



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**Facultad de Tecnología de la Construcción**

**Monografía**

**“SOFTWARE PARA EL REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EXTERNO EN VIGAS, COLUMNAS Y LOSAS EN UNA DIRECCIÓN DE CONCRETO REFORZADO APLICANDO EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN SEGÚN NORMAS CONSTRUCTIVAS ACI 318-19 Y ACI 562-19”.**

Para optar al título de ingeniero civil

**Elaborado por**

Br. Gonzalo Josue Castillo Tapia

Br. Norbert Yoel Alberdi Lanzas

**Tutor**

M.Sc. Ing. Yader Andrés Jarquín Montalván

Managua, Octubre 2021



## *AGRADECIMIENTOS*

A Dios todo poderoso por brindarnos la sabiduría, la capacidad y los medios necesarios para llevar a cabo y concluir esta investigación.

A nuestros padres, por su apoyo incondicional y constante motivación para lograr las metas propuestas.

A nuestro tutor M.Sc. Ing. Yader Andrés Jarquín Montalván por ser nuestro guía en el desenlace de la investigación e incentivarnos con su experiencia y conocimiento.

## *DEDICATORIA*

A Gonzalo Alfonzo Castillo Rodríguez, Yasiry del Carmen Tapia Guadamuz y Cielo Celina Castillo Tapia.

A Martha Elizabeth Lanzas Castro, Marvin Agustín Alberdi Moreno y Xochitl Valeska Alberdi Lanzas.

## *RESUMEN GENERAL*

Esta investigación se realizó con el fin de desarrollar un software a través de lenguaje de programación C++ y así ser una herramienta sumamente útil a la hora de reforzar una estructura que está sujeta a cambios de usos y por ende de cargas o a modificaciones basado en normativas locales.

Se muestra información para poder conocer sobre los antecedentes relacionados al reforzamiento estructural externo, justificando la necesidad de desarrollar un software que cuente con las capacidades necesarias para llevar a cabo el diseño de un reforzamiento estructural.

Se encuentra toda la teoría para comprender el reforzamiento estructural externo y los aspectos fundamentales para el método de recrecido de hormigón armado, así como las normas que lo rigen (ACI 318-19 y ACI 562-19), posteriormente se aplicó la teoría a ejemplos realizados de forma manual y de manera seguida se desarrolló el algoritmo que ejecuta el programa.

La validación de salida de datos en el software es a través de comparaciones de resultados, con ejercicios manuales siguiendo el proceso lógico de ACI 318-19 y modelando una sección con recrecido en SAP 2000 así también cálculos ejecutados en StrucG obteniendo una tabla comparativa entre estos.

El software StrucG cuenta con un manual de usuario, siendo un programa capaz de diseñar un reforzamiento a vigas, columnas y losas unidireccionales con concreto reforzado tanto de forma convencional como sísmica, brindando las pautas necesarias para la ejecución del mismo.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>RESUMEN GENERAL</b> .....	<b>III</b>
<b>CAPITULO I: DISPOSICIONES GENERALES</b>	
1.1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.2. ANTECEDENTES .....	2
1.3. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.4. OBJETIVOS.....	4
1.4.1. Objetivo General .....	4
1.4.2. Objetivos Específicos.....	4
<b>CAPITULO II: FUNDAMENTOS TEÓRICOS DEL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN Y REQUERIMIENTOS SEGÚN ACI 318-19 Y ACI 562-19</b>	
2.1. CONCRETO ESTRUCTURAL REFORZADO.....	5
2.1.1. <i>Ventajas del concreto reforzado frente a otros materiales</i> .....	5
2.2. CARGAS.....	6
2.2.1. <i>Variabilidad de las cargas</i> .....	6
2.2.2. <i>Cargas muertas</i> .....	6
2.2.3. <i>Cargas vivas</i> .....	7
2.2.4. <i>Cargas ambientales</i> .....	7
2.3. DISEÑO ESTRUCTURAL.....	8
2.3.1. <i>Dimensionamiento de elementos de concreto reforzado</i> .....	8
2.3.2. <i>Diseño convencional de vigas</i> .....	8
2.3.3. <i>Diseño convencional de columnas</i> .....	10
2.3.4. <i>Diseño convencional de losas en una dirección</i> .....	11
2.3.5. <i>Diseño sísmico de vigas</i> .....	12
2.3.6. <i>Diseño sísmico de columnas</i> .....	13
2.4. INTERVENCIÓN DE REFUERZO EN ESTRUCTURAS DE CONCRETO REFORZADO .....	13
2.4.1. <i>Refuerzo estructural</i> .....	13
2.4.2. <i>Refuerzo estructural con recrecido de hormigón según ACI 562-19</i> .....	13
2.4.3. <i>Refuerzo estructural con recrecido de hormigón según ACI 318-19</i> .....	14
2.4.4. <i>Mantenimiento</i> .....	14

2.4.5.	<i>Rehabilitación</i> .....	14
2.4.6.	<i>Cambio de uso</i> .....	15
2.5.	TÉCNICAS DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....	15
2.5.1.	<i>Refuerzo mediante recrecido con hormigón armado</i> .....	15
2.5.2.	<i>Refuerzo mediante perfiles metálicos</i> .....	16
2.5.3.	<i>Refuerzo mediante láminas sintéticas reforzadas con fibras (FRP)</i> .....	16
2.5.4.	<i>Factores que afectan la elección de la técnica de reforzamiento</i> .....	17
2.5.5.	<i>Selección de materiales</i> .....	18
2.6.	METODOLOGÍA CONSTRUCTIVA PARA EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	18
2.6.1.	<i>Aplicación de cálculos del método recrecido de hormigón</i> .....	18
2.6.2.	<i>Recrecido de hormigón en vigas</i> .....	20
2.6.3.	<i>Recrecido de hormigón en columnas</i> .....	23
2.6.4.	<i>Recrecido de hormigón en losas en una dirección</i> .....	25
2.7.	ADHESIVOS EPÓXICO EN RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	28
2.7.1.	<i>Adhesivo epóxico sikadur – 31 Hi-Mod Gel</i> .....	28
2.7.2.	<i>Adhesivo epóxico sikadur – 32 Gel</i> .....	28
2.7.3.	<i>Utilización de adhesivos epóxico en el reforzamiento estructural</i> .....	28
2.8.	JUNTA FRÍA.....	29
2.8.1.	<i>Comportamiento de junta fría en el hormigón a compresión</i> .....	29
2.8.2.	<i>Comportamiento de junta fría en el hormigón a carga uniaxial</i> .....	30
2.9.	DETERMINACIÓN DE LA FUERZA DE COMPRESIÓN DEL CONCRETO .....	30
2.9.1.	<i>ASTM C42/C42M-20</i> .....	30
2.9.2.	<i>ASTM C39/C39M-21</i> .....	31

**CAPITULO III: EJEMPLOS DE DISEÑO DE REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL METODO RECRECIDO DE HORMIGON EN VIGA, COLUMNA Y LOSA EN UNA DIRECCIÓN**

3.1.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS CON MOMENTO POSITIVO.....	32
3.1.1.	<i>Cálculo de <math>\phi M_n</math> existente</i> .....	33
3.1.2.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	38
3.1.3.	<i>Revisión por cortante</i> .....	43
3.1.4.	<i>Cálculo del nuevo acero de refuerzo</i> .....	47
3.1.5.	<i>Distribución de refuerzo que necesita el elemento</i> .....	48
3.2.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS CON MOMENTO NEGATIVO .....	50
3.2.1.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	50

3.2.2.	<i>Revisión por cortante</i> .....	52
3.3.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN VIGAS T Y VIGAS L CON MOMENTO POSITIVO .....	54
3.3.1.	<i>Cálculo de <math>\phi M_n</math> existente</i> .....	55
3.3.2.	<i>Cálculo de recrecido con las nuevas solicitaciones</i> .....	59
3.3.3.	<i>Revisión por cortante</i> .....	64
3.3.4.	<i>Distribución de refuerzo que necesita el elemento</i> .....	66
3.4.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS CON MOMENTO POSITIVO .....	68
3.4.1.	<i>Cálculo de <math>\phi M_n</math> existente</i> .....	69
3.4.2.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	74
3.4.3.	<i>Revisión por cortante</i> .....	80
3.4.4.	<i>Distribución de refuerzo que necesita el elemento</i> .....	81
3.5.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS CON MOMENTO NEGATIVO .....	84
3.5.1.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	85
3.5.2.	<i>Revisión por cortante</i> .....	86
3.6.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS CON CARGA AXIAL .....	88
3.6.1.	<i>Cálculo de <math>\phi P_o</math> existente</i> .....	88
3.6.2.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	89
3.6.3.	<i>Distribución de refuerzo que necesita el elemento</i> .....	91
3.6.4.	<i>Distribución de refuerzo secundario</i> .....	92
3.7.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS CORTAS Y ESBELTAS A FLEXO COMPRESIÓN UNIAxIAL .....	96
3.7.2.	<i>Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones</i> .....	100
3.7.3.	<i>Proponiendo centroide plástico "c"</i> .....	100
3.7.4.	<i>Distribución de refuerzo secundario</i> .....	106
3.7.5.	<i>Factor de amplificación de momento</i> .....	107
3.8.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN COLUMNAS A FLEXO COMPRESIÓN BIAxIAL .....	109
3.8.1.	<i>Cálculo de recrecido con las nuevas solicitaciones</i> .....	109
3.8.2.	<i>'Proponiendo centroide plástico "c"</i> .....	110
3.8.3.	<i>Distribución de refuerzo secundario</i> .....	116
3.9.	DESCRIPCIÓN DEL EJEMPLO DE REFUERZO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN EN LOSAS DE UNIDIRECCIONAL .....	118

3.9.1.	<i>Distribución de refuerzo que necesita el elemento</i> .....	119
3.10.	REFUERZO SÍSMICO ESTRUCTURAL EXTERNO MEDIANTE EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	123
3.10.1.	<i>Vigas</i> .....	123
3.10.2.	<i>Columnas</i> .....	126

#### **CAPITULO IV: DESARROLLO DEL SOFTWARE “STRUCG” CON VISUAL STUDIO 2019**

4.1.	VISUAL STUDIO .....	128
4.1.1.	<i>Plataforma .NET</i> .....	128
4.1.2.	<i>CLR - Common Language Runtime</i> .....	129
4.1.3.	<i>CLS - Common Language Specification</i> .....	129
4.1.4.	<i>BCL - Base Class Library</i> .....	129
4.2.	PROGRAMACIÓN EN C++ .....	130
4.2.1.	<i>Sintaxis en C++</i> .....	130
4.2.2.	<i>Programación orientada a objetos POO en C++</i> .....	130
4.3.	DESARROLLO DE STRUCG.....	131
4.3.1.	<i>Diseño de codificación</i> .....	132
4.3.2.	<i>Codificación de sintaxis</i> .....	132
4.3.3.	<i>Prueba de sintaxis programada</i> .....	132
4.3.4.	<i>Diseño de interfaz</i> .....	133
4.4.	ALCANCES Y LIMITACIONES DE STRUCG .....	134
4.4.1.	<i>Refuerzo estructural en columnas</i> .....	135
4.4.2.	<i>Refuerzo estructural en losas unidireccionales</i> .....	135
4.4.3.	<i>Limitaciones de StrucG</i> .....	136

#### **CAPITULO V: VALIDACIÓN DE RESULTADOS DEL SOFTWARE “STRUCG”**

5.1.	VALIDACIÓN DISEÑO CONVENCIONAL .....	138
5.1.	VALIDACIÓN DISEÑO SÍSMICO .....	146

#### **CAPITULO VI: MANUAL DE “STRUCG” PARA EL USUARIO**

6.1.	INSTALACIÓN DEL SOFTWARE.....	151
6.1.1.	<i>Requisitos de instalación</i> .....	151
6.1.2.	<i>Instalación del Software</i> .....	151
6.2.	INTERFAZ PRINCIPAL.....	153
6.3.	MENÚ REFORZAMIENTO .....	154
6.4.	MENÚ REFORZAMIENTO CONVENCIONAL - VIGAS .....	155

6.5.	MENÚ REFORZAMIENTO CONVENCIONAL - COLUMNAS .....	164
6.6.	MENÚ REFORZAMIENTO CONVENCIONAL – LOSA UNIDIRECCIONAL.....	173
6.7.	MENÚ REFORZAMIENTO SÍSMICO .....	175
6.8.	REFERENCIAS .....	178
6.9.	NORMAS .....	179
6.10.	LIBROS.....	180
6.11.	AYUDA .....	180

**CAPITULO VII: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

7.1.	CONCLUSIONES .....	181
7.2.	RECOMENDACIONES .....	184

**CAPITULO VIII: BIBLIOGRAFÍA**

**CAPITULO XIX: ANEXOS**

# LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2-1- CONDICIONAL PARA $V_c$ , SEGÚN ACI 318-19 .....	9
ILUSTRACIÓN 2-2- AGRIETAMIENTO EN LA FALLA DE VIGAS SUJETAS A FLEXIÓN .....	10
ILUSTRACIÓN 2-3 - TIPOS DE COLUMNA .....	11
ILUSTRACIÓN 2-4 - LOSA EN UNA DIRECCIÓN .....	12
ILUSTRACIÓN 2-5 - FRANJA UNITARIA QUE ACTÚA COMO VIGA DE UN METRO DE ANCHO .....	12
ILUSTRACIÓN 2-6 - REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL APLICANDO EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	15
ILUSTRACIÓN 2-7 - REFUERZO ESTRUCTURAL MEDIANTE PERFILES METÁLICOS .....	16
ILUSTRACIÓN 2-8 - APLICACIÓN DE PERFILES METÁLICOS PARA REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL .....	16
ILUSTRACIÓN 2-9 - REFUERZO ESTRUCTURAL MEDIANTE FRP .....	17
ILUSTRACIÓN 2-10 - APUNTALAMIENTO PARA REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL APLICANDO EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGAS .....	20
ILUSTRACIÓN 2-11 - ACERO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGAS .....	21
ILUSTRACIÓN 2-12 - FIJACIÓN DE ACERO LONGITUDINAL EN RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGAS .....	22
ILUSTRACIÓN 2-13 - ENCOFRADO SÍSMICO, VIGAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	22
ILUSTRACIÓN 2-14 - VACIADO Y TERMINACIÓN DEL NUEVO ELEMENTO, VIGAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	23
ILUSTRACIÓN 2-15 - APUNTALAMIENTO, COLUMNAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	23
ILUSTRACIÓN 2-16 - COLOCACIÓN DE REFORZAMIENTO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, COLUMNAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	24
ILUSTRACIÓN 2-17 - ENCOFRADO DE COLUMNAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	24
ILUSTRACIÓN 2-18 - VACIADO Y TERMINACIÓN DEL NUEVO ELEMENTO, COLUMNAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	25
ILUSTRACIÓN 2-19 - APUNTALAMIENTO, LOSA, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	26
ILUSTRACIÓN 2-20 - COLOCACIÓN DEL REFUERZO LONGITUDINAL .....	26
ILUSTRACIÓN 2-21 - COLOCACIÓN DE ENCOFRADO, LOSAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	27
ILUSTRACIÓN 2-22 - TERMINACIÓN DEL ELEMENTO, LOSA, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	27
ILUSTRACIÓN 2-23 - UTILIZACIÓN DE ADHESIVOS EPÓXICO .....	29
ILUSTRACIÓN 2-24 - JUNTA FRÍA EN UN ELEMENTO DE CONCRETO .....	30
ILUSTRACIÓN 3-1 - FUERZAS INTERNAS DE VIGA SIMPLEMENTE REFORZADA .....	32
ILUSTRACIÓN 3-2 - VALOR DE $B_1$ , SEGÚN ACI 318-19 .....	32
ILUSTRACIÓN 3-3 - PARÁMETROS DE VIGA $S$ . REFORZADA FLEXIÓN POSITIVA .....	33
ILUSTRACIÓN 3-4 - CÁLCULO DE LA DEFORMACIÓN UNITARIA LONGITUDINAL SEGÚN ACI 318-19 .....	36
ILUSTRACIÓN 3-5 - FACTOR DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA .....	37
ILUSTRACIÓN 3-6 - NUEVA SECCIÓN, VIGA, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	38

ILUSTRACIÓN 3-7 - NUEVA DISTANCIA PARA PERALTE EFECTIVO, RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGAS S. REFORZADA, MOMENTO POSITIVO .....	39
ILUSTRACIÓN 3-8 - NUEVA DISTANCIA "DT" PARA EL CÁLCULO DE DEFORMACIONES UNITARIAS .....	42
ILUSTRACIÓN 3-9 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE VIGA SIMPLEMENTE REFORZADA CON SUS NUEVAS DISTRIBUCIONES DE REFUERZO, VIGA CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	50
ILUSTRACIÓN 3-10 - PARÁMETROS DE VIGA S. REFORZADA CON FLEXIÓN NEGATIVA.....	50
ILUSTRACIÓN 3-11 - NUEVA SECCIÓN, MOMENTO NEGATIVO, VIGA, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	51
ILUSTRACIÓN 3-12 - REPRESENTACIÓN ILUSTRATIVA DE SECCIÓN EN VIGAS T Y L .....	54
ILUSTRACIÓN 3-13 - PARÁMETROS DE VIGA S. REFORZADA PARA SECCIÓN T CON FLEXIÓN POSITIVA .....	55
ILUSTRACIÓN 3-14 - DEFORMACIÓN UNITARIA LONGITUDINAL PARA VIGAS CON SECCIÓN T Y L.....	58
ILUSTRACIÓN 3-15 - NUEVA SECCIÓN, VIGA T, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	60
ILUSTRACIÓN 3-16 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN EN LA SECCIÓN, VIGA T CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	68
ILUSTRACIÓN 3-17 - DEFORMACIONES UNITARIAS Y FUERZAS INTERNAS DE VIGA DOBLEMENTE REFORZADA .....	69
ILUSTRACIÓN 3-18 - PARÁMETROS DE VIGA D. REFORZADA PARA FLEXIÓN POSITIVA.....	69
ILUSTRACIÓN 3-19 - NUEVA SECCIÓN, VIGA D. REFORZADA MOMENTO POSITIVO, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	75
ILUSTRACIÓN 3-20 - NUEVA DISTANCIA PARA PERALTE EFECTIVO, VIGA D. REFORZADA CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN, MOMENTO POSITIVO .....	75
ILUSTRACIÓN 3-21 - NUEVA DISTANCIA PARA "DT", CÁLCULO DE DEFORMACIÓN UNITARIA A TRACCIÓN, VIGAS D. REFORZADAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN, MOMENTO POSITIVO .....	76
ILUSTRACIÓN 3-22 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO, VIGA D. REFORZADA CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	84
ILUSTRACIÓN 3-23 - PARÁMETRO PARA VIGA D. REFORZADA CON FLEXIÓN NEGATIVA .....	84
ILUSTRACIÓN 3-24 - NUEVA SECCIÓN, VIGA D. REFORZADA MOMENTO NEGATIVO, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	85
ILUSTRACIÓN 3-25 - PARÁMETROS DE COLUMNAS CON CARGA AXIAL .....	88
ILUSTRACIÓN 3-26 - NUEVA SECCIÓN, COLUMNA AXIAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	89
ILUSTRACIÓN 3-27 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA SECCIÓN CON LA NUEVA DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO, COLUMNA AXIAL CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	95
ILUSTRACIÓN 3-28 – DATO DE SECCIÓN SIN RECRECIDO EN COLUMNA UNIAXIAL.....	96
ILUSTRACIÓN 3-29 - NUEVA SECCIÓN, COLUMNA UNIAXIAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	100
ILUSTRACIÓN 3-30 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA SECCIÓN CON EL REFORZAMIENTO, COLUMNA UNIAXIAL CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	107
ILUSTRACIÓN 3-31 - PARÁMETROS DE COLUMNA BIAxIAL .....	109
ILUSTRACIÓN 3-32 - NUEVA SECCIÓN, COLUMNA BIAxIAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	110

ILUSTRACIÓN 3-33 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA SECCIÓN CON EL REFORZAMIENTO, COLUMNA BIAxIAL CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	117
ILUSTRACIÓN 3-34 - DATOS DEL ELEMENTO EXISTENTE, LOSA, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	118
ILUSTRACIÓN 3-35 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA SECCIÓN CON EL ACERO DE REFUERZO, LOSA CONVENCIONAL, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	122
ILUSTRACIÓN 3-36 - DETALLE DE REFUERZO SECUNDARIO EN VIGAS SÍSMICAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	125
ILUSTRACIÓN 3-37 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA SECCIÓN CON SU ACERO LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, VIGAS SÍSMICAS, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	125
ILUSTRACIÓN 3-38 - DETALLE DE SEPARACIÓN DE ESTRIBO SÍSMICO, COLUMNA, RECRECIDO DE HORMIGÓN .....	126
ILUSTRACIÓN 3-39 - REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA NUEVA SECCIÓN CON DISTRIBUCIÓN LONGITUDINAL Y TRANSVERSAL, COLUMNA SÍSMICA, RECRECIDO DE HORMIGÓN.....	127
ILUSTRACIÓN 4-1 - COMPONENTES DE VISUAL STUDIO.....	129
ILUSTRACIÓN 4-2 - PROCESO DE EJECUCIÓN DE C++ .....	130
ILUSTRACIÓN 4-3 - DIAGRAMA DE FLUJO DE EJECUCIÓN DE STRUCG.....	131
ILUSTRACIÓN 5-1 - ENTRADA DE DATOS DE STRUCG, RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGA CONVENCIONAL.....	138
ILUSTRACIÓN 5-2 - ENTRADA DE DATOS DE STRUCG, RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGA CONVENCIONAL.....	139
ILUSTRACIÓN 5-3 - MODELACIÓN EN SAP 2000 DE LA SECCIÓN OBTENIDA A TRAVÉS DE STRUCG .....	140
ILUSTRACIÓN 5-4 - RESULTADOS DE LA SECCIÓN CON RECRECIDO EN SAP 2000, VIGA CONVENCIONAL .....	141
ILUSTRACIÓN 5-5 - TABLA DE MOMENTOS GENERADA EN SAP 2000, VIGA CONVENCIONAL.....	142
ILUSTRACIÓN 5-6 - CONTINUACIÓN DE TABLA DE MOMENTOS GENERADA EN SAP 2000, VIGA CONVENCIONAL.....	143
ILUSTRACIÓN 5-7 - SALIDA DE DATOS DE STRUCG, RECRECIDO DE HORMIGÓN, COLUMNA CONVENCIONAL .....	144
ILUSTRACIÓN 5-8 - MODELACIÓN DE LA SECCIÓN CON RECRECIDO EN SAP 2000, COLUMNA CONVENCIONAL .....	144
ILUSTRACIÓN 5-9 - TABLA DE RESULTADOS GENERADA EN SAP 2000, COLUMNA CONVENCIONAL.....	145
ILUSTRACIÓN 5-10 - GRÁFICA GENERADA EN EXCEL, COLUMNA CONVENCIONAL.....	146
ILUSTRACIÓN 5-11 - SALIDA DE DATOS DE STRUCG, RECRECIDO DE HORMIGÓN, VIGA SÍSMICA .....	147
ILUSTRACIÓN 5-12 - MODELACIÓN DE LA SECCIÓN CON RECRECIDO EN SAP 2000, VIGA SISMICA .....	147
ILUSTRACIÓN 5-13 - RESULTADOS DE LA SECCIÓN CON RECRECIDO EN SAP 2000, VIGA CONVENCIONAL .....	148
ILUSTRACIÓN 5-14 -TABLA DE MOMENTOS GENERADA EN SAP 2000, VIGA SÍSMICA .....	149
ILUSTRACIÓN 5-15 TABLA COMPARATIVA ENTRE "STRUCG" Y SAP 2000.....	149
ILUSTRACIÓN 6-1 -WIN.RAR DE INSTALACIÓN, STRUCG.....	151
ILUSTRACIÓN 6-2 - CONTINUACIÓN, WIN.RAR, INSTALACIÓN STRUCG.....	152
ILUSTRACIÓN 6-3 - CARPETA DE INSTALACIÓN, STRUCG .....	152
ILUSTRACIÓN 6-4 - CARPETA DE INSTALACIÓN, CONTINUACIÓN .....	152
ILUSTRACIÓN 6-5 - EJECUTOR DE INSTALADOR, STRUCG .....	152
ILUSTRACIÓN 6-6 - CONTINUACIÓN, EJECUTOR DE INSTALACIÓN .....	153

ILUSTRACIÓN 6-7- INTERFAZ PRINCIPAL DE STRUCG .....	154
ILUSTRACIÓN 6-8 - MENÚ DE OPCIÓN PARA EL REFORZAMIENTO .....	154
ILUSTRACIÓN 6-9 - MENÚ DEL REFORZAMIENTO CONVENCIONAL.....	155
ILUSTRACIÓN 6-10 - MENÚ DEL REFORZAMIENTO PARA VIGAS .....	155
ILUSTRACIÓN 6-11 - ENTRADA DE DATOS PARA VIGA S.R.....	156
ILUSTRACIÓN 6-12 - CASOS DE ESTUDIO, VIGA CONVENCIONAL .....	156
ILUSTRACIÓN 6-13 - BOTÓN DE AYUDA, CASOS DE ESTUDIO, VIGA CONVENCIONAL .....	157
ILUSTRACIÓN 6-14 - CONTINUACIÓN, CASOS DE ESTUDIO, VIGA CONVENCIONAL .....	157
ILUSTRACIÓN 6-15 - BOTÓN SECUENCIA DE CÁLCULOS .....	157
ILUSTRACIÓN 6-16 - SECUENCIA DE CÁLCULOS .....	158
ILUSTRACIÓN 6-17 - SALIDA DE DATOS PARA VIGA S.R.....	160
ILUSTRACIÓN 6-18 - ENTRADA DE DATOS PARA VIGAS D.R.....	161
ILUSTRACIÓN 6-19 - SALIDA DE DATOS PARA VIGA D.R .....	162
ILUSTRACIÓN 6-20 - ENTRADA DE DATOS PARA VIGAS T.....	163
ILUSTRACIÓN 6-21 - SALIDA DE DATOS PARA VIGAS T.....	164
ILUSTRACIÓN 6-22 - MENÚ DE REFORZAMIENTO PARA COLUMNAS .....	164
ILUSTRACIÓN 6-23 - CASO DE ESTUDIO COLUMNA CONVENCIONAL.....	164
ILUSTRACIÓN 6-24 - BOTÓN DE AYUDA CASO DE ESTUDIO COLUMNA CONVENCIONAL.....	165
ILUSTRACIÓN 6-25 - CONTINUACIÓN CASOS DE ESTUDIO COLUMNA CONVENCIONAL .....	165
ILUSTRACIÓN 6-26 - COMPORTAMIENTO DE LA CURVA COLUMNA CONVENCIONAL .....	165
ILUSTRACIÓN 6-27 - BOTÓN DE AYUDA, COMPORTAMIENTO DE LA CURVA COLUMNA CONVENCIONAL.....	165
ILUSTRACIÓN 6-28 - CONTINUACIÓN, COMPORTAMIENTO DE LA CURVA COLUMNA, CONVENCIONAL.....	166
ILUSTRACIÓN 6-29 - SENTIDO DE LA CARGA AXIAL, COLUMNA CONVENCIONAL.....	166
ILUSTRACIÓN 6-30 - SENTIDO DE LA CARGA AXIAL, COLUMNA CONVENCIONAL.....	166
ILUSTRACIÓN 6-31 - CONTINUACIÓN, SENTIDO DE LA CARGA AXIAL, COLUMNA CONVENCIONAL.....	167
ILUSTRACIÓN 6-32 - ENTRADA DE DATOS PARA COLUMNA A COMPRESIÓN .....	168
ILUSTRACIÓN 6-33 - SALIDA DE DATOS PARA COLUMNAS A COMPRESIÓN.....	169
ILUSTRACIÓN 6-34 - ENTRADA DE DATOS PARA COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN CORTA .....	170
ILUSTRACIÓN 6-35 - SALIDA DE DATOS COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN CORTA .....	171
ILUSTRACIÓN 6-36 - ENTRADA DE DATOS PARA COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN ESBELTA .....	171
ILUSTRACIÓN 6-37 - SALIDA DE DATOS PARA COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN ESBELTA.....	172
ILUSTRACIÓN 6-38 - ENTRADA DE DATOS PARA COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN BIAxIAL .....	172
ILUSTRACIÓN 6-39 - SALIDA DE DATOS PARA COLUMNA FLEXO COMPRESIÓN BIAxIAL.....	173
ILUSTRACIÓN 6-40 - ENTRADA DE DATOS PARA REFORZAMIENTO EN LOSA .....	174
ILUSTRACIÓN 6-41 - SALIDA DE DATOS DE LOSA UNIDIRECCIONAL .....	175

ILUSTRACIÓN 6-42 - MENÚ PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO .....	175
ILUSTRACIÓN 6-43 - ENTRADA DE DATOS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO EN VIGA.....	176
ILUSTRACIÓN 6-44 - SALIDA DE DATOS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO EN VIGAS .....	177
ILUSTRACIÓN 6-45 - ENTRADA DE DATOS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO EN COLUMNA.....	177
ILUSTRACIÓN 6-46 - SALIDA DE DATOS PARA EL REFORZAMIENTO SÍSMICO EN COLUMNA.....	178
ILUSTRACIÓN 6-47 - OPCIÓN PARA VISUALIZACIÓN DE REFERENCIAS .....	179
ILUSTRACIÓN 6-48 - NORMATIVAS DE DISEÑO .....	179
ILUSTRACIÓN 6-49 - LIBROS DEL DISEÑO DE CONCRETO ARMADO.....	180
ILUSTRACIÓN 6-50 - AYUDA PARA EL USUARIO .....	180

# LISTA DE ECUACIONES

ECUACIÓN 2-1- MOMENTO VIGAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	9
ECUACIÓN 2-2 - CARGA AXIAL COLUMNAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	10
ECUACIÓN 2-3 - FACTOR DE REDUCCIÓN PARA CARGA AXIAL COLUMNAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	10
ECUACIÓN 2-4 - MOMENTO NOMINAL EN LOSA UNIDIRECCIONAL - SEGÚN ACI 318-19 .....	12
ECUACIÓN 2-5 - CORTANTE SÍSMICO EN VIGAS, SEGÚN ACI 318-19.....	13
ECUACIÓN 2-6 - MOMENTO PROBABLE EN VIGAS, SEGÚN ACI 318-19.....	13
ECUACIÓN 2-7 - CORTANTE SÍSMICO EN COLUMNAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	13
ECUACIÓN 2-8 - CONDICIONAL DE MOMENTO PARA CÁLCULO DE RECRECIDO - SEGÚN ACI 318-19 .....	19
ECUACIÓN 2-9 - CONDICIONAL DE CARGA AXIAL PARA CÁLCULO DE RECRECIDO – SEGÚN ACI 318-19 .....	19
ECUACIÓN 2-10 CONDICIONAL DE CORTANTE PARA CÁLCULO DE RECRECIDO, SEGÚN ACI 318-19 .....	19
ECUACIÓN 2-11 - CONDICIONAL DE DIMENSIONAMIENTO - SEGÚN ACI 318-19 .....	19
ECUACIÓN 3-1 - ÁREA DE ACERO .....	33
ECUACIÓN 3-2 - PORCENTAJE DE ACERO, SEGÚN ACI 318-19 .....	34
ECUACIÓN 3-3 - PORCENTAJES DE ACERO, SEGÚN ACI 318-19 .....	34
ECUACIÓN 3-4 - PROFUNDIDAD DEL BLOQUE A COMPRESIÓN, SEGÚN ACI 318-19.....	35
ECUACIÓN 3-5 - PROFUNDIDAD DEL EJE NEUTRO, SEGÚN ACI 318-19 .....	35
ECUACIÓN 3-6 - DEFORMACIÓN POR FLUENCIA, SEGÚN ACI 318-19 .....	35
ECUACIÓN 3-7- DEFORMACIÓN UNITARIA A TENSIÓN, SEGÚN ACI 318-19 .....	36
ECUACIÓN 3-8 - FACTOR DE REDUCCIÓN, SEGÚN ACI 318-19.....	37
ECUACIÓN 3-9 - MOMENTO, SEGÚN ACI 318-19 .....	37
ECUACIÓN 3-10 - CENTRO DE GRAVEDAD ENTRE BARRAS PARA RECRECIDO EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS .....	39
ECUACIÓN 3-11 - PROPUESTA DE ACERO PARA NUEVAS SOLICITACIONES .....	39
ECUACIÓN 3-12 - ÁREA DE ACERO QUE NECESITA EL ELEMENTO RESPECTO AL INCREMENTO DE SOLICITACIÓN.....	40
ECUACIÓN 3-13 - NUEVA DISTANCIA PARA DEFORMACIÓN UNITARIA A TENSIÓN .....	42
ECUACIÓN 3-14 - CONDICIÓN DE EQUILIBRIO .....	43
ECUACIÓN 3-15 - SEPARACIÓN DE ACERO SECUNDARIO A CORTANTE, VIGAS, SEGÚN ACI 318-19.....	43
ECUACIÓN 3-16 - ÁREA DE ACERO MÍNIMA A CORTANTE, SEGÚN ACI 318-19 .....	43
ECUACIÓN 3-17 - CÁLCULO DE $V_c$ , SEGÚN ACI 318-19 .....	44
ECUACIÓN 3-18 - CORTANTE QUE DEBE SOPORTAR EL ACERO, SEGÚN ACI 318-19 .....	46
ECUACIÓN 3-19 - CORTANTE NOMINAL SEGÚN ACI 318-19.....	46
ECUACIÓN 3-20 - COMPROBACIÓN DE CORTANTE SECCIÓN TRANSVERSAL, VIGAS, SEGÚN ACI 318-19.....	47
ECUACIÓN 3-21 - ÁREA DE ACERO QUE NECESITA EL ELEMENTO SEGÚN LAS NUEVAS SOLICITACIONES .....	48
ECUACIÓN 3-22 - DISTRIBUCIÓN DE BARRAS EN RECRECIDO .....	48

ECUACIÓN 3-23 - SEPARACIÓN DE BARRAS EN RECRECIDO .....	48
ECUACIÓN 3-24 - SEPARACIONES MÁXIMAS DE BARRAS LONGITUDINALES, SEGÚN ACI 318-19.....	49
ECUACIÓN 3-25 - PERALTE EFECTIVO EN MOMENTO NEGATIVO PARA RECRECIDO .....	51
ECUACIÓN 3-26 - TENSIÓN DEL ACERO.....	56
ECUACIÓN 3-27 - ÁREA DEL CONCRETO .....	56
ECUACIÓN 3-28 - ÁREA DEL PATÍN .....	57
ECUACIÓN 3-29 - COMPROBACIÓN DE CORTANTE, SEGÚN ACI 318-19 .....	65
ECUACIÓN 3-30 - DESPEJE DE VARIABLES PARA FUNCIÓN CUADRÁTICA.....	71
ECUACIÓN 3-31 - ECUACIÓN CUADRÁTICA.....	72
ECUACIÓN 3-32 - DEFORMACIÓN UNITARIA DEL ACERO A COMPRESIÓN .....	73
ECUACIÓN 3-33 - DEFORMACIÓN UNITARIA DE ACERO A TENSIÓN .....	73
ECUACIÓN 3-34 - ESFUERZO DEL ACERO .....	73
ECUACIÓN 3-35 - AS2 PARA EQUILIBRIO EN VIGA.....	73
ECUACIÓN 3-36 - AS1 PARA EQUILIBRIO EN VIGAS .....	74
ECUACIÓN 3-37 MOMENTO EN VIGA DOBLEMENTE REFORZADAS .....	74
ECUACIÓN 3-38 - CENTRO DE GRAVEDAD ENTRE BARRAS PARA RECRECIDO EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS .....	76
ECUACIÓN 3-39 - DISTANCIA EN LA QUE SE PRODUCE UNA DEFORMACIÓN UNITARIA A COMPRESIÓN EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS .....	85
ECUACIÓN 3-40 - ÁREA DE SECCIÓN DE COLUMNA.....	88
ECUACIÓN 3-41 - PO DE COLUMNA CON SOLICITACIÓN AXIAL, SEGÚN ACI 318-19 .....	88
ECUACIÓN 3-42 - $\emptyset$ PO PARA COLUMNAS CON SOLICITACIÓN AXIAL ,SEGÚN ACI 318-19.....	89
ECUACIÓN 3-43 - DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO LONGITUDINAL MÁXIMO Y MÍNIMO, SEGÚN ACI 318-19.....	91
ECUACIÓN 3-44 -SEPARACIÓN DE REFUERZO SECUNDARIO EN COLUMNAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	92
ECUACIÓN 3-45 - COMPROBACIÓN DE CORTANTE EN SU SECCIÓN TRANSVERSAL, COLUMNAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	95
ECUACIÓN 3-46 - Cc (COMPRESIÓN DEL CONCRETO) .....	97
ECUACIÓN 3-47 - C's (COMPRESIÓN DEL ACERO).....	98
ECUACIÓN 3-48 - Ts (TENSIÓN DEL ACERO) .....	98
ECUACIÓN 3-49 - $\emptyset$ PN DE COLUMNA CON SOLICITACIÓN UNIAXIAL .....	99
ECUACIÓN 3-50 - MOMENTO PARA COLUMNAS CON SOLICITACIÓN UNIAXIAL.....	99
ECUACIÓN 3-51 - EQUILIBRIO DE FUERAS C=T .....	102
ECUACIÓN 3-52 - $\emptyset$ PN PARA COLUMNAS UNIAXIAL CON RECRECIDO .....	102
ECUACIÓN 3-53 - MOMENTO PARA COLUMNAS CON RECRECIDO.....	103
ECUACIÓN 3-54 - ÁREA DE ACERO PROPUESTA EN COLUMNAS PARA DISTRIBUCIÓN DE BARRAS EN COMPRESIÓN Y TENSIÓN ..	104
ECUACIÓN 3-55 - DISTRIBUCIÓN DE ACERO EN COLUMNAS PARA RECRECIDO EN DIRECCIÓN X-X.....	104
ECUACIÓN 3-56 - DISTRIBUCIÓN DE BARRAS PARA RECRECIDO EN COLUMNAS DIRECCIÓN Y-Y .....	105

ECUACIÓN 3-57 - RELACIÓN DE MOMENTO PARA CURVATURA SIMPLE EN COLUMNAS ESBELTAS, SEGÚN ACI 318-19 .....	107
ECUACIÓN 3-58 - FACTOR DE AMPLIFICACIÓN DE MOMENTOS EN COLUMNAS ESBELTAS, SEGÚN ACI 318-19.....	108
ECUACIÓN 3-59 - $M_{2MÍN}$ , CONDICIONAL DE ACTOR DE AMPLIFICACIÓN DE MOMENTOS PARA COLUMNAS ESBELTAS, SEGÚN ACI 318-19.....	108
ECUACIÓN 3-60 - MOMENTO SOLICITANTE CON FACTOR DE AMPLIFICACIÓN, PARA COLUMNAS ESBELTAS, SEGÚN ACI 319-19 .....	109
ECUACIÓN 3-61 - DEFORMACIONES UNITARIAS A COMPRESIÓN CON RECRECIDO EN COLUMNAS BIAXIALES .....	110
ECUACIÓN 3-62 - DEFORMACIONES UNITARIAS A TENSIÓN EN RECRECIDO PARA COLUMNAS BIAXIALES .....	111
ECUACIÓN 3-63 - $C's$ (COMPRESIÓN DEL ACERO EN RECRECIDO PARA COLUMNAS BIAXIALES) .....	111
ECUACIÓN 3-64 - (TENSIÓN DEL ACERO EN RECRECIDO PARA COLUMNAS BIAXIALES).....	112
ECUACIÓN 3-65 - $\phi_{PN}$ PARA COLUMNAS UNIAXIAL CON RECRECIDO .....	112
ECUACIÓN 3-66 - ECUACIÓN DE BRESLER O MÉTODO DE LA CARGA INVERSA.....	114
ECUACIÓN 3-67 - ÁREA DE ACERO A COLOCAR EN DIRECCIÓN X-X EN RECRECIDO PARA COLUMNAS BIAXIALES.....	115
ECUACIÓN 3-68 - ÁREA DE ACERO A COLOCAR EN DIRECCIÓN Y-Y EN RECRECIDO PARA COLUMNAS BIAXIALES. ....	115
ECUACIÓN 3-69 - DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO POR CONTRACCIÓN Y TEMPERATURA, SEGÚN ACI 318-19 .....	121
ECUACIÓN 3-70 - CORTANTE SÍSMICO EN VIGAS .....	123
ECUACIÓN 3-71 - MOMENTO PROBABLE PARA FLEXIÓN POSITIVA .....	123
ECUACIÓN 3-72 - MOMENTO PROBABLE PARA FLEXIÓN NEGATIVA.....	124
ECUACIÓN 3-73 - FACTOR SÍSMICO AL CÁLCULO DE BLOQUE A COMPRESIÓN .....	124
ECUACIÓN 3-74 - SEPARACIÓN SÍSMICA MÍNIMA 2H A CORTANTE PARA VIGAS .....	124
ECUACIÓN 3-75 - SEPARACIÓN SÍSMICA A CORTANTE AL RESTO DEL CLARO PARA VIGAS.....	125
ECUACIÓN 3-76 - CORTANTE SÍSMICO EN COLUMNAS .....	126
ECUACIÓN 3-77 - DISTANCIA PARA SEPARACIÓN MÍNIMA DE CORTANTE SÍSMICO EN COLUMNAS .....	126
ECUACIÓN 3-78 - SEPARACIÓN MÍNIMA A CORTANTE SÍSMICO EN COLUMNAS AL RESTO DEL CLARO .....	127

# LISTA DE SIMBOLOS

$A_{patin}$  = Área de sección bruta del patin de la viga,  $in^2$

$A_{alma}$  = Área de sección bruta del alma de la viga,  $in^2$

$A_{sección}$  = Área de sección bruta de un elemento estructural

$As$  = Área de refuerzo longitudinal no preesforzado a tracción,  $in^2$

$As'$  = Área del refuerzo a compresión,  $in^2$

$As_{min}$  = Área mínima de refuerzo a tracción,  $in^2$

$As_{Distribución}$  = Área de acero a distribuir en zona de tracción luego del cálculo recocado de hormigón,  $in^2$

$As_{propuesto}$  = Propuesta de de acero a distribuir en zona de tracción para calculo del cálculo recocado de hormigón,  $in^2$

$As_{tracción y temperatura}$  = Área del refuerzo a tracción y temperatura,  $in^2$

$A_v$  = Área de refuerzo de cortante,  $in^2$

$A_{vmin}$  = Área mínima de refuerzo para cortante,  $in^2$

$a$  = Profundidad del bloque rectangular equivalente de esfuerzos,  $in$

$Bp$  = Brazo de palanca

$bf$  = longitud efectiva del ala,  $in$

$bw$  = Ancho de la cara de compresión del miembro

$c$  = Distancia medida desde la fibra extrema en compresión al eje neutro,  $in$

$C_c$  = Recubrimiento libre de refuerzo,  $in$

$C's$  = Compresión del concreto

$C_m$  = Factor que relaciona el diagrama real de momentos con un diagrama equivalente de momento uniforme

$d$  = Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide de refuerzo longitudinal en tracción, in

$d'$  = Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide de refuerzo longitudinal en compresión, in

$d_t$  = Distancia para deformación unitaria desde centro de barra en tracción hasta cumbre del elemento

$E_s$  = Módulo de elasticidad del refuerzo y del acero estructural, excluyendo el refuerzo preesforzado, Psi

$\epsilon_{ty}$  = Valor de la deformación unitaria neta a tracción en el acero longitudinal extremo en tracción

$\epsilon_t$  = Deformación unitaria neta a tracción en el acero longitudinal extremo en tracción

$\epsilon_t'$  = Deformación unitaria neta a tracción en el acero longitudinal extremo en compresión

$f_y$  = Resistencia especificada a la fluencia del refuerzo no preesforzado, Psi

$f'_c$  = Resistencia especificada a la compresión del concreto, Psi

$\sqrt{f'_c}$  = Raíz cuadrada resistencia especificada a la compresión del concreto, Psi

$f_s$  = Esfuerzo en el refuerzo calculado para las cargas de servicio, excluyendo el refuerzo preesforzado, Psi

$h$  = Espesor total o altura de un miembro, in

$h_x$  = Espaciamiento máximo, medido de centro a centro entre barras longitudinales

$h_f$  = espesor efectiva del ala, in

$l_n$  = Luz libre medida entre caras de los apoyos, in

$l_n$  = Luz libre medida entre caras de los apoyos, in

$l_u$  = Longitud sin soporte lateral de una columna o muro, in

$M_1$  = El menor momento mayorado de uno de los extremos de un miembro a compresión, debe tomarse positivo si el miembro presenta curvatura simple, negativo si tiene curvatura doble,  $Lb * in$

$M_2$  = El mayor momento mayorado de uno de los extremos de un miembro a compresión, debe tomarse positivo si el miembro presenta curvatura simple, negativo si tiene curvatura doble,  $Lb * in$

$M_n$  = Resistencia nominal a flexión en la sección,  $Lb * in$

$M_u$  = Momento mayorado en la sección,  $Lb * in$

$M_{2min}$  = Valor mínimo de  $M_2$ ,  $Lb * in$

$M_{pr}$  = Resistencia probable a flexión de los miembros, con o sin carga axial

$M_c$  = Momento mayorado amplificado por los efectos de curvatura del miembro para usarse en el diseño de un miembro a compresión,  $Lb * in$

$N_u$  = Carga axial mayorada nominal a la sección transversal, debe tomarse positiva para compresión y negativa para tracción

$P_c$  = Carga crítica de pandeo,  $Lb$

$P_o$  = Resistencia nominal para una excentricidad igual a cero, Lb

$P_n$  = Resistencia nominal a carga axial de la sección transversal

$P_u$  = Fuerza axial mayorada, Lb

$S$  = Espaciamiento medido centro a centro de acero longitudinal como transversal

$T$  = Tensión del acero

$T_s$  = Tensión del acero en deformaciones unitarias, equilibrio de fuerzas

$V_c$  = Esfuerzo correspondiente a la resistencia nominal a cortante de dos direcciones proporcionada por el concreto, también considerado  $V_e$

$V_u$  = Esfuerzo máximo de cortante de dos direcciones mayorado calculado al rededor del perímetro de una sección dada

$V_s$  = Esfuerzo equivalente del concreto correspondiente a la resistencia nominal a cortante en dos direcciones proporcionado por el esfuerzo

$V_n$  = Esfuerzo equivalente del concreto correspondiente a la resistencia nominal a cortante

$\rho_w$  = Cuantía del área de refuerzo  $A_s$  evaluada sobre el área  $b_w d$

$\beta_1$  = Factor que relaciona la profundidad de bloque rectangular equivalente de esfuerzos de compresión con la profundidad del eje neutro

$\phi$  = Factor de reducción de resistencia

$\lambda$  = Factor de modificación que tiene en cuenta las propiedades mecánicas reducidas del concreto de peso liviano, relativa a los concretos de peso normal de igual  $f'c$

$\lambda_s$  = Factor de modificación que tiene en cuenta la reducción de las propiedades mecánicas del concreto liviano

$\delta$  = Factor de magnificación de momento para tener en cuenta los efectos de la curvatura entre los extremos del miembro en compresión

# **CAPITULO I: *DISPOSICIONES GENERALES***

## **1.1. Introducción**

Actualmente existen muchas empresas que han desarrollado diversos softwares dedicados al análisis y diseño estructural siendo estos de mucho apoyo al sector de construcción en todo el mundo. A través de estos programas se ha logrado minimizar el tiempo al momento de llevar a cabo el análisis y el diseño de un sistema estructural próximo a ejecutar, además de la obtención de resultados de mayor exactitud.

Compañías como CSI (Computers & structures Inc.) y Autodesk, son las principales marcas en el desarrollo de softwares para el análisis y el diseño estructural, entre sus programas destacan SAP2000 y Robot Structural respectivamente. Estos softwares tienen la capacidad de analizar distintos tipos de estructuras con formas poco convencionales y aplicar distintos métodos basados en códigos según corresponda el caso, sin embargo, no pueden realizar el diseño de un reforzamiento estructural externo llevado a cabo en un elemento que sufrirá un aumento de cargas en su uso, lo que conocemos en la construcción como “encamisado”.

En esta investigación se planteará el proceso lógico para el desarrollo de un software en el lenguaje C++ utilizando Visual Studio 2019, el cual sea capaz de diseñar un reforzamiento estructural externo aplicado a elementos que sufran una modificación en las cargas soportadas, todo esto basado en los métodos y requerimientos establecidos según ACI 318-19 y ACI 562-19. Así mismo, se abordarán los fundamentos teóricos y prácticos de los métodos utilizados. El software validará su utilidad como herramienta de diseño estructural a través de comparar sus resultados con SAP2000.

## **1.2 Antecedentes**

Desde inicios del nuevo milenio se tiene constancia de tesis que indagan y aplican el método recrecido de hormigón basándose en “Técnicas de reforzamiento de estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales” el cual, implementa diferentes alternativas a mejoras del desempeño de elementos estructurales de concreto reforzado para zapatas, vigas, columnas y losa. (Tuk, 2010).

La necesidad de que existiese un reglamento que controle las alternativas de reforzamiento estructural enfocado para reparar y rehabilitar, parte del comité ACI 562M-13 “Evaluation, Repair, and Rehabilitation of concrete buildings”, siendo uno de las principales normativas que realiza evaluación del desempeño de mejoras, diseño y construcción de elementos estructurales para el concreto reforzado (ACI Committee 562, 2013),

Se han implementado otros estudios investigativos basados en las normativas de diseño y mejoramiento antes mencionadas para el reforzamiento estructural, uno de ellos denominado como “Intervención de refuerzos estructurales en edificios existentes sometidos a flexión (Ahijón, 2016). Los softwares implementados en la actualidad fueron desarrollados por Sika y MAPEI “Software de diseño Sika CarboDur Basado en ACI 440.2R-8” (Sika Colombia, 2015), “Refuerzo estructural con FRP system” (Mapei, 2019), estos permiten realizar recrecidos mediante materiales fibrorreforzados de matriz polimérica (FRP) basado en consistentes en una matriz de naturaleza orgánica (resina epoxídica).

Así mismo, se necesita otros códigos que complementen al ACI 562M-13, siendo ACI 318-19 “Building Code Requirements for Structural Concrete” (ACI Committee 318, 2019), quien regula el diseño de elementos constructivos de concreto reforzado.

### **1.3. Justificación**

Los softwares más actuales tienen la capacidad de llevar a cabo análisis y diseños de estructuras complejas basándose en el método de elementos finitos y tomando en cuenta las cargas que este soportará, dichas cargas están en dependencia de la utilidad, sin embargo, esta última puede ser modificada una vez realizado el proyecto y es aquí donde se necesita de un nuevo diseño que cumpla los requerimientos de un reforzamiento estructural externo.

Para realizar un reforzamiento a vigas y columnas de concreto existen varios métodos empleados desde la antigüedad, sin embargo uno de los métodos que tiene mayor compatibilidad con este tipo de elementos de los sistemas estructurales conformados por pórticos, es el método de encamisado de la sección utilizando concreto armado, debido a que son del mismo material, sus propiedades físico-químicas no se ven alteradas y la transmisión de cargas es más eficiente, dando respuesta a las solicitaciones de compresión y de momentos, por el requerimiento de alteraciones provocadas debido al cambio de uso de la edificación (incremento de carga), sismos, modificación en planta, errores de cálculo o errores en la ejecución del proyecto y cambios de reglamento. (Julie Ayala M. , 2018).

Desarrollando un software que lleve a cabo el diseño para un reforzamiento estructural externo se conseguirá disminuir los tiempos al momento de realizar cálculos manuales y se mejorará la exactitud de estos, siendo la idea principal lograr que las nuevas cargas que sean implementadas puedan ser soportadas sin riesgo de fallas, prologando, mejorando y haciendo efectivo el uso al cual está siendo proyectado el edificio.

## **1.4. Objetivos**

### 1.4.1. Objetivo General

- Desarrollar un software capaz de diseñar el reforzamiento estructural externo en vigas, columnas y losas en una dirección de concreto reforzado aplicando el método recrecido de hormigón según normas constructivas ACI 318-19 y ACI 562-19.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Describir los fundamentos teóricos y los requerimientos constructivos del método recrecido de hormigón en el reforzamiento estructural externo de vigas, columnas y losas en una dirección.
- Ejemplificar manualmente la secuencia de cálculos y requerimientos que establece el método recrecido de hormigón según ACI 562-19.
- Desarrollar el proceso lógico para la codificación en el lenguaje “C++” que ejecutará el software elaborado.
- Validar la eficiencia a través de la comparación de resultados entre distintos casos de estudios y el software desarrollado.
- Elaborar un manual de usuario para la facilitación del manejo de la interfaz del software desarrollado.

**CAPITULO II: *FUNDAMENTOS TEÓRICOS  
DEL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN  
Y REQUERIMIENTOS SEGÚN ACI 318-19 Y  
ACI 562-19***

## **2.1. Concreto estructural reforzado**

El concreto es una mezcla de arena, grava, roca triturada, u otros agregados unidos en una masa rocosa por medio de una pasta de cemento y agua. En ocasiones, uno o más aditivos se agregan para cambiar ciertas características del concreto, tales como la ductilidad, durabilidad y tiempo de fraguado. Al igual que la mayoría de los materiales pétreos, el concreto tiene una alta resistencia a la compresión y una muy baja resistencia a la tensión. El concreto reforzado es una combinación de concreto y acero en la que el refuerzo de acero proporciona la resistencia a la tensión de que carece el concreto. El acero de refuerzo es también capaz de resistir fuerzas de compresión y se usa en columnas, así como en otros miembros estructurales. (Brown, 2011).

### **2.1.1. Ventajas del concreto reforzado frente a otros materiales**

- ✓ Es durable a lo largo del tiempo y no requiere de una gran inversión para su mantenimiento. Tiene una vida útil extensa.
- ✓ Tiene gran resistencia a la compresión en comparación con otros materiales.
- ✓ Es resistente al efecto del agua.
- ✓ En fuegos de intensidad media, el concreto armado sufre daños superficiales si se provee un adecuado recubrimiento al acero. Es más resistente al fuego que la madera y el acero estructural.
- ✓ Se le puede dar la forma que uno desee haciendo uso del encofrado adecuado.
- ✓ Les confiere un carácter monolítico a sus estructuras lo que les permite resistir más eficientemente las cargas laterales de viento o sismo.
- ✓ No requiere mano de obra muy calificada.
- ✓ Su gran rigidez y masa evitan problemas de vibraciones en las estructuras erigidas con él.
- ✓ En la mayoría de lugares, es el material más económico.
- ✓ Por su gran peso propio, la influencia de las variaciones de cargas móviles es menor. (Harmsen, 2002).

## 2.2. Cargas

La tarea más importante y difícil encarada por el proyectista de estructuras es la estimación precisa de las cargas que pueden aplicarse a una estructura durante su periodo de vida útil. No pueden dejar de considerarse cargas que puedan presentarse con cierta probabilidad razonable (Brown, 2011).

### 2.2.1. Variabilidad de las cargas

Las principales solicitaciones o acciones exteriores a que puede estar sujeta una estructura son: cargas estáticas debido a peso propio, a cargas vivas y a cargas permanentes, así como cargas dinámicas impuestas por un sismo, por la presión de un viento o por la aplicación repetida de cargas vivas (Villegas, 2005). Debido a que la carga máxima que va a ocurrir durante la vida de una estructura es incierta, ésta puede considerarse como una variable aleatoria. A pesar de esta incertidumbre, el ingeniero debe diseñar una estructura adecuada (Nilson, 1999).

En algunos casos las cargas en una estructura varían por un cambio de uso de la misma, es decir, cuando una estructura fue diseñada para un propósito (ejem: para un hotel) y el propietario decide cambiar dicho uso, esto implica que se rediseñe la estructura analizando las nuevas cargas para que esta logre soportar los nuevos requerimientos estructurales (Aldo de Jesus Guillermo La Torre, 2019).

### 2.2.2. Cargas muertas

Las cargas muertas son cargas de magnitud constante que permanecen en un mismo lugar. Incluyen el peso propio de la estructura en estudio, así como también cualesquiera elementos que están permanentemente unidos a ella. En un edificio con estructura de concreto reforzado, algunas de las cargas muertas son los marcos, muros, pisos, cielos rasos, escaleras, techos y plomería (Brown, 2011).

### 2.2.3. Cargas vivas

Las cargas vivas son todas las demás cargas que no son cargas muertas. Pueden ser estables o inestables o móviles o en movimiento; se pueden aplicar lenta, repentinamente, vertical o lateralmente, y sus magnitudes pueden fluctuar con el tiempo. (M. Nadim Hassoun, 2020).

En general, las cargas vivas incluyen lo siguiente:

- ✓ Cargas de ocupación causadas por el peso de las personas, muebles y mercancías.
- ✓ Fuerzas resultantes de la acción del viento y cambios de temperatura.
- ✓ Fuerzas dinámicas resultantes de cargas en movimiento (impacto), terremotos. (M. Nadim Hassoun, 2020)

### 2.2.4. Cargas ambientales

Las cargas ambientales son cargas causadas por el medio ambiente en el cual se encuentra la estructura. Para edificios, son causadas por viento, cambios de temperatura y terremotos. Estrictamente hablando, son también cargas vivas, pero son el resultado del ambiente en el que la estructura se encuentra. (Jack C. McCormac, 2018)

- ✓ Cargas sísmicas: Muchas zonas del mundo están en territorio sísmico y en tales zonas es necesario considerar fuerzas sísmicas en el diseño de todos los tipos de estructuras. A través de los siglos han habido fallas catastróficas en edificios, puentes y otras estructuras durante los sismos.
- ✓ Viento: Una revisión de la literatura técnica de ingeniería durante los pasados 150 años revela muchas referencias a fallas estructurales causadas por el viento. (Jack C. McCormac, 2018)

### **2.3. Diseño estructural**

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada (Villegas, 2005).

Para que una estructura cumpla sus propósitos debe ser segura contra el colapso y funcional en condiciones de servicio. La funcionalidad requiere que las deflexiones sean pequeñas, que las fisuras, si existen, se mantengan en límites tolerables, que las vibraciones se minimicen. La seguridad requiere que la resistencia de la estructura sea la adecuada para todas las cargas que puedan llegar a actuar sobre ella. Además, para la definición de las especificaciones de seguridad deben considerarse las consecuencias de la falla. En algunos casos, una falla puede llegar a ser simplemente un inconveniente. En otros casos, pueden estar involucradas pérdidas de vidas o pérdidas significativas en la propiedad. (Nilson, 1999).

#### **2.3.1. Dimensionamiento de elementos de concreto reforzado**

Se entiende por dimensionamiento la determinación de las propiedades geométricas de los elementos estructurales y de la cantidad y posición del acero de refuerzo. El procedimiento de dimensionamiento tradicional, basado en esfuerzos de trabajo, consiste en determinar los esfuerzos correspondientes a acciones interiores obtenidas de un análisis elástico de la estructura, bajo sus supuestas acciones de servicio. Estos esfuerzos se comparan con esfuerzos permisibles, especificados como una fracción de las resistencias del concreto y del acero. Se supone que así se logra a la par, un comportamiento satisfactorio en condiciones de servicio y un margen razonable de seguridad (Villegas, 2005).

#### **2.3.2. Diseño convencional de vigas**

Son frecuentes los elementos estructurales sujetos a flexión, tales como vigas o losas que trabajan en una sola dirección. Generalmente la flexión se presenta acompañada de fuerza cortante. Sin embargo, la resistencia a flexión puede estimarse con suficiente precisión despreciado el efecto de la fuerza cortante (Villegas, 2005).

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * F_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

Ecuación 2-1- Momento vigas, según ACI 318-19

El cortante nominal se obtendrá de la tabla 22.5.5.1 del código ACI 318-19:

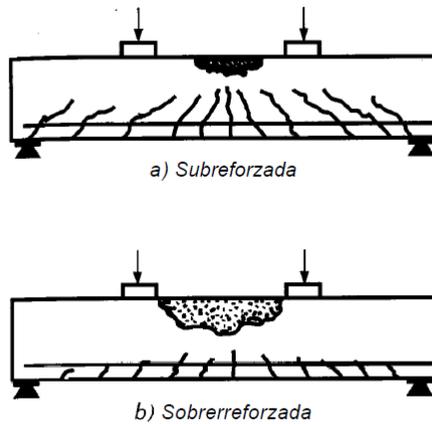
Criterio	$V_c$	
$A_v \geq A_{v_{\min}}$	Cualquiera de los dos	$\left( 2 * \lambda * \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * b_w * d$
		$\left( 8 * \lambda * (\rho_w)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * b_w * d$
$A_v < A_{v_{\min}}$	$\left( 8 * \lambda_s * \lambda * (\rho_w)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{f'_c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * b_w * d$	

Ilustración 2-1- Condicional para  $V_c$ , según ACI 318-19

Nota:  $N_u$  es positivo para compresión y negativo para tracción.

Según la cantidad de acero longitudinal con que está reforzada la pieza, éste puede fluir o no antes de que se alcance la carga máxima. Cuando el acero fluye, el comportamiento del miembro es dúctil; es decir, se producen deflexiones considerables antes del colapso final.

Como se muestra en la figura. En este caso se dice que el elemento es sub reforzado. Por otra parte, si la cantidad de acero longitudinal de tensión es grande, éste no fluye antes del aplastamiento y se dice entonces que el elemento es sobre reforzado. Puede suceder que el elemento alcance su resistencia precisamente cuando el acero empieza a fluir. En este caso se dice que el elemento es balanceado (Villegas, 2005).



*Ilustración 2-2- Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión*

### 2.3.3. Diseño convencional de columnas

Las columnas se definen como elementos que sostienen principalmente cargas a compresión.

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.2 y 22.4.2.1 se conocerá:

$$P_o = 0.85 * f_c' * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

*Ecuación 2-2 - Carga axial columnas, según ACI 318-19*

Según ACI 318- 19 en la tabla 21.2.2.se conocerá la carga axial de diseño a través del factor de reducción de resistencia:

$$P_n = 0.65 * (0.8 * P_o)$$

*Ecuación 2-3 - Factor de reducción para carga axial columnas, según ACI 318-19*

Donde el cortante seguirá la sección tabla 22.5.5.1 del código ACI 318-19 abordado en 2.3.2 del presente capítulo, las columnas también soportan momentos flectores con respecto a uno o a los dos ejes de la sección transversal y esta acción de flexión puede producir fuerzas de tensión sobre una parte de la sección transversal. Aun en estos casos, se hace referencia a las columnas como elementos a compresión puesto que las fuerzas de compresión dominan su comportamiento (Nilson, 1999).

Las columnas llegan a la falla debido a tres casos: por fluencia inicial del acero en la cara de tensión, por aplastamiento del concreto en la cara en compresión o por pandeo (Morales). Las columnas de concreto reforzado se denominan columnas con estribos o zunchadas (con espirales), dependiendo del método usado para apuntalar lateralmente o sujetar en su lugar a las varillas (Brown, 2011).

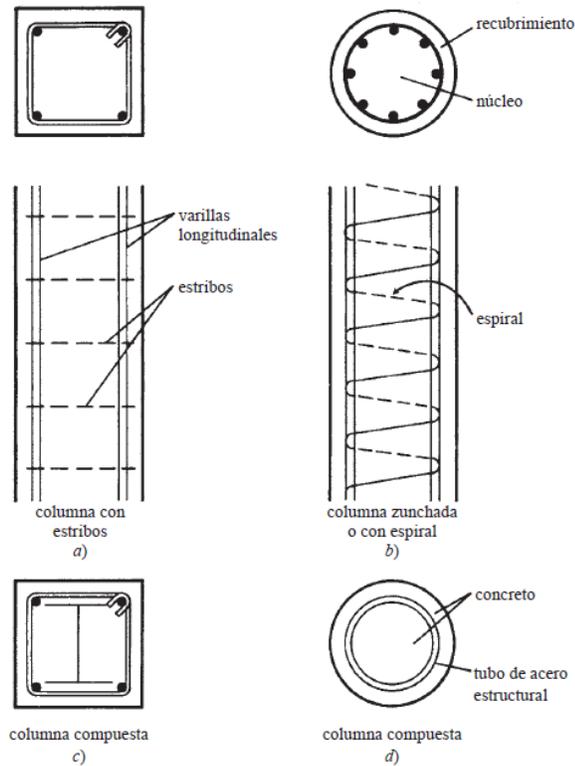
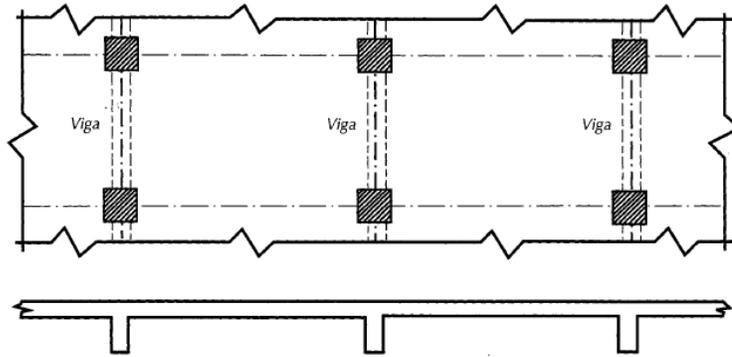


Ilustración 2-3 - Tipos de columna

#### 2.3.4. Diseño convencional de losas en una dirección

Las losas son elementos estructurales cuyas dimensiones en planta son relativamente grandes en comparación con su peralte. Las acciones principales sobre las losas son cargas normales a su plano, ya que se usan para disponer de superficies útiles horizontales como los pisos de edificios o las cubiertas de puentes (Villegas, 2005).



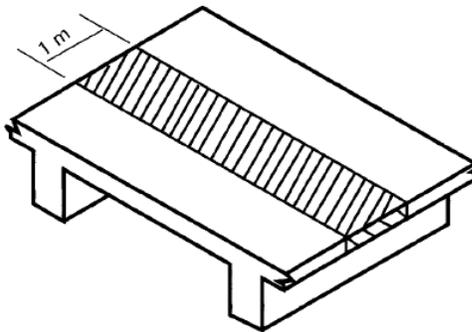
*Ilustración 2-4 - Losa en una dirección*

Se hace la suposición de que una losa en una dirección es una viga rectangular con una relación grande de ancho a longitud.

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * F_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

*Ecuación 2-4 - Momento nominal en losa unidireccional - según ACI 318-19*

Normalmente, una porción de 1 metro de ancho de la losa se diseña como una viga (véase la figura 4), suponiendo que la losa consiste en una serie de tales vigas colocadas una al lado de la otra (Brown, 2011).



*Ilustración 2-5 - Franja unitaria que actúa como viga de un metro de ancho*

### 2.3.5. Diseño sísmico de vigas

El reforzamiento a través del método recrecido de hormigón para elementos sísmicos se basa completamente en el cortante el cual según ACI 318-19 sección 18.6.5.2:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_n} \mp V_u$$

*Ecuación 2-5 - Cortante sísmico en vigas, Según ACI 318-19*

$$M_{pr} = \left( A_s * 1.25 * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

*Ecuación 2-6 - Momento probable en vigas, según ACI 318-19*

Al aumentar la resistencia a la flexión de vigas y columnas se puede aumentar el cortante en estos elementos si la estructura se ve sometida a carga lateral severa. (Nilson, 1999).

#### 2.3.6. Diseño sísmico de columnas

De acuerdo con el Código ACI, disposiciones de cortante similares a las usadas en también se deben aplicar a elementos con cargas axiales mayores (Nilson, 1999), según ACI 318-19 sección 18.6.5.2:

$$V_e = \frac{M_{pr1} + M_{pr2}}{l_u}$$

*Ecuación 2-7 - Cortante sísmico en columnas, según ACI 318-19*

## 2.4. Intervención de refuerzo en estructuras de concreto reforzado

### 2.4.1. Refuerzo estructural

Es la modificación de una estructura o elemento de ella, con el fin de aumentar su capacidad resistente o su estabilidad por encima de los niveles para los que fue originalmente diseñada y ejecutada. Para la realización de un refuerzo no es necesario que la estructura o elemento estructural estén dañados (Julie Ayala M. G., 2018).

### 2.4.2. Refuerzo estructural con recrecido de hormigón según ACI 562-19

La sección 7.5.1 del ACI 562-19, hace mención que se debe permitir que los materiales de una estructura permanezcan si dichos materiales funcionan satisfactoriamente, seguidamente en la sección 8.1.3, los materiales y métodos de reparación se seleccionarán para ser compatible con la estructura y dentro del entorno de servicio. Así mismo en su sección 8.2.1, el recrecido de hormigón

debe estar de acuerdo con su código de base de diseño. (ACI Committee 562, 2019).

#### 2.4.3. Refuerzo estructural con recrecido de hormigón según ACI 318-19

La sección 22.3.3.1 hace referencia a los miembros compuestos de concreto, construidos en etapas diferentes, pero interconectados de tal manera que resistan las cargas como una sola unidad, así mismo, en 22.3.3.2 se puede usar la sección compuesta total para calcular  $M_n$  en losas y vigas de concreto compuestas. (ACI Committee 318, 2019)

De esta forma, en la sección 22.5.4.4, donde se considere que el cortante vertical, es resistido por todo el miembro compuesto, se debe diseñar como si se tratase de un miembro con la misma sección transversal, construido monolíticamente y así mismo, en 22.5.4.5 se debe considerar  $V_s$  como 22.5.4.4. (ACI Committee 318, 2019)

#### 2.4.4. Mantenimiento

Involucra a cualquier actividad o trabajo, incluyendo la inspección, necesaria para permitir a una estructura continuar cumpliendo la función para la que ha sido concebida, o para mantener su aspecto original. Es un conjunto de actuaciones de reducido alcance, a menudo de índole preventiva, tendentes a corregir errores detectados y a evitar que lleguen a cuestionar la seguridad de la estructura (Kenalieva, 2011).

#### 2.4.5. Rehabilitación

Intervención en una estructura para que vuelva a estar en funcionamiento luego de recibir el impacto de un evento muy fuerte. Muchas veces los sismos son de intensidad 8 a más lo cual puede generar que las viviendas afectadas sean inhabitables. Ante esto se requeriría una rehabilitación total de toda la estructura. (Aldo de Jesus Guillermo La Torre, 2019)

#### 2.4.6. Cambio de uso

Cuando una estructura fue diseñada para un propósito (ejemplo: para un hotel) y el propietario decide cambiar dicho uso. Esto implicaría que se rediseñe la estructura analizando las nuevas cargas para que está logre soportar los nuevos requerimientos estructurales. (Aldo de Jesus Guillermo La Torre, 2019)

### 2.5. Técnicas de reforzamiento estructural

La rehabilitación de un edificio se puede llevar a cabo después de un evento sísmico que haya ocasionado daños, en cuyo caso, el trabajo se efectúa para mejorar el comportamiento estructural de los elementos dañados. También se puede efectuar en estructuras no dañadas como anticipación de futura actividad sísmica. (Soto, 2008)

#### 2.5.1. Refuerzo mediante recrecido con hormigón armado

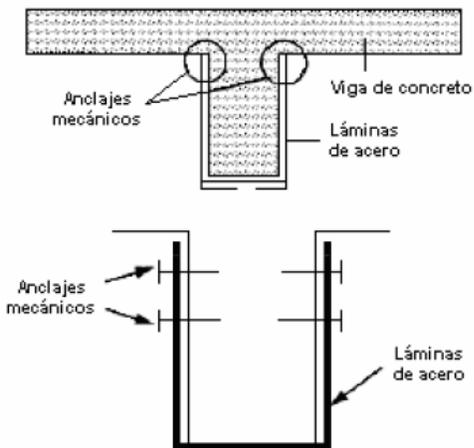
Este sistema presenta la ventaja de una gran compatibilidad entre el material original y el de refuerzo, así como una amplia superficie de contacto entre ambos, que posibilita la necesaria transferencia de esfuerzos. Asimismo, es posible aumentar considerablemente la sección de hormigón e incorporar una considerable cuantía de nuevas armaduras que, en caso necesario, pueden conectarse con las armaduras originales mediante algún tipo de anclaje. (Julie Ayala M. , 2018)



*Ilustración 2-6 - Reforzamiento estructural aplicando el método recrecido de hormigón*

### 2.5.2. Refuerzo mediante perfiles metálicos

Consiste en unir uno o varios perfiles metálicos al elemento original de hormigón armado de modo que se transforme en un elemento mixto. Constructivamente, el refuerzo mediante perfiles metálicos presenta menos dificultades que el recrecido con hormigón. Por ello, los costes de los refuerzos mediante perfiles son generalmente inferiores a los realizados mediante recrecido con hormigón armado. (Julie Ayala M. , 2018)



*Ilustración 2-7 - Refuerzo estructural mediante perfiles metálicos*



*Ilustración 2-8 - Aplicación de perfiles metálicos para reforzamiento estructural*

### 2.5.3. Refuerzo mediante láminas sintéticas reforzadas con fibras (FRP)

Los materiales compuestos (fiber reinforced polymers, por sus siglas en inglés FRP) son una combinación de fibras de carbono o vidrio y una matriz epóxica. Las fibras son las que aportan la capacidad de carga mientras que la matriz

epóxica sirve para unir las fibras entre sí, permitiendo la transferencia de cargas entre ellas y además las protege del medio ambiente.

El encamisado con FRP se utiliza para aumentar la resistencia a cortante y para mejorar el confinamiento en la zona plástica de las columnas. Los objetivos del encamisado con FRP son: reforzamiento a cortante, reforzamiento a flexión, reforzamiento a compresión (por ductilidad), y mejorar la durabilidad. (Soto, 2008)



*Ilustración 2-9 - Refuerzo estructural mediante FRP*

#### 2.5.4. Factores que afectan la elección de la técnica de reforzamiento

- ✓ Costo contra importancia de la estructura.
- ✓ Disponibilidad de mano de obra.
- ✓ Duración del trabajo/interrupción en el uso.
- ✓ Objetivos de diseño.
- ✓ Reversibilidad de la rehabilitación.
- ✓ Funcionalidad y estética compatibles con el edificio existente.
- ✓ Control de calidad.
- ✓ Significado histórico y/o político.
- ✓ Compatibilidad estructural con el sistema del edificio existente.
- ✓ Irregularidades de rigidez, resistencia y ductilidad.
- ✓ Suficiente rigidez local, resistencia y ductilidad.
- ✓ Control de daños en elementos no estructurales.
- ✓ Capacidad de la cimentación.

- ✓ Disponibilidad de la tecnología y materiales de reparación. (Soto, 2008).

#### 2.5.5. Selección de materiales

La selección del material más adecuado para el programa de rehabilitación generalmente es el paso más importante. Los materiales más utilizados son las resinas, concreto, mortero y lechadas, así como acero de refuerzo (Soto, 2008).

- ✓ Las propiedades de los materiales de reparación tienen que ser similares a las propiedades del material existente para evitar sobrecargas en los materiales viejos.
- ✓ En el caso donde se utilice concreto nuevo para reparar al elemento, la resistencia a compresión del concreto debe ser al menos igual a la del concreto existente.
- ✓ La resistencia a compresión y a cortante deben ser adecuadas para resistir los esfuerzos aplicados.
- ✓ El material de reparación debe ser de calidad.
- ✓ Se debe promover compatibilidad entre los materiales utilizados en la rehabilitación.

### **2.6. Metodología constructiva para el método recrecido de hormigón**

Una de las opciones para reforzar un elemento estructural de hormigón armado consiste en recrecerlo envolviéndolo con una sección adicional de hormigón convenientemente armado. Este sistema presenta la ventaja de una gran compatibilidad entre el material original y el de refuerzo, así como una amplia superficie de contacto entre ambos, que posibilita la necesaria transferencia de esfuerzos, el resultado final es un elemento notablemente monolítico, capaz de incrementar notablemente la resistencia y rigidez del elemento original (Kenaliev, 2011).

#### 2.6.1. Aplicación de cálculos del método recrecido de hormigón

Por razones constructivas y de seguridad se consigue generalmente una sección con una capacidad resistente igual o superior a la que debería tener el elemento

estructural original, haciendo que el refuerzo sea suficiente para resistir por sí mismo toda la carga. (Julie Ayala M. G., 2018)

a. Vigas y losa unidireccional

Se realiza revisión del acero mínimo y máximo de acuerdo con los requerimientos del reglamento. (Julie Ayala M. G., 2018)

b. Columnas

Aplicando la teoría de diseño estructural referente a la revisión del diseño se realiza el cálculo del de asumir un acero y verificar que la columna actual está resistiendo la carga.

La resistencia nominal ( $M_n$ ) es la capacidad máxima que tiene un elemento o sección transversal de soportar las cargas de servicio multiplicado por un factor de reducción. La resistencia requerida ( $M_u$ ) es la fuerza ejercida por las cargas de servicio, en un elemento estructural. (Julie Ayala M. G., 2018)

- Condicional de momento (ACI Committee 318, 2019)

$$\phi M_n > M_u$$

*Ecuación 2-8 - Condicional de momento para cálculo de recrecido - según ACI 318-19*

- Condicional de carga axial (ACI Committee 318, 2019)

$$\phi P_n > P_u$$

*Ecuación 2-9 - Condicional de carga axial para cálculo de recrecido – según ACI 318-19*

- Condicional de cortante (ACI Committee 318, 2019)

$$\phi V_n > V_u$$

*Ecuación 2-10 Condicional de cortante para cálculo de recrecido, según ACI 318-19*

- Condicional de dimensionamiento de la sección transversal (ACI Committee 318, 2019)

$$V_u \leq \phi (V_v + 8 * \sqrt{f'c'} * bw * d)$$

*Ecuación 2-11 - Condicional de dimensionamiento - según ACI 318-19*

### 2.6.2. Recrecido de hormigón en vigas

El refuerzo de vigas a flexión, en general, se realiza incrementando fundamentalmente su capacidad flectora frente a momentos. Tal incremento se traduce en un refuerzo global a flexión en base a criterios de redistribución plástica de la ley de momentos de la viga en cuestión.

Para el refuerzo a flexión, un método muy eficaz es el consistente en recrecer la viga original mediante una sección adicional de hormigón convenientemente armado. En general, el refuerzo se efectúa recreciendo inferiormente la viga original. La armadura adicional que se dispone permite incrementar considerablemente la capacidad frente a flexión positiva (García O, 2012)

Los pasos para que se produzca este método son:

#### a. Apuntalamiento

El apuntalamiento es el primer paso a realizar en casi cualquier rehabilitación estructural, principalmente porque sirve también de medida preventiva en caso de sospecha de falla o riesgo en un elemento.



*Ilustración 2-10 - Apuntalamiento para reforzamiento estructural aplicando el método recrecido de hormigón, vigas*

#### a. Limpieza y colocación del nuevo refuerzo

Consiste en limpiar la superficie de concreto, eliminando polvo, suciedad o material susceptible de estar deteriorado.

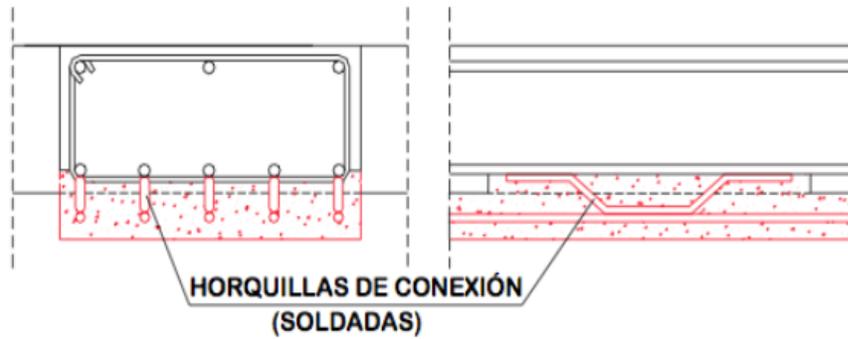
Las vigas con diseño convencional o sísmico, es necesario colocar, posicionar y amarrar bien los estribos nuevos al elemento ya existente para que luego el acero longitudinal pueda apoyarse sobre estos, colocando material epóxico Sikadur 32 para la unión de concreto - concreto y Sikadur 31 para la unión de acero – concreto.

El refuerzo sísmico o convencional presenta un comportamiento tanto a flexión como a cortante mediante el cual pueden alcanzarse considerables incrementos de resistencia. Por lo tanto, se deben introducir los estribos y en la parte superior de la viga se removerá el recubrimiento para dar paso al estribo que reposara allí y luego recubrir tanto la parte superior con epoxi Sikadur 32, en el resto de la viga se incrementará su sección a través de hormigón para el correcto confinamiento del acero transversal y este logre vencer los esfuerzos nuevos el cual este expuesto.



*Ilustración 2-11 - Acero longitudinal y transversal, recrecido de hormigón, vigas*

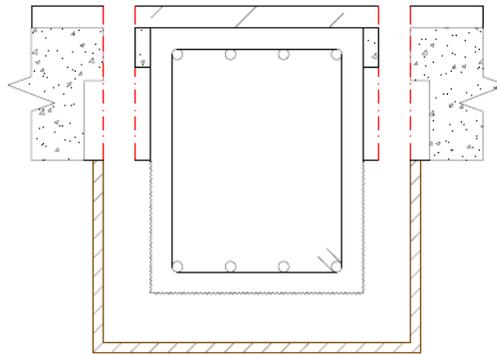
Es habitual reforzar la parte inferior de este, colocando acero longitudinal y fijándolo a través de “horquillas” el cual irán soldadas en el acero de refuerzo existente.



*Ilustración 2-12 - Fijación de acero longitudinal en recrido de hormigón, vigas*

b. Colocación de encofrado

Se debe encofrar la viga por completo teniendo en cuenta que se debe perforar la losa o sección de losa inmediatamente superior al área de ensanchamiento de sección para poder vaciar el concreto por estos espacios.



*Ilustración 2-13 - Encofrado sísmico, vigas, recrido de hormigón*

c. Vaciado de concreto

Llenado del nuevo elemento utilizando vibradores para la calidad del concreto nuevo, pasando los días necesarios para que se alcance la fuerza de compresión de este, se retirará el encofrado. Para el curado total del concreto debe pasar un lapso de 10 días.



*Ilustración 2-14 - Vaciado y terminación del nuevo elemento, vigas, recrecido de hormigón*

### 2.6.3. Recreido de hormigón en columnas

En este proceso la columna original se envuelve con una corona o camisa de concreto, que incorpora una nueva armadura que dará continuidad al soporte y conectará el nuevo elemento de refuerzo con los elementos estructurales horizontales. Por lo general en los encamisados el elemento original deja de tener función resistente y es la corona o camisa de concreto la que tendrá esta función. Este método se realiza con la finalidad de resistir nuevas sobrecargas verticales que se generen en la columna a ser rehabilitada. (García O, 2012)

Los pasos para que se produzca este método a los elementos estructurales verticales son:

#### a. Apuntalamiento:

Las implicaciones de apuntalamiento de la columna original se deben considerar de tal manera que la camisa de concreto armado resistirá parte de la carga total y no sólo una parte de los incrementos de carga.



*Ilustración 2-15 - Apuntalamiento, columnas, recrecido de hormigón*

b. limpieza y colocación del nuevo refuerzo  
Consiste en limpiar la superficie de concreto, eliminando polvo, suciedad o material susceptible de estar deteriorado.

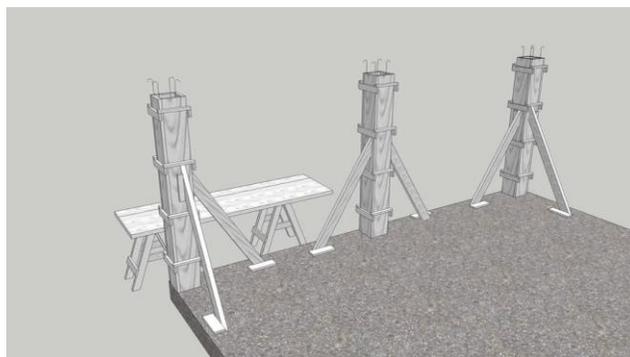
La posición de las barras de acero del refuerzo longitudinal debe ser distribuida de manera uniforme, colocando material epóxico Sikadur 31 para la unión de acero - concreto y Sikadur 32 para la unión de concreto – concreto.



*Ilustración 2-16 - Colocación de reforzamiento longitudinal y transversal, columnas, recrecido de hormigón*

### c. Encofrado

Se debe encofrar el elemento para asegurar una buena sección lo más confinada posible.



*Ilustración 2-17 - Encofrado de columnas, recrecido de hormigón*

d. Vaciado de concreto nuevo

Llenado del nuevo elemento utilizando vibradores para la calidad del concreto nuevo, pasando los días necesarios para que se alcance la fuerza de compresión de este, se retirará el encofrado.



*Ilustración 2-18 - Vaciado y terminación del nuevo elemento, columnas, recrecido de hormigón*

#### 2.6.4. Recrecido de hormigón en losas en una dirección

Las losas diseñadas para soportar comportamientos a flexión, pueden presentar problemas por falta de acero en su zona de tensión o de compresión

Se supone una inicial falta de resistencia del elemento, por lo que es preciso y necesario resistir a un nuevo momento que se aporta con la capa de tracción. Al aumentar la carga superficial por la planta y lógicamente la del terreno, resulta conveniente colocar una malla de refuerzo para que el peso del hormigón vertido no gravite sobre el existente incrementando tensiones y deformaciones de la estructura original durante el proceso de refuerzo (Ahijón, 2016).

Los pasos para que se produzca este método son:

a. Apuntalamiento

El apuntalamiento es el primer paso a realizar en casi cualquier rehabilitación estructural, principalmente porque sirve también de medida preventiva en caso de sospecha de falla o riesgo en un elemento.

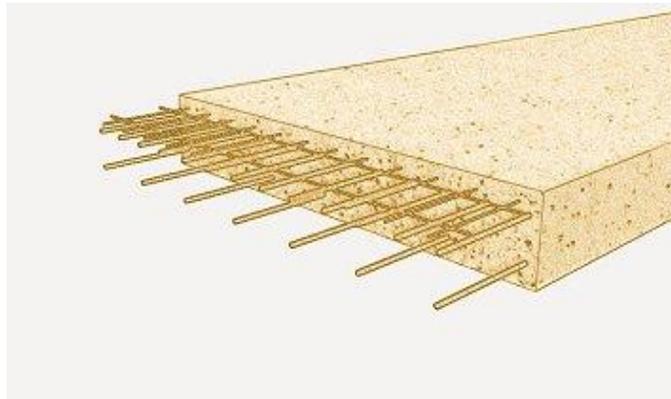


*Ilustración 2-19 - Apuntalamiento, losa, recrido de hormigón*

b. limpieza y colocación del nuevo refuerzo

Consiste en limpiar la superficie de concreto, eliminando polvo, suciedad o material susceptible de estar deteriorado.

Se colocará acero longitudinal y transversal en la parte inferior de la losa unidireccional, colocando material epóxico Sikadur 31 para la unión de acero - concreto y Sikadur 32 para la unión de concreto – concreto.



*Ilustración 2-20 - Colocación del refuerzo longitudinal*

c. Colocación de encofrado

Se debe encofrar el elemento para asegurar una buena sección lo más confinada posible.



*Ilustración 2-21 - Colocación de encofrado, losas, recrecido de hormigón*

d. Vaciado de concreto

Llenado del nuevo elemento utilizando vibradores para la calidad del concreto nuevo, pasando los días necesarios para que se alcance la fuerza de compresión de este, se retirará el encofrado. Para el curado total del concreto debe pasar un lapso de 10 días.



*Ilustración 2-22 - Terminación del elemento, losa, recrecido de hormigón*

## 2.7. Adhesivos epóxico en recrecido de hormigón

### 2.7.1. Adhesivo epóxico sikadur – 31 Hi-Mod Gel

Sikadur – 31 Hi-Mod Gel, es un adhesivo epóxico, normalmente utilizado para la unión de acero y concreto (Sika, Nic., 2020):

- ✓ Unión de elementos de hormigón, fibrocemento, acero, fierro, aluminio, mármol, piedra, madera, vidrio, cerámica, piezas de resinas poliéster o epóxi.
- ✓ Relleno rígido de juntas de poco espesor.
- ✓ Anclaje de fierros, pernos, soportes, tirantes y maquinarias.
- ✓ Reparación de aristas y caras del hormigón a la vista.

### 2.7.2. Adhesivo epóxico sikadur – 32 Gel

Sikadur – 32 Gel, es un puente de adhesivo epoxico, normalmente utilizado para la unión de concreto - concreto (Sika Nicaragua, 2020).

- ✓ Unión monolítica de concreto fresco con concreto endurecido.
- ✓ Adhesivo multipropósito entre elementos de: concreto, piedra, mortero, acero, hierro, fibrocemento, madera.
- ✓ Adhesivo (puente de adherencia) entre concreto existente y mortero de reparación en aplicaciones estructurales y no estructurales.
- ✓ Anclajes de pernos en concreto o roca, donde se requiere una puesta en servicio rápida (24 horas).

### 2.7.3. Utilización de adhesivos epóxico en el reforzamiento estructural

- a. Pegar fragmentos de hormigón total o parcialmente desprendidos. Esta aplicación se efectúa en reparaciones muy locales, por ejemplo las debidas a un impacto. Para tratamientos de grandes superficies, este proceder resulta poco económico y se suele recurrir a sustituir el hormigón desprendido.
- b. Mejorar la adherencia de reparaciones efectuadas con morteros u hormigones. En casos en los que se precisa una fuerte adherencia entre

la parte original y la reparada, un adhesivo de base epoxi permite un excelente agarre de la reparación.

- c. Adherencia de barras de la armadura original. Los adhesivos epoxi permiten asegurar la adherencia entre la armadura original y el material de reparación cuando la técnica o dimensiones de la actuación no la garanticen de por sí (Bueno, 2008).



*Ilustración 2-23 - Utilización de adhesivos epóxico*

## **2.8. Junta Fría**

Una junta fría lisa en el concreto es un plano débil causado por la interrupción de suministro de mezcla en el vaciado. Es ampliamente conocido que debido a dificultades en el método constructivo de estructuras de concreto, es posible que se presenten juntas frías que evidentemente afectan el desempeño estructural a partir de la disminución de las características esfuerzo deformación del sistema.

La disminución de la resistencia máxima del sistema depende de factores como inclinación de la junta fría, tiempo de formación de la junta fría y relación de la inclinación de la junta fría con la dirección del estado de esfuerzos (A. Torres, 2016).

### **2.8.1. Comportamiento de junta fría en el hormigón a compresión**

Existe una pérdida de resistencia importante a la compresión en cilindros con junta diagonal, en los que se reporta falla a lo largo de la junta fría. Los cilindros

con junta horizontal no pierden resistencia y su forma de falla es igual a la de un cilindro sano. Los cilindros con junta vertical reportan la mayor pérdida de resistencia (hasta 30% y 42% respectivamente), (A. Torres, 2016).

### 2.8.2. Comportamiento de junta fría en el hormigón a carga uniaxial

Los cilindros de concreto con junta fría sometidos a compresión uniaxial presentan concentraciones de esfuerzos y deformaciones en las inmediaciones de la junta. Las magnitudes de los esfuerzos concentrados son más grandes a medida que la diferencia de rigideces entre los volúmenes de concreto que conforman el cilindro sea mayor. (A. Torres, 2016)

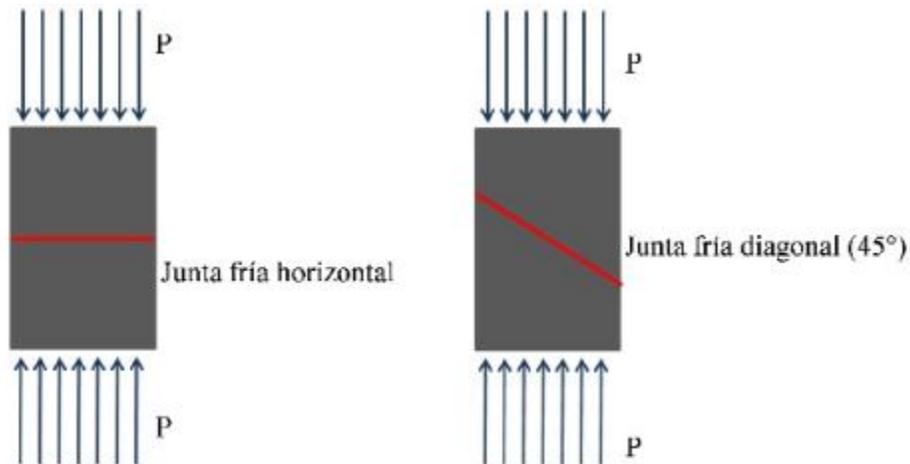


Ilustración 2-24 - Junta fría en un elemento de concreto

## 2.9. Determinación de la fuerza de compresión del concreto

### 2.9.1. ASTM C42/C42M-20

Este método de prueba cubre la obtención, preparación y prueba de núcleos perforados de concreto para determinar la longitud o la resistencia a la compresión o la resistencia a la tracción por división. (Subcomité C09.61 ASTM, 2020)

Generalmente, las muestras de prueba se obtienen cuando existen dudas sobre la calidad del concreto en el lugar debido a resultados de prueba de baja resistencia durante la construcción o signos de deterioro en la estructura. Otro

uso de este método es proporcionar información de resistencia en estructuras más antiguas. (Subcomité C09.61 ASTM, 2020)

#### 2.9.2. ASTM C39/C39M-21

Este método de ensayo cubre la determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón, como cilindros moldeados y núcleos perforados, esta prueba se utiliza para determinar la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas preparadas y curadas de acuerdo con las Prácticas C31 / C31M , C192 / C192M , C617 / C617M , C943 , C1176 / C1176M , C1231 / C1231M y C1435 / C1435M , y Métodos de prueba C42 / C42M , C873 / C873M y C1604 / C1604M. (Subcomité C09.61 ASTM, 2021).

**CAPITULO III: EJEMPLOS DE DISEÑO DE  
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL  
EXTERNO MEDIANTE EL METODO  
RECRECIDO DE HORMIGON EN VIGA,  
COLUMNA Y LOSA EN UNA DIRECCIÓN**

### 3.1. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en vigas simplemente reforzadas con momento positivo

Las vigas simplemente reforzadas son dependientes de las cargas que actúan sobre ella, pero, se entiende que son comportamientos producidos por las sollicitaciones. Esto hace que exista tracción en el elemento haciendo comportar la sección a flexión.

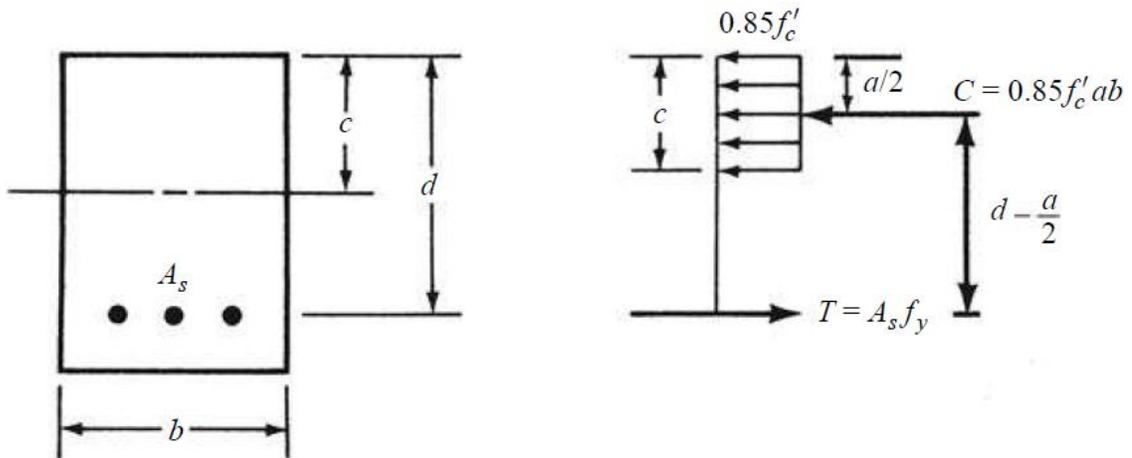


Ilustración 3-1 - Fuerzas internas de viga simplemente reforzada

El reforzamiento estructural externo mediante el recrecido de hormigón en vigas simplemente reforzadas, comienza mediante la obtención de datos de un elemento existente. Los parámetros para determinar el momento nominal se basan de  $\beta_1$  siendo dependiente de la resistencia a la compresión del concreto, según el ACI 318-19 en la tabla 22.2.2.4.3, se determina de la siguiente forma:

Valores de $\beta_1$ para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto		
$f'_c$ , Psi	$\beta_1$	
$3,000 \leq f'_c \leq 4,000$	0.85	(a)
$4,000 < f'_c < 6,000$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 4,000)}{100}$	(b)
$f'_c \geq 6,000$	0.65	(c)

Ilustración 3-2 - Valor de  $\beta_1$ , según ACI 318-19

Siguiendo secuencia para el cálculo del momento nominal se necesitan variables tal cual es la base, altura, recubrimiento, fuerza de compresión del concreto, fluencia del acero, en la siguiente ilustración se muestra con mucha más claridad los parámetros antes mencionados:

Datos de sección sin recrecido			
bw	15 in	Barras en tensión	4 Barras
h	18 in	Recubrimiento	2.5 in
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-3 - Parámetros de viga S. reforzada flexión positiva

Se presenta un elemento con su respectivo dimensionamiento y propiedades, al cual se le hará un incremento de cargas, por lo tanto, se debe conocer la sollicitación que está resistiendo la viga.

La normativa ACI 318-19, en la sección 9.6.1.2, hace mención que se deben calcular dos fórmulas de porcentaje de acero el cual se debe escoger el mayor de dichos cálculos. Esto debe de ser comparado con el área de acero existente en porcentaje  $\rho$ , el cual este debe ser mayor a los establecidos por la norma.

### 3.1.1. Cálculo de $\phi M_n$ existente

- Área de acero en tensión

$$A_s = \left( \frac{\frac{\#Barra\ comercial}{2}}{\frac{8}{2}} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

Ecuación 3-1 - Área de acero

$$A_s = \left( \frac{\frac{6}{8}}{2} \right)^2 * \pi * 4\ barras = 1.76715\ in^2$$

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{A_s}{bw * d}$$

Ecuación 3-2 - Porcentaje de acero, según ACI 318-19

$$d = h - \text{Recubrimiento}$$

$$d = 18 \text{ in} - 2.5 \text{ in}$$

$$d = 15.5 \text{ in}$$

$$\rho_w = \frac{1.76715 \text{ in}^2}{15 \text{ in} * 15.5 \text{ in}} = 0.0076$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{f_y}$$

Ecuación 3-3 - Porcentajes de acero, según ACI 318-19

*La mayor de ambas*

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00333$$

La cuantía de acero es  $\rho_{wACI} = 0.00333$ , según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero debe ser menor al del refuerzo existente, esta condicional cumple.

$$\rho_{w \text{ existente}} > \rho_{wACI}$$

- Cálculo de  $\beta_1$

Según ACI 318-19 en la sección 22.2.2.4.3, asumiendo la formula (a) dado que la fuerza de compresión es de 4,000 Psi, el cual está en el rango de 2,500 Psi (17 Mpa) y 4,000 Psi (28 Mpa), el valor de  $\beta_1$  es equivalente a 0.85.

- Cálculo de a

La altura del bloque de compresión, se determina a través de la multiplicación de la cantidad de acero requerido por la fluencia del acero con respecto al grado que se esté trabajando, dividido entre la fuerza de compresión.

Siendo así, mediante la siguiente ecuación obtendremos que:

$$a = \frac{(A_s) * f_y}{0.85 * f'_c * b_w}$$

*Ecuación 3-4 - Profundidad del bloque a compresión, según ACI 318-19*

$$a = \frac{(1.76715 \text{ in}^2) * 60,000 \text{ Psi}}{0.85 * 4,000 \text{ Psi} * 15 \text{ in}} = 2.0790 \text{ in}$$

- Cálculo de c

$$a = \frac{c}{\beta_1}$$

*Ecuación 3-5 - Profundidad del eje neutro, según ACI 318-19*

$$c = \frac{2.0790 \text{ in}}{0.85} = 2.44588 \text{ in}$$

- Deformación unitaria longitudinal de fluencia

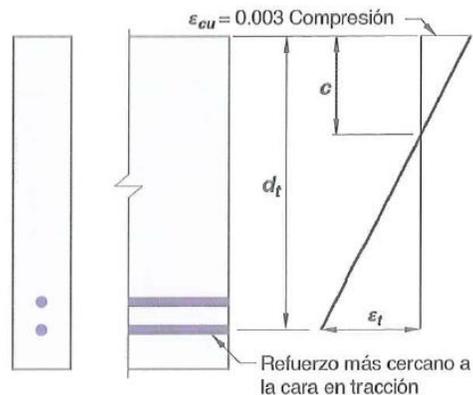
Se necesita realizar la comprobación del acero a tensión, se comienza con la deformación unitaria longitudinal de fluencia del acero, el cual es la relación de la fluencia del acero respecto al grado de este mismo y el módulo de elasticidad.

$$\epsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s}$$

*Ecuación 3-6 - Deformación por fluencia, según ACI 318-19*

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29,869,021 \text{ Psi}} = 0.0020$$

- Deformación unitaria longitudinal a tensión



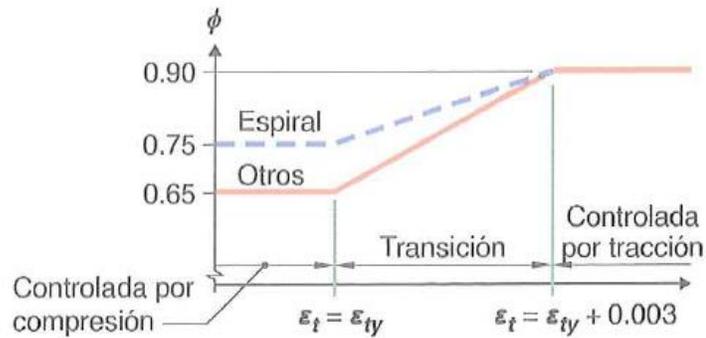


Ilustración 3-4 - Cálculo de la deformación unitaria longitudinal según ACI 318-19

Según ACI 318-19 en la imagen R21.2.2<sup>a</sup> y R21.2.2<sup>b</sup> refiere que el elemento se debe comportar a tracción, por lo tanto habrá una falla dúctil. Esto conllevará a que el acero llegue a su estado límite de fluencia antes que el concreto falle por compresión.

Seguidamente se realiza el cálculo de la deformación unitaria longitudinal del acero a tensión, el cual es la relación de  $d$  menos  $c$  y  $c$  esto multiplicado por la deformación unitaria del concreto a compresión, siendo 0.003, si se observa la ecuación, obtenemos que:

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} * 0.003$$

Ecuación 3-7- Deformación unitaria a tensión, según ACI 318-19

$$\epsilon_t = \frac{15.5 \text{ in} - 2.44588 \text{ in}}{2.44588 \text{ in}} * 0.003 = 0.0160$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción de resistencia

La normativa constructiva ACI 318-19 en la tabla 21.2.2 hace mención al cálculo de factor de reducción, ver la siguiente Ilustración para el cálculo de factor de resistencia,  $\phi$ , para momento, fuerza axial, o combinación de momento y fuerza axial:

Deformación unitaria neta a tracción, $\epsilon_t$	Clasificación	$\phi$
$\epsilon_t \leq \epsilon_{ty}$	Controlada por compresión	0.65
$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_{ty} + 0.003$	Transición	$0.65 + 0.25 \left( \frac{\epsilon_t - \epsilon_{ty}}{0.003} \right)$
$\epsilon_t \geq \epsilon_{ty} + 0.003$	Controlada por tracción	0.9

*Ilustración 3-5 - Factor de reducción de resistencia*

Haciendo referencia al código ACI 318-19, siguiendo con las ilustraciones que se acaban de mencionar con anterioridad, si la deformación unitaria longitudinal del acero a tensión mayor a la deformación unitaria por fluencia del acero. Este mismo cederá, lo cual, es lo indicado para que tenga una falla dúctil así mismo comportándose a tracción.

$$\epsilon_{ty} + 0.003 < \epsilon_t$$

*Ecuación 3-8 - Factor de reducción, según ACI 318-19*

$$0.00501 < 0.0160$$

$$\phi = 0.9$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

Al ver la ecuación obtendremos que:

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

*Ecuación 3-9 - Momento, según ACI 318-19*

$$\phi M_n = 0.9 \left( 1.76715 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} \left( 15.5 \text{ in} - \frac{2.0790 \text{ in in}}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 1,379.9091 \text{ Klb} * \text{in}$$

Por lo tanto, sabremos que la viga soporta un momento nominal con su factor de reducción  $\phi M_n = 1,379.9091 \text{ Klb} * \text{in}$ , lo cual con este parámetro fue diseñada. No obstante, el reforzamiento estructural externo mediante el recrecido de

hormigón comúnmente ocurre cuando se cambiará de uso la edificación o se necesite una rehabilitación, en esta ejemplificación se asume un incremento en el momento último a  $M_u = 3,100 \text{ Klb} * \text{in}$ . Obtendremos nueva sollicitación y se deberá re diseñar el elemento para soportar los nuevos esfuerzos el cual ahora estará expuesto.

### 3.1.2. Cálculo de recrecido con nuevas sollicitaciones

- Propuesta de incremento de h: 3 in
- Propuesta de incremento en bw: 5 in
- Propuesta de porcentaje de aumento en acero longitudinal en zona de tensión: 2.2%

El cálculo de recrecido de hormigón para momento positivo en vigas simplemente reforzadas será a través de proponer una nueva sección y porcentaje de acero longitudinal. Por lo tanto, se propone por criterio incrementar 2.2 % más del acero existente y así también un incremento de sección, Esto para que soporte el nuevo momento  $M_u = 3,100 \text{ Klb} * \text{in}$ , los nuevos parámetros de la viga son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 3 in y "bw" a 5 in.			
bw	20 in	f'c	4,000 Psi
h	21 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-6 - Nueva sección, viga, recrecido de hormigón*

Se debe calcular un nuevo peralte efectivo, se propone por criterio el planteamiento de la ecuación para determinar la distancia del centroide entre la barra del refuerzo existente y el nuevo refuerzo que se colocará en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga, representando dicha explicación con la ilustración 3-7 “Nueva distancia para peralte efectivo, recrecido de hormigón, vigas S. Reforzada, momento positivo”:

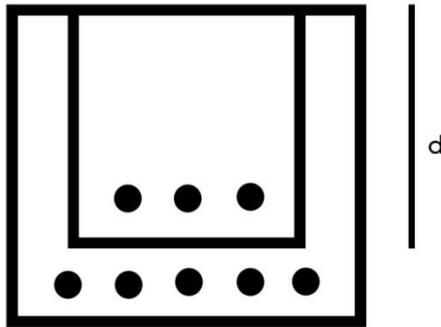


Ilustración 3-7 - Nueva distancia para peralte efectivo, recrecido de hormigón, vigas S. Reforzada, momento positivo

$$d = (h - \text{recubrimiento}) + \left( \frac{\frac{\text{recrecido propuesto}}{2} + \text{recubrimiento} + \frac{\# \text{ de varilla longitudinal}}{2}}{2} \right)$$

Ecuación 3-10 - Centro de gravedad entre barras para recrecido en vigas simplemente reforzadas

$$d = (18 \text{ in} - 2.5 \text{ in}) + \left( \frac{\frac{3 \text{ in}}{2} + 2.5 \text{ in} + \frac{\# 6}{2}}{2} \right) = 17.6875 \text{ in}$$

Asumiendo un recrecido de 2.5 in, se obtiene que el nuevo valor “d” es de 17.6875 in.

- Área de acero que requiere el elemento al incremento de carga

La nueva área de acero depende de proponer una nueva cantidad de acero, por lo tanto, se asume el doble del área de acero existente.

$$A_{S_{\text{distribución}}} = A_s * A_{S_{\text{propuesto}}}$$

Ecuación 3-11 - Propuesta de acero para nuevas solicitaciones

$$A_{S_{\text{propuesto}}} = 1.76715 \text{ in}^2 * 2.2 = 3.8877 \text{ in}^2$$

- Se vuelve a recalcular a:

$$bw = bw_{\text{existente}} + bw_{\text{elemento con recrecido}}$$

$$bw = 15 \text{ in} + 5 \text{ in}$$

$$bw = 20 \text{ in}$$

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * bw}$$

$$a = \frac{3.8877 \text{ in}^2 * 60,000 \text{ Psi}}{0.85 * 4,000 \text{ Psi} * 20 \text{ in}} = 3.4303 \text{ in}$$

La cantidad de acero que necesita el elemento, se basa en función del momento ultimo y el valor “d” que se calculó en la sección:

$$As = \frac{Mu}{\phi * fy * (d - \frac{a}{2})}$$

*Ecuación 3-12 - Área de acero que necesita el elemento respecto al incremento de solicitación*

$$As = \frac{3,100 \text{ Klb} * \text{in}}{0.9 * 60 \text{ Ksi} * (17.6875 \text{ in} - \frac{3.4303 \text{ in}}{2})} = 3.5942 \text{ in}^2$$

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{As}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{3.5942 \text{ in}^2}{20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}} = 0.0102$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{f'c'}}{fy} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{fy}$$

*La mayor de ambas*

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_w = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.0033$$

La cuantía de acero es  $\rho_{wACI} = 0.00333$ , según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero debe ser menor al del refuerzo propuesto, esta condicional cumple.

$$\rho_{wpropuesto} > \rho_{wACI}$$

Finalizando con el valor de  $a$ , el cual, siendo la altura del bloque a compresión, este será el valor real que se utilizará para el momento nominal con los valores (área de acero), así mismo, para  $c$ :

$$a = \frac{As * fy}{0.85 * f'c * bw}$$

$$a = \frac{3.5942 \text{ in}^2 * 60,000 \text{ Psi}}{0.85 * 4,000 \text{ Psi} * 20 \text{ in}} = 3.1714 \text{ in}$$

- Se vuelve a calcular  $c$

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{3.1714 \text{ in}}{0.85} = 3.7310 \text{ in}$$

Se debe determinar un nuevo valor siendo “ $d_t$ ” para conocer la deformación unitaria a tracción, por lo tanto este dato se obtiene a través de proponer la ecuación según los nuevos parámetros del incremento de “ $h$ ” y “ $bw$ ”. Obteniendo la distancia de la nueva barra de refuerzo en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga, donde este dato se puede observar en el código ACI 318-19 en la imagen R21.2.2<sup>a</sup>, Representando gráficamente lo antes mencionado en la ilustración 3-8:

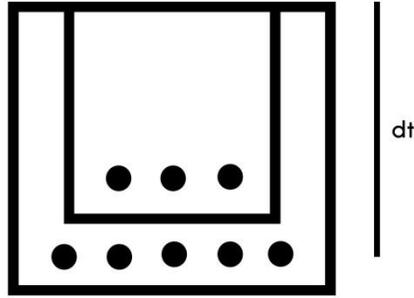


Ilustración 3-8 - Nueva distancia "d<sub>t</sub>" para el cálculo de deformaciones unitarias

$$d_t = \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} + h$$

Ecuación 3-13 - nueva distancia para deformación unitaria a tensión

$$d_t = \frac{3}{2} + 18 \text{ in} = 19.50 \text{ in}$$

Se realiza una comprobación, si la deformación unitaria del acero a tensión es mayor a la deformación unitaria del acero por fluencia para que el acero ceda:

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{19.50 \text{ in} - 3.7310 \text{ in}}{3.7310 \text{ in}} * 0.003 = 0.0127$$

$$\epsilon_{ty} + 0.003 < \epsilon_t$$

$$0.00501 < 0.0127$$

El elemento se comporta a tracción.

$$\phi = 0.9$$

Debidamente se debe re-calcular  $\phi M_n$  y cumplir la condición de  $\phi M_n \geq M_u$ , se utiliza los nuevos valores de  $A_s$  y  $a$ :

$$\phi M_n = \phi (A_s * F_y * (d - \frac{a}{2}))$$

$$\phi M_n = 0.9 \left( 3.5942 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} \left( 17.6875 \text{ in} - \frac{3.1714 \text{ in}}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 3,125.1468 \text{ Klb} * \text{in}$$

Revisando la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $3,125.1468 \text{ Klb} * \text{in} \geq 3,100 \text{ Klb} * \text{in}$ , si cumple.

- Condición de equilibrio

Se debe de realizar una comprobación de equilibrio para la determinación del comportamiento de la viga si estará en un punto neutro donde no ocurra colapso.

Comprobación de equilibrio C=T

$$0.85 * f'c * a * bw = As * fy$$

*Ecuación 3-14 - Condición de equilibrio*

$$0.85 * 4 \text{ Ksi} * 3.1714 \text{ in} * 20 \text{ in} = 3.5942 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi}$$

$$215.6552 = 215.6520$$

Siendo así, la condición de equilibrio cumple.

### 3.1.3. Revisión por cortante

- Separación de estribos máxima, según ACI 318-19 sección 9.7.6.2.2:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{17.6875 \text{ in}}{2} = 8.8438 \text{ in}$$

$$S_3 = 23.622 \text{ in}$$

*Ecuación 3-15 - Separación de acero secundario a cortante, vigas, según ACI 318-19*

La separación máxima de estribos es  $S_2 = 8.8438 \text{ in}$

- Cálculo de  $A_{vmin}$ , según ACI 318-19 sección 9.6.3.4:

$$A_{vmin} = 0.75 * \sqrt{f'c} * \left( \frac{bw * S}{fy} \right) \geq 50 \left( \frac{bw * S}{fy} \right)$$

*Ecuación 3-16 - Área de acero mínima a cortante, según ACI 318-19*

$$A_{vmín} = 0.75 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * \left( \frac{20 \text{ in} * 8.8438 \text{ in}}{60,000 \text{ Psi}} \right) \geq 50 \left( \frac{20 \text{ in} * 8.8438 \text{ in}}{60,000 \text{ Psi}} \right)$$

$$A_{vmín} = 0.1398 \text{ in}^2 \geq 0.1474 \text{ in}^2$$

$$A_{vmín} = 0.1474 \text{ in}^2$$

La condicional del ACI 318-19, tabla 22.5.5.1, proponiendo estribos #3, donde  $A_v = 2 * (0.11 \text{ in}^2)$ ,  $A_v = 0.22089 \text{ in}^2$ , donde el acero de estribo existente es equivalente a  $0.22089 \text{ in}^2$ , por lo tanto:

$$A_v = A_{vpropuesto} + A_{vexistente}$$

$$A_v = 0.22089 \text{ in}^2 + 0.22089 \text{ in}^2$$

$$A_v = 0.22089 \text{ in}^2 + 0.22089 \text{ in}^2$$

$$A_v = 0.4418 \text{ in}^2$$

$$A_v \geq A_{vmín}$$

$$0.4418 \text{ in}^2 \geq 0.1474 \text{ in}^2$$

Se calculará  $V_c$  a través de la formulas, según ACI 318-19 sección 22.5.5.1:

$$\text{a. } \phi V_c = \phi * \left( 2 * \lambda * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * bw * d$$

$$\phi V_c = 0.75 * \left( 2 * 1 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} + 0 \right) * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}$$

$$\phi V_c = 33,559.6717 \text{ Lb}$$

$$\text{b. } \phi V_c = \phi * \left( 8 * \lambda * (\rho_w)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * bw * d$$

$$\rho_w = \frac{A_s}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{3.5942 \text{ in}^2}{20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}} = 0.0102$$

$$\phi V_c = 0.75 * \left( 8 * 1 * (0.0102)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} + 0 \right) * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}$$

Ecuación 3-17 - Cálculo de  $V_c$ , según ACI 318-19

$$\phi V_c = 29,112.3827 \text{ Lb}$$

Donde  $V_c$  según ACI 318-19 sección 25.5.5.1, no debe ser mayor que

$$\phi V_c = \phi * 5 * \lambda * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

$$\phi V_c = 0.75 * 5 * 1 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}$$

$$\phi V_c = 83,899.1792 \text{ Lb}$$

**Por lo tanto,  $\phi V_c = 33,559.6717 \text{ Lb}$**

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,

donde  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 33.5596717 \text{ Klb} \leq V_u = 50 \text{ Klb}$$

**Esta condicional no cumple, el elemento necesita refuerzo transversal.**

$$V_{c1} = 4 * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

$$V_{c1} = 4 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}$$

$$V_{c1} = 89,492.4578 \text{ Lb}$$

$$V_{c2} = 8 * \sqrt{f'_c} * bw * d$$

$$V_{c2} = 8 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in}$$

$$V_{c2} = 178,984.9156 \text{ Lb}$$

- El cálculo de  $V_s$  que debe soportar el acero transversal:

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi}$$

$$V_s = \frac{50,000 \text{ Lb} - 33,559.6717 \text{ Lb}}{0.75} = 21,920.4378 \text{ Lb}$$

$$V_s = 21.9204377 \text{ Klb}$$

Separación transversal que debe soportar  $V_s = 21.9204378 \text{ Klb}$

$$S_1 = \frac{A_v * f_y * d}{V_s}$$

$$S_1 = \frac{0.44178 \text{ in}^2 * 60,000 \text{ Psi} * 17.6875 \text{ in}}{21,920.4377 \text{ Lb}} = 21.3882 \text{ in}$$

Si  $S_1 \leq S_2$  , la separación transversal será  $S_1$  , de lo contrario el espaciamiento de estribos es  $S_2$  donde ACI 318-19 en su sección 9.7.6.2.2, de esta forma:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{17.6875 \text{ in}}{2} = 8.8438 \text{ in}$$

Obteniendo el cortante del acero con su separación transversal optima establecida por ACI 318-19 en su sección 22.5.8.5.3, se calculara con  $S_2$

$$V_s = \frac{A_v * f_y * d}{S}$$

*Ecuación 3-18 - Cortante que debe soportar el acero, según ACI 318-19*

$$V_s = \frac{0.4418 \text{ in}^2 * 60,000 \text{ Psi} * 17.6875 \text{ in}}{8.8438 \text{ in}} = 53,013.60 \text{ Lb}$$

- Comprobando la separación máxima de estribo:
  - ✓ Si  $V_s < V_{c1}$ , la separación máxima de estribo es  $d/2$ , de lo contrario, será  $d/4$ .

$$53,013.60 \text{ Lb} < 89,492.4578 \text{ Lb}$$

- ✓ Si  $V_s < V_{c2}$ , la sección es óptima para colocación de estribos.

$$53,013.60 \text{ Lb} < 178,984.9156 \text{ Lb}$$

- Comprobación de la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , siguiendo la ecuación 25.5.1.1

$$V_n = V_c + V_s$$

*Ecuación 3-19 - Cortante nominal según ACI 318-19*

$$V_c = \frac{33,559.6717 \text{ Lb}}{0.75} = 44,746.2289 \text{ Lb}$$

$$V_n = 44,746.2289 \text{ Lb} + 53,013.60 \text{ Lb} = 97,759.8289 \text{ Lb}$$

$$\phi V_n = 97,759.8289 \text{ Lb} * 0.75$$

$$\phi V_n = 73,319.8717 \text{ Lb}$$

De esta manera obtenemos el valor de  $V_n$ :

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$73,319.8717 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$$

Esta condicional, cumple.

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 50,000 \text{ lb}$ .

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f_c'} * bw * d)$$

*Ecuación 3-20 - comprobación de cortante sección transversal, vigas, según ACI 318-19*

$$50,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (44,746.2289 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 17.6875 \text{ in})$$

$$50,000 \text{ Lb} \leq 167,798.3583 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $167,798.3583 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

#### 3.1.4. Cálculo del nuevo acero de refuerzo

En el método recrecido de hormigón, se necesita saber la cantidad de acero que necesita el elemento en la zona de tensión, hasta el momento a lo largo de este capítulo, se ha calculado el área de acero existente y el área de acero propuesta que necesita el elemento en cuestión para las sollicitaciones que producen flexión.

Las bases fundamentales del método es saber cuánto acero necesita el elemento existente aumentando su momento ultimo actuante, por lo tanto, el

siguiente paso a seguir es el área de acero requerida en el recrecido, este se determina mediante la resta de las áreas siendo la existente y la propuesta.

Área de acero que necesita el elemento

$$A_{S_{distribución}} = A_{S_{propuesto}} - A_S$$

*Ecuación 3-21 - Área de acero que necesita el elemento según las nuevas solicitaciones*

$$A_{S_{distribución}} = 3.5942 \text{ in}^2 - 1.76175 \text{ in}^2 = 1.8325 \text{ in}^2$$

Por lo tanto,  $A_{S_{distribución}} = 1.8325 \text{ in}^2$  es la cantidad de acero que se debe colocar en la zona de tensión.

3.1.5. Distribución de refuerzo que necesita el elemento

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.1, los espaciamientos son de 25 mm y  $d_b$ , por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar en la zona de tensión es mediante una condición, el cual podemos observar:

Distribución de acero:

$$\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra}} \leq bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}$$

*Ecuación 3-22 - Distribución de barras en recrecido*

$$\frac{1.8325 \text{ in}^2}{0.1963 \text{ in}^2 (\text{Barra \#4})} \leq 20 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.25 \text{ in}}$$

$$9 \text{ barras \#4} \leq 17 \text{ barras}$$

Separación de acero:

$$S = \frac{bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}}{\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra}}}$$

*Ecuación 3-23 - Separación de barras en recrecido*

$$S = \frac{17 \text{ barras}}{9 \text{ Barras \#4}} = 1.8889 \text{ in}$$

Separación máxima según ACI 318-19, Sección 24.3.2:

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{f_s} \right) - 2.5 * C_c$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) - 2.5 * Recubrimiento$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * 60,000 \text{ Psi}} \right) - 2.5 * 2.5 \text{ in} = 8.75 \text{ in}$$

Como también:

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{f_s} \right)$$

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) = 12 \text{ in}$$

*Ecuación 3-24 - Separaciones máximas de barras longitudinales, según ACI 318-19*

Obteniendo la separación máxima según ACI, se elige la menor separación:

$$S = \frac{17 \text{ barras}}{9 \text{ Barras \#4}} = 1.8889 \text{ in} \leq S_{ACI} = 8.75 \text{ in}$$

➤ Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

Por lo tanto, la cantidad máxima de barras longitudinales que permite la sección son 17, siguiendo esta secuencia lógica de la relación del acero total y el área de una propuesta de barra, se determinó que es preciso colocar 9 barras #4 a cada 1.8889 in con incremento en "h" de 3 in y "bw" de 5 in, con un aumento de 2.2% de acero de refuerzo longitudinal para  $M_u = 3,100 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$ .

Así mismo, se recomienda colocar 2 barras #3 de manera longitudinal en la zona superior de la viga para el correcto confinamiento de los estribos a colocarse.

➤ Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocarán estribos #3 a una distancia crítica de 17.6875 in. a cada 8.8438 in, así también en el resto de la sección de la viga a cada 8.8438 in.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO  
EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS

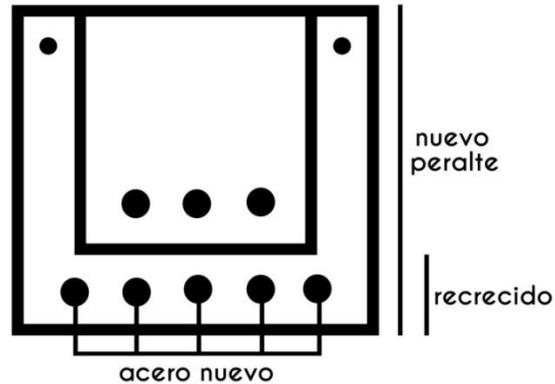


Ilustración 3-9 - Representación gráfica de viga simplemente reforzada con sus nuevas distribuciones de refuerzo, viga convencional, recrecido de hormigón

### 3.2. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en vigas simplemente reforzadas con momento negativo

El recrecido de hormigón en vigas simplemente reforzadas con momento negativo, parte de los procesos con momento positivo, el cual es abordado a partir de la sección 3.1 del presente capítulo, con la modificación de presenta un recrecido de concreto más no de acero La siguiente ilustración muestra datos de una sección a la cual se le aplicará el método recrecido de hormigón.

Datos de sección sin recrecido			
bw	15 in	Barras en tensión	4 Barras
h	18 in	Recubrimiento	2.5 in
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-10 - Parámetros de viga S. Reforzada con flexión negativa

#### 3.2.1. Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones

- Propuesta de incremento "h" = 4 in
- Propuesta de incremento "bw" = 5 in

El cálculo de recrecido de hormigón para momento negativo será a través de proponer una nueva sección, se propone un incremento de 4 in en la parte

inferior de la viga, siendo así, un nuevo peralte de 22 in y “bw” a 5 in. Esto para que soporte el nuevo momento  $M_u = 3,100 \text{ Klb} * \text{in}$ , los nuevos parámetros del elemento son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 4 in y "bw" a 5 in.			
bw	20 in	f'c	4,000 Psi
h	22 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-11 - Nueva sección, momento negativo, viga, recrecido de hormigón*

Se debe calcular un nuevo peralte efectivo, por lo tanto, se propone por criterio el planteamiento de la ecuación, siendo la diferencia de la sección existente y el recubrimiento con la sumatoria del nuevo recrecido propuesto, esto cuando la viga tiene momento negativo.

Siguiendo otra explicación metodológica, es un cálculo simple de un peralte efectivo similar al de cualquier viga sin aplicarle el método recrecido de hormigón:

$$d = (h - \text{recubrimiento}) + \text{recrecido propuesto}$$

*Ecuación 3-25 - Peralte efectivo en momento negativo para recrecido*

$$d = (18 \text{ in} - 2.5 \text{ in}) + 4 \text{ in}$$

$$d = 19.5 \text{ in}$$

Debidamente se debe re-calcular  $\phi M_n$  y cumplir la condición de  $\phi M_n \geq M_u$

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * F_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 0.9 \left( 1.7671 \text{ in}^2 * 60000 \text{ Ksi} \left( 19.5 \text{ in} - \frac{1.5593 \text{ in}}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 1,786.3594 \text{ Klb} * \text{in}$$

Revisando la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $1,786.3594 \text{ Klb} * \text{in} \geq 1,750 \text{ Klb} * \text{in}$ , si cumple.

- Condición de equilibrio

Se debe de realizar una comprobación de equilibrio para la determinación del comportamiento de la viga si estará en un punto neutro donde no ocurra colapso.

$$0.85 * f'c * a * bw = Asrequerido * Fy$$

$$0.85 * 4 \text{ Ksi} * 1.5593 \text{ in} * 20 \text{ in} = 1.7671 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi}$$

$$106.0324 = 106.0260$$

Siendo así, la condición de equilibrio cumple.

### 3.2.2. Revisión por cortante

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.1.3, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,  
donde:  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 36.9986486 \text{ Klb} \leq V_u = 50 \text{ Klb}$$

La separación de refuerzo transversal será:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{19.5 \text{ in}}{2} = 9.75 \text{ in}$$

Comprobación la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,  
siguiendo la ecuación 25.5.1.1

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{36,998.6486 \text{ Lb}}{0.75} = 49,331.5315 \text{ Lb}$$

$$V_n = 49,331.5315 \text{ Lb} + 53,013.60 \text{ Lb} = 102,345.1315 \text{ Lb}$$

$$\phi V_n = 102,345.1315 \text{ Lb} * 0.75$$

$$\phi V_n = 76,758.8486 \text{ Lb}$$

Por lo tanto:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$76,758.8486 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$$

Esta condicional, cumple.

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 50,000 \text{ lb}$ .

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f'c} * bw * d)$$

$$50,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (49,331.5315 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 19.5 \text{ in})$$

$$50,000 \text{ Lb} \leq 184,993.2431 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $184,993.2431 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

- Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

Se recomienda colocar 2 barras #3 de manera longitudinal en la zona inferior y superior de la viga para el correcto confinamiento de los estribos a colocarse, con incremento en "h" de 4 in y "bw" de 5 in para  $M_u = 1,750 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$ .

- Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocarán estribos #3 a una distancia crítica de 19.5 in, a cada 9.75 in, así también en el resto de la sección de la viga a cada 9.75 in.

### 3.3. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en vigas T y vigas L con momento positivo

La secuencia lógica de cálculos para determinar el momento nominal en una viga T se basa de igual forma para vigas L, dado que tienen mismo dimensionamiento con excepción del claro en  $b_f$  (ancho efectivo del patín), siendo la única variante entre estos, de igual forma se aplican los fundamentos de viga simplemente reforzada para estos dos casos. Si observa la siguiente figura se presenta lo antes mencionado:

