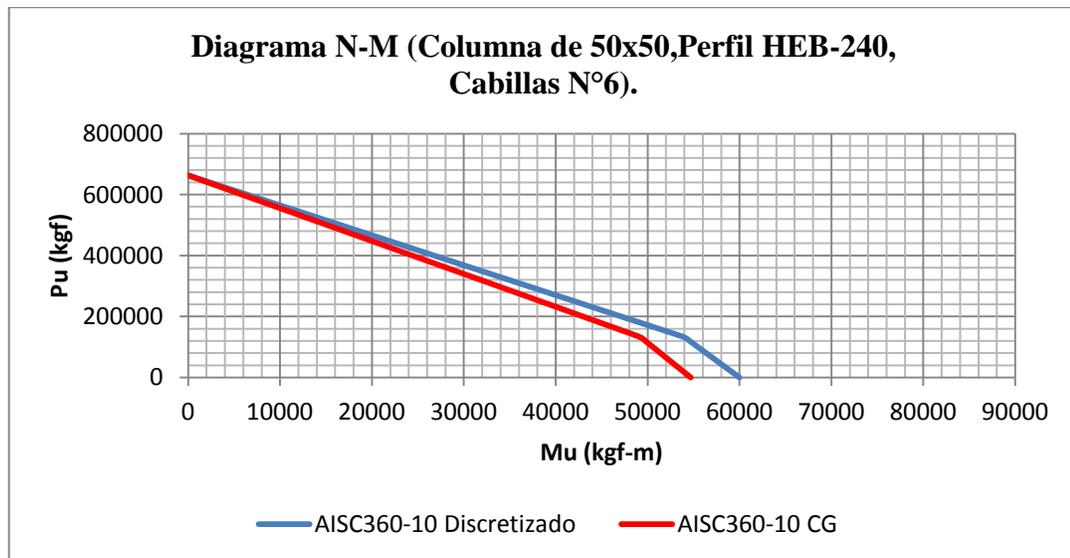


Fig. N°A.6. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°6.

**A.7.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.7:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°4 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	46905	0,000	0	62894
0,074	50000	45176	0,074	50000	60576
0,147	100000	43447	0,147	100000	58258
0,221	150000	41098	0,221	150000	55108
0,295	200000	37208	0,295	200000	49891
0,369	250000	33318	0,369	250000	44675
0,442	300000	29427	0,442	300000	39459
0,516	350000	25537	0,516	350000	34243
0,590	400000	21647	0,590	400000	29027
0,663	450000	17757	0,663	450000	23811
0,737	500000	13867	0,737	500000	18594
0,811	550000	9977	0,811	550000	13378
0,885	600000	6087	0,885	600000	8162
0,958	650000	2197	0,958	650000	2946
1,032	700000	-1693	1,032	700000	-2270

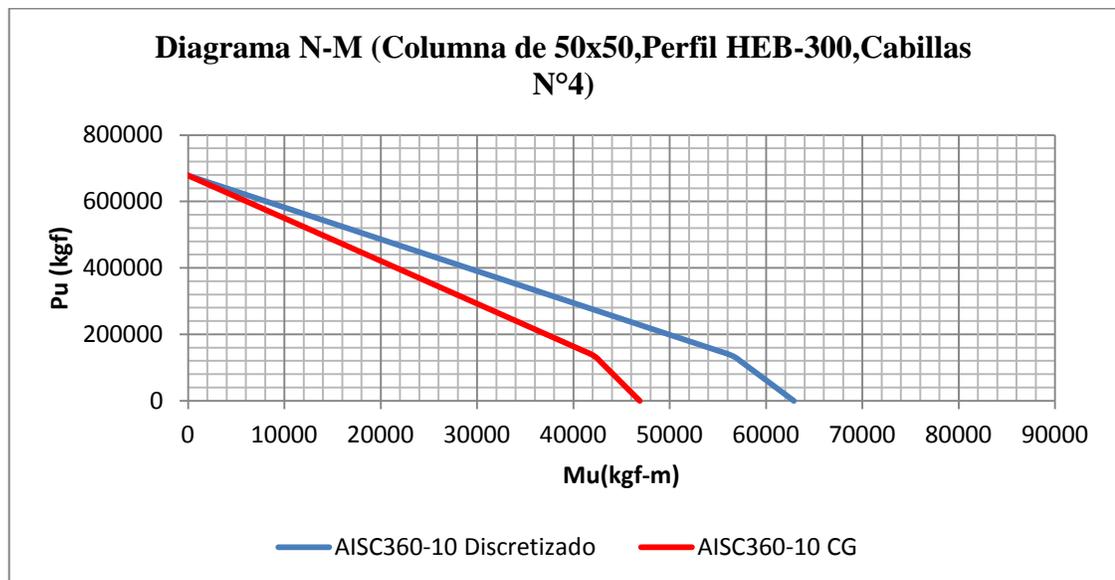


Fig. N°A.7. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°4.

**A.8.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.8:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°5 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	51883	0,000	0	68800
0,071	50000	50043	0,071	50000	66361
0,142	100000	48204	0,142	100000	63922
0,213	150000	45952	0,213	150000	60935
0,284	200000	41813	0,284	200000	55447
0,355	250000	37674	0,355	250000	49958
0,425	300000	33535	0,425	300000	44470
0,496	350000	29396	0,496	350000	38981
0,567	400000	25257	0,567	400000	33493
0,638	450000	21118	0,638	450000	28005
0,709	500000	16980	0,709	500000	22516
0,780	550000	12841	0,780	550000	17028
0,851	600000	8702	0,851	600000	11539
0,922	650000	4563	0,922	650000	6051
0,993	700000	424	0,993	700000	562
1,064	750000	-3715	1,064	750000	-4926

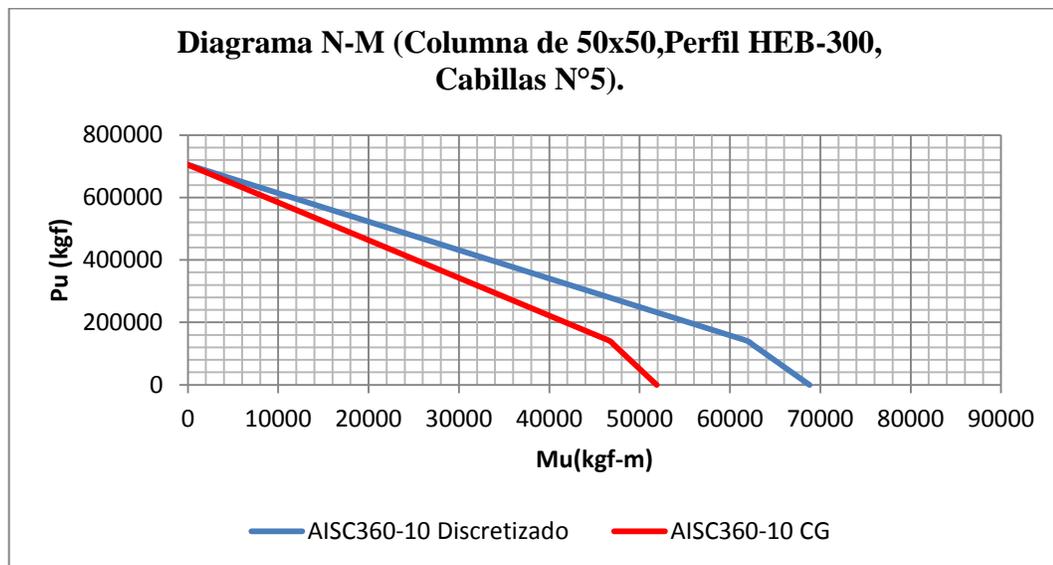


Fig. N°A.8. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°5.

**A.9.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO AISC360-10 DISCRETIZADO Y AISC360-10 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.9:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°6 AISC360-10 Discretizado y por Centro de Gravedad.

AISC360-10 CG			AISC360-10 DISCRETIZADO		
Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)	Pu/φPn	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
0,000	0	58006	0,000	0	76057
0,068	50000	56040	0,068	50000	73479
0,136	100000	54074	0,136	100000	70901
0,203	150000	51986	0,203	150000	68163
0,271	200000	47562	0,271	200000	62363
0,339	250000	43138	0,339	250000	56562
0,407	300000	38715	0,407	300000	50762
0,475	350000	34291	0,475	350000	44962
0,542	400000	29867	0,542	400000	39161
0,610	450000	25443	0,610	450000	33361
0,678	500000	21020	0,678	500000	27561
0,746	550000	16596	0,746	550000	21761
0,813	600000	12172	0,813	600000	15960
0,881	650000	7749	0,881	650000	10160
0,949	700000	3325	0,949	700000	4360
1,017	750000	-1099	1,017	750000	-1441

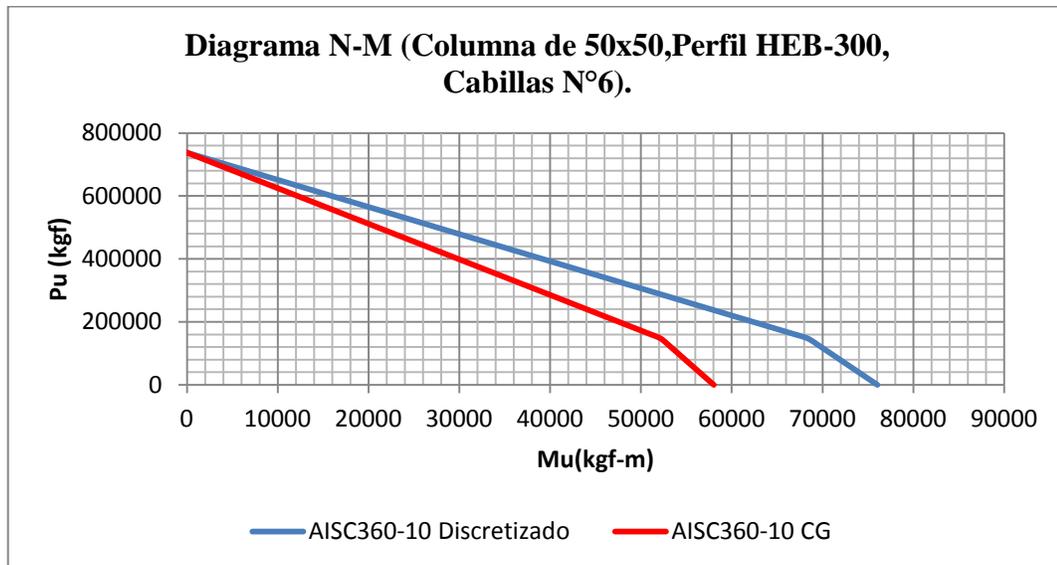


Fig. N°A.9. Comparación de los Diagramas N-M entre AISC360-10 discretizado y AISC360-10 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°6.

**A.10.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.10:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°4 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	741393,25	0	0,65	481906	0
P1	729658	1920,24	0,65	474278	1248
P2	636103	21281	0,65	413467	13833
P3	480472	39066	0,65	312307	25393
P4	289331	50930	0,65	188065	33105
P6	161886	51343	0,73	118177	37481
P5	56463	44409	0,90	50817	39968
P7	-52371	34741	0,90	-47134	31267
P8	-90797	29909	0,90	-81717	26918
0,80*Po	593115	0	0,65	385524	0
ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	741393,25	0	0,65	481906	0
P1	729658	1920,24	0,65	474278	1248
P2	621281	22130	0,65	403832	14385
P3	455722	40929	0,65	296219	26604
P4	262308	51524	0,65	170500	33491
P6	157001	51553	0,73	114611	37634
P5	47180	43399	0,90	42462	39059
P7	-65264	31915	0,90	-58738	28724
P8	-110032	25758	0,90	-99029	23183
0,80*Po	593115	0	0,65	385524	0

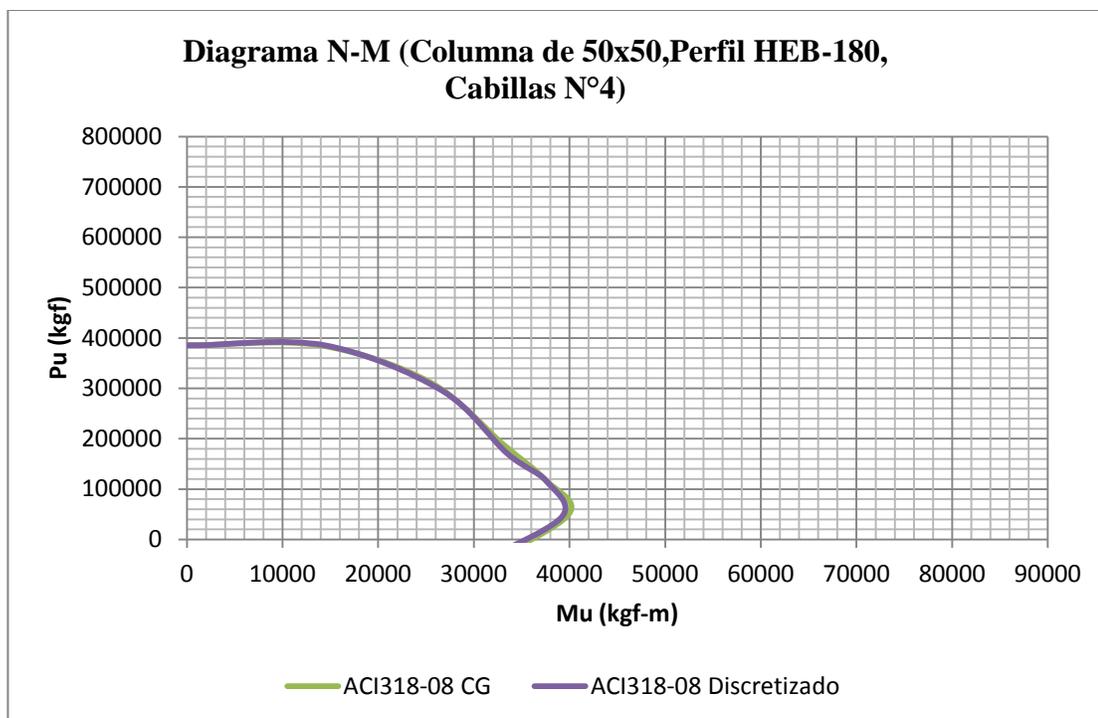


Fig. N°A.10. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°4.

**A.11.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.11:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°5 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	$P_n$	$M_n$	$\phi$	$P_u$ (kgf)	$M_u$ (kgf-m)
Po	775366,75	0	0,65	503988	0
P1	757072	2993,76	0,65	492097	1946
P2	655762	23711	0,65	426246	15412
P3	494189	42521	0,65	321223	27639
P4	276367	55405	0,65	179638	36013
P6	157010	57731	0,73	114617	42144
P5	54144	50290	0,90	48730	45261
P7	-58003	40058	0,90	-52203	36052
P8	-104107	33824	0,90	-93696	30441
0,80*Po	620293	0	0,65	403191	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	775366,75	0	0,65	503988	0
P1	757072	2993,76	0,65	492097	1946
P2	640941	24560	0,65	416611	15964
P3	469439	44384	0,65	305136	28850
P4	263634	57040	0,65	171362	37076
P6	156007	57633	0,73	113885	42072
P5	44861	49280	0,90	40374	44352
P7	-70897	37232	0,90	-63807	33509
P8	-120966	30537	0,90	-108870	27483
0,80*Po	620293	0	0,65	403191	0

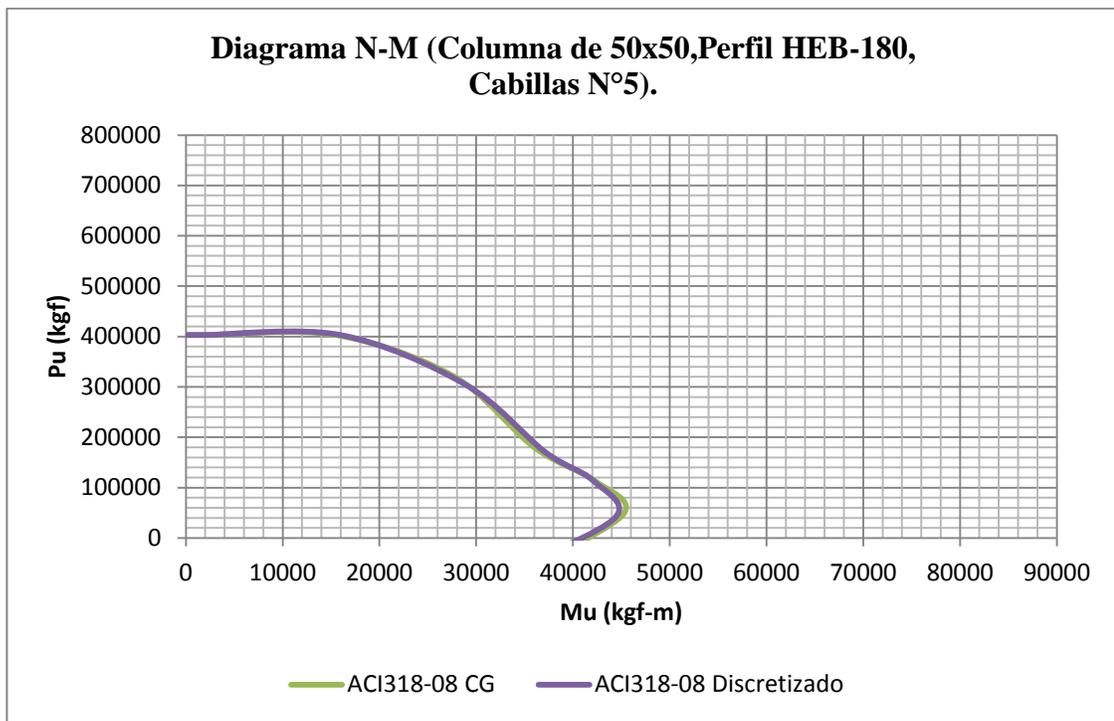


Fig. N°A.11. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°5.

**A.12.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-180 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.12:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-180 y cabillas N°6 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu	Mu
Po	816996,25	0	0,65	531048	0
P1	790662	4309,2	0,65	513930	2801
P2	679853	26689	0,65	441904	17348
P3	510998	46755	0,65	332148	30391
P4	277991	62164	0,65	180694	40407
P6	155792	65181	0,73	113728	47582
P5	51302	57496	0,90	46172	51746
P7	-64905	46574	0,90	-58415	41916
P8	-118549	38994	0,90	-106694	35094
0,80*Po	653597	0	0,65	424838	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	816996,25	0	0,65	531048	0
P1	790662	4309,2	0,65	513930	2801
P2	665031	27538	0,65	432270	17900
P3	486248	48618	0,65	316061	31602
P4	265258	63800	0,65	172417	41470
P6	154789	65082	0,73	112996	47510
P5	42019	56486	0,90	37817	50837
P7	-77799	43748	0,90	-70019	39373
P8	-134364	36392	0,90	-120928	32753
0,80*Po	653597	0	0,65	424838	0

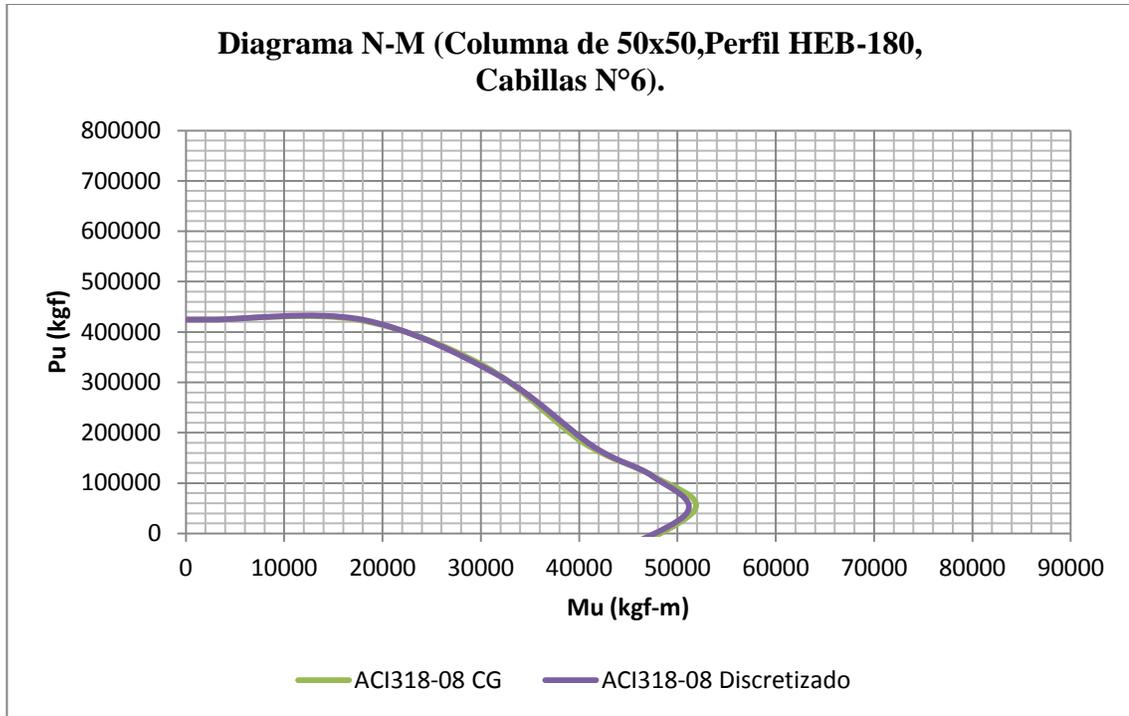


Fig. N°A.12. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-180 y cabillas N°5.

**A.13.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.13:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°4 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	834494,5	0	0,65	542421	0
P1	822760	1920,24	0,65	534794	1248
P2	729204	21281	0,65	473982	13833
P3	525743	44807	0,65	341733	29124
P4	282969	63854	0,65	183930	41505
P6	175823	65974	0,73	128351	48161
P5	50604	56956	0,90	45544	51261
P7	-84919	43283	0,90	-76427	38955
P8	-159234	35066	0,90	-143311	31559
0,80*Po	667596	0	0,65	433937	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	834494,5	0	0,65	542421	0
P1	822760	1920,24	0,65	534794	1248
P2	688047	24857	0,65	447231	16157
P3	490737	48032	0,65	318979	31221
P4	248811	65591	0,65	161727	42634
P6	164201	66479	0,73	119867	48529
P5	33801	55276	0,90	30421	49748
P7	-106008	39270	0,90	-95407	35343
P8	-215494	25758	0,90	-193945	23183
0,80*Po	667596	0	0,65	433937	0

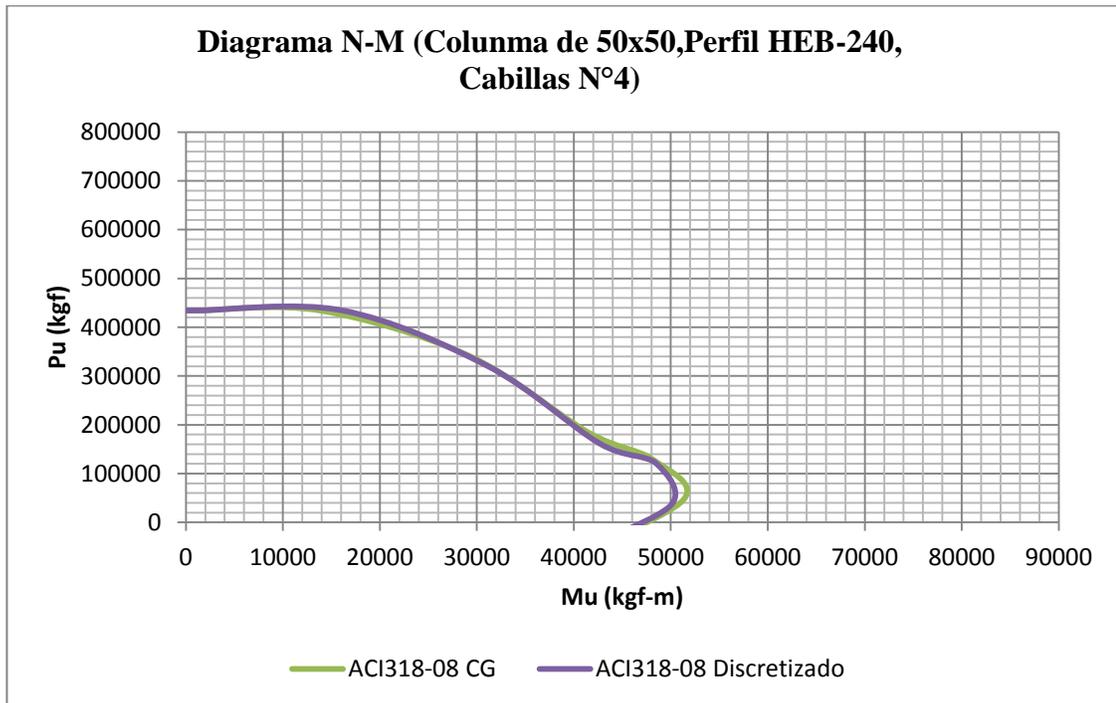


Fig. N°A.13. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°4.

**A.14.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.14:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°5 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 DISCRETIZADO					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	707707	27288	0,65	460010	17737
P3	504454	51488	0,65	327895	33467
P4	250136	71108	0,65	162588	46220
P6	163207	72558	0,73	119141	52967
P5	31482	61156	0,90	28333	55041
P7	-111640	44587	0,90	-100476	40128
P8	-226428	30537	0,90	-203785	27483
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0
ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	868468	0	0,65	564504	0
P1	850173	2993,76	0,65	552612	1946
P2	748864	23711	0,65	486761	15412
P3	539460	48262	0,65	350649	31370
P4	284295	69370	0,65	184791	45091
P6	174829	72054	0,73	127625	52599
P5	48285	62837	0,90	43456	56553
P7	-90551	48601	0,90	-81496	43741
P8	-167517	39919	0,90	-150766	35927
0,80*Po	694774	0	0,65	451603	0

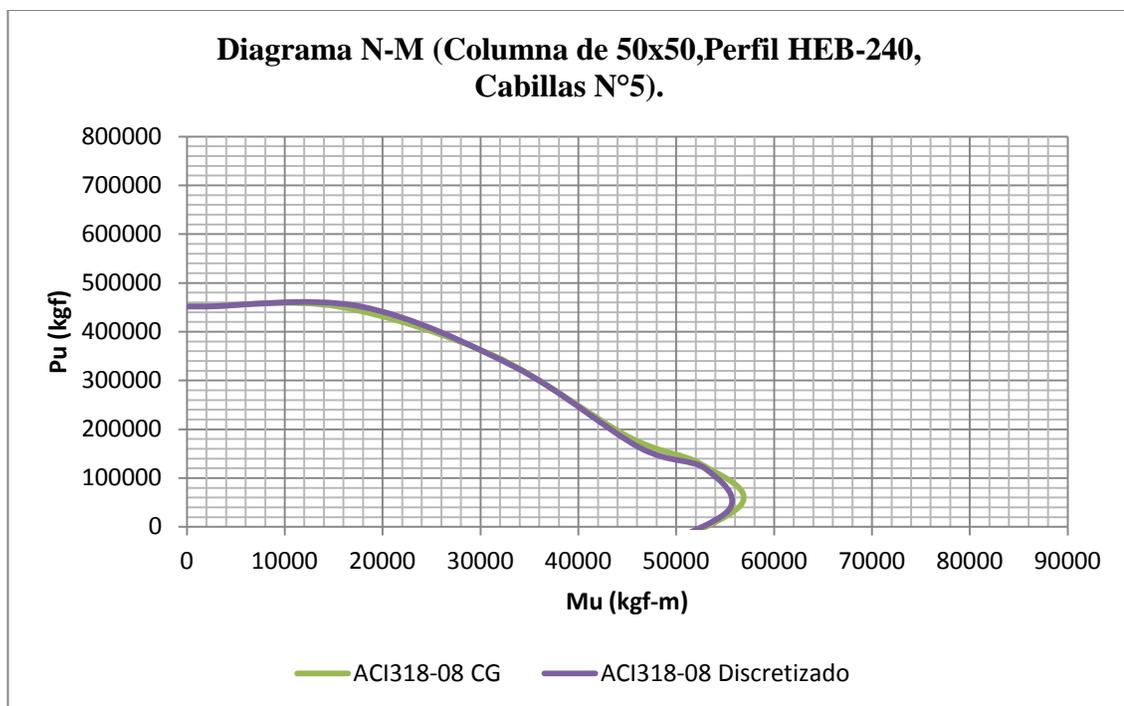


Fig. N°A.14. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°5.

**A.15.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-240 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.15:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-240 y cabillas N°6 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu	Mu
Po	910097,5	0	0,65	591563	0
P1	883764	4309,2	0,65	574446	2801
P2	772954	26689	0,65	502420	17348
P3	556268	52496	0,65	361574	34122
P4	285919	76129	0,65	185847	49484
P6	173611	79503	0,73	126736	58037
P5	45443	70043	0,90	40899	63038
P7	-97453	55116	0,90	-87708	49605
P8	-177667	45867	0,90	-159901	41280
0,80*Po	728078	0	0,65	473251	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	910097,5	0	0,65	591563	0
P1	883764	4309,2	0,65	574446	2801
P2	731798	30266	0,65	475668	19673
P3	521263	55722	0,65	338821	36219
P4	251760	77867	0,65	163644	50613
P6	161989	80007	0,73	118252	58405
P5	28640	68362	0,90	25776	61526
P7	-118542	51102	0,90	-106688	45992
P8	-239826	36392	0,90	-215844	32753
0,80*Po	728078	0	0,65	473251	0

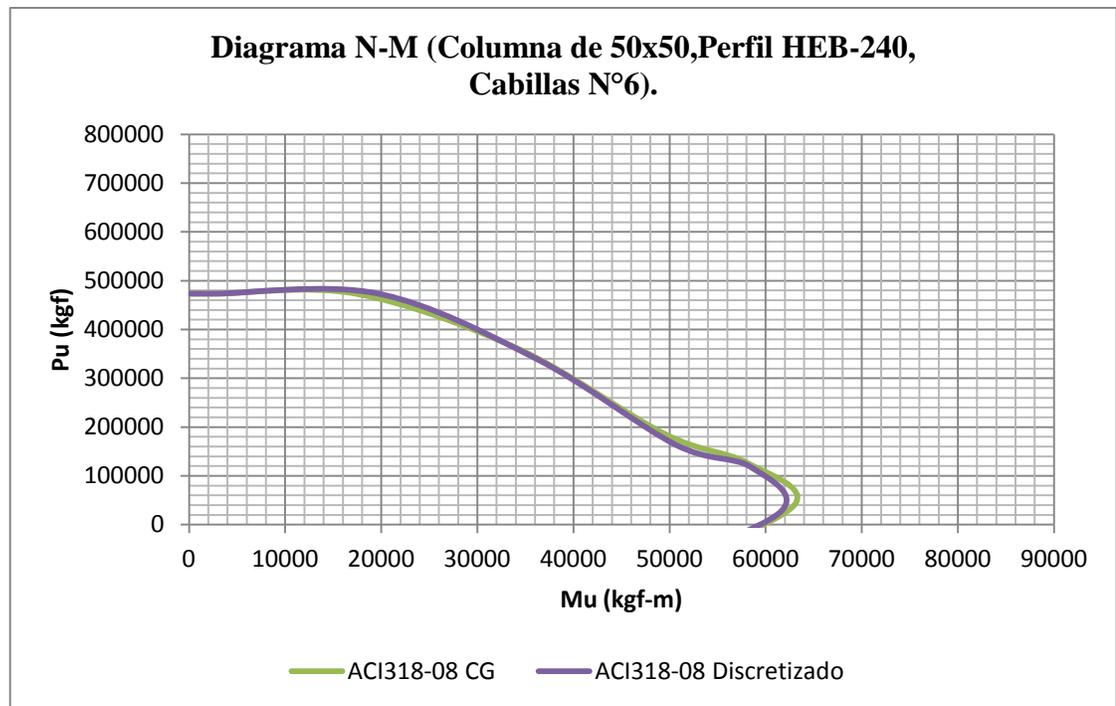


Fig. N°A.15. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-240 y cabillas N°6.

**A.16.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°4.**

**Tablas N°A.16:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°4 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	932857	0	0,65	606357	0
P1	921122	1920,24	0,65	598729	1248
P2	827566	21281	0,65	537918	13833
P3	555388	55753	0,65	361002	36240
P4	256279	85496	0,65	166582	55572
P6	188844	86454	0,73	137856	63111
P5	82349	79695	0,90	74115	71725
P7	-68070	62589	0,90	-61263	56330
P8	-151700	51785	0,90	-136530	46606
0,80*Po	746286	0	0,65	485086	0
ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	932857	0	0,65	606357	0
P1	921122	1920,24	0,65	598729	1248
P2	745206	30708	0,65	484384	19960
P3	510429	60735	0,65	331779	39478
P4	226846	86429	0,65	147450	56179
P6	157368	86001	0,73	114879	62781
P5	57372	77996	0,90	51635	70196
P7	-97692	57826	0,90	-87922	52043
P8	-260878	34861	0,90	-234790	31375
0,80*Po	746286	0	0,65	485086	0

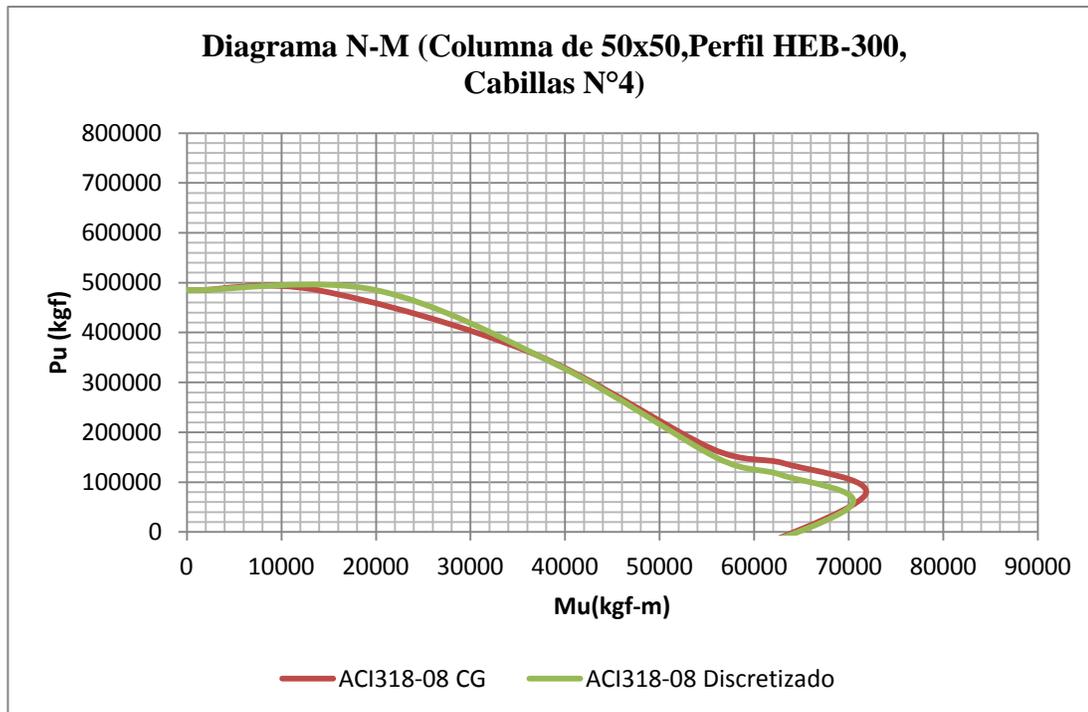


Fig. N°A.16. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°4.

**A.17.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°5.**

**Tablas N°A.17:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°5 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu	Mu
Po	966830,5	0	0,65	628440	0
P1	948535	2993,76	0,65	616548	1946
P2	847226	23711	0,65	550697	15412
P3	569106	59209	0,65	369919	38486
P4	257605	91012	0,65	167443	59158
P6	187850	92533	0,73	137130	67549
P5	80030	85575	0,90	72027	77018
P7	-73703	67906	0,90	-66332	61116
P8	-159983	56638	0,90	-143985	50974
0,80*Po	773464	0	0,65	502752	0

ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	966830,5	0	0,65	628440	0
P1	948535	2993,76	0,65	616548	1946
P2	764866	33139	0,65	497163	21540
P3	524146	64190	0,65	340695	41723
P4	228171	91946	0,65	148311	59765
P6	156374	92081	0,73	114153	67219
P5	55052	83876	0,90	49547	75489
P7	-103324	63143	0,90	-92992	56829
P8	-271812	39639	0,90	-244631	35675
0,80*Po	773464	0	0,65	502752	0

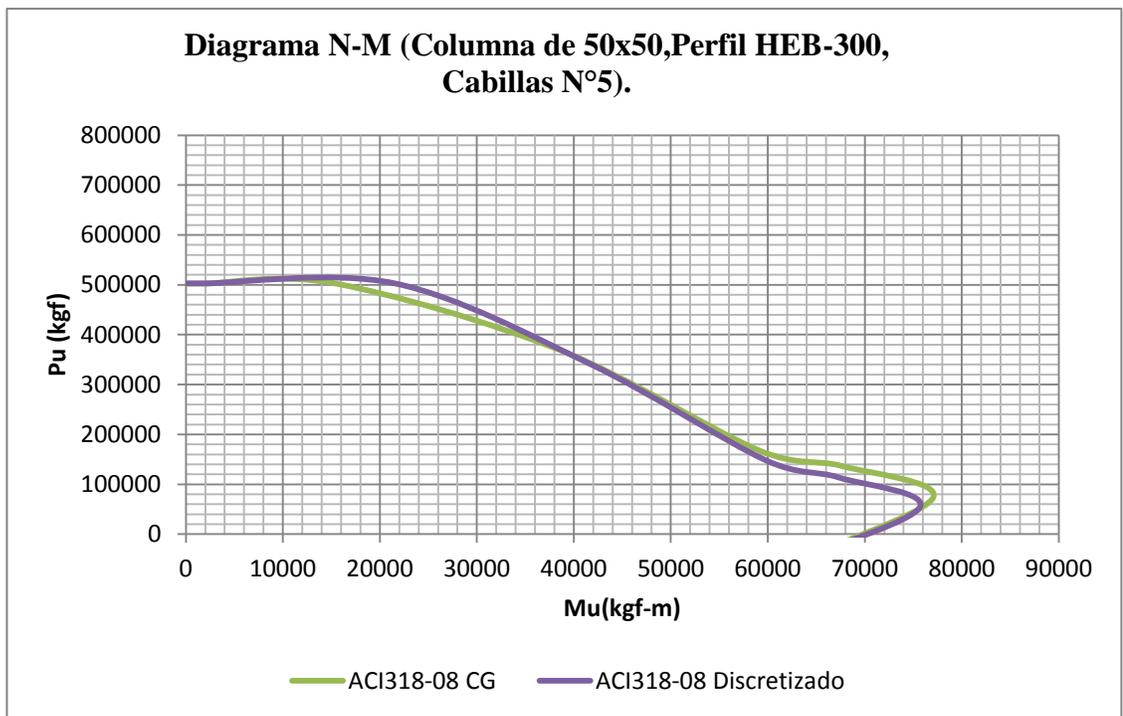


Fig. N°A.17... Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°5.

**A.18.COMPARACIÓN ENTRE LOS DIAGRAMAS N-M MÉTODO ACI318-08 DISCRETIZADO Y ACI318-08 CENTRO DE GRAVEDAD DE UNA COLUMNA MIXTA DE 50X50 cm, PERFIL HEB-300 Y CABILLAS N°6.**

**Tablas N°A.18:** Resultados del diseño de una columna mixta de 50x50 cm, perfil HEB-300 y cabillas N°6 ACI318-08 Discretizado y por Centro de Gravedad.

ACI318-08 CG					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	1008460	0	0,65	655499	0
P1	982126	4309,2	0,65	638382	2801
P2	871317	26689	0,65	566356	17348
P3	585914	63443	0,65	380844	41238
P4	259229	97771	0,65	168499	63551
P6	186632	99983	0,73	136241	72987
P5	77188	92781	0,90	69469	83503
P7	-80605	74422	0,90	-72544	66980
P8	-170133	62585	0,90	-153120	56327
0,80*Po	806768	0	0,65	524399	0
ACI318-08 Discretizado					
	Pn	Mn	$\phi$	Pu (kgf)	Mu (kgf-m)
Po	1008460	0	0,65	655499	0
P1	982126	4309,2	0,65	638382	2801
P2	788956	36117	0,65	512822	23476
P3	540955	68424	0,65	351620	44475
P4	229795	98705	0,65	149367	64158
P6	155156	99530	0,73	113264	72657
P5	52210	91082	0,90	46989	81974
P7	-110226	69659	0,90	-99204	62693
P8	-285210	45494	0,90	-256689	40945
0,80*Po	806768	0	0,65	524399	0

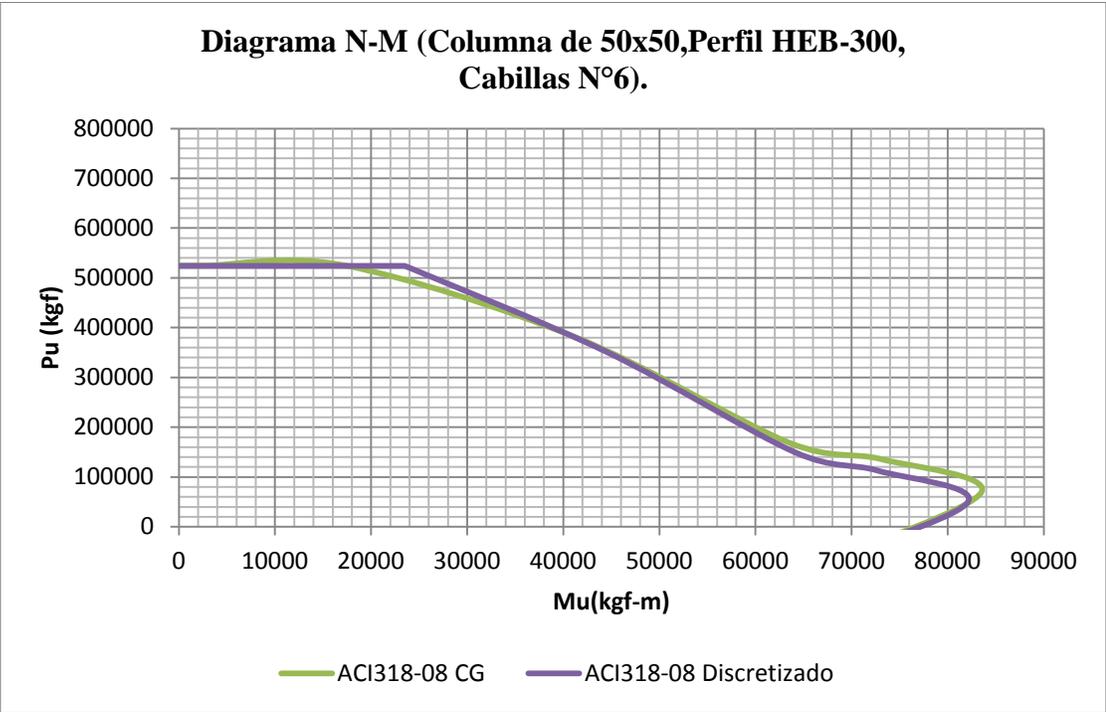


Fig. N°A.18. Comparación de los Diagramas N-M entre ACI318-08 discretizado y ACI318-08 CG para una columna mixta de 50x50, perfil HEB-300 y cabillas N°6.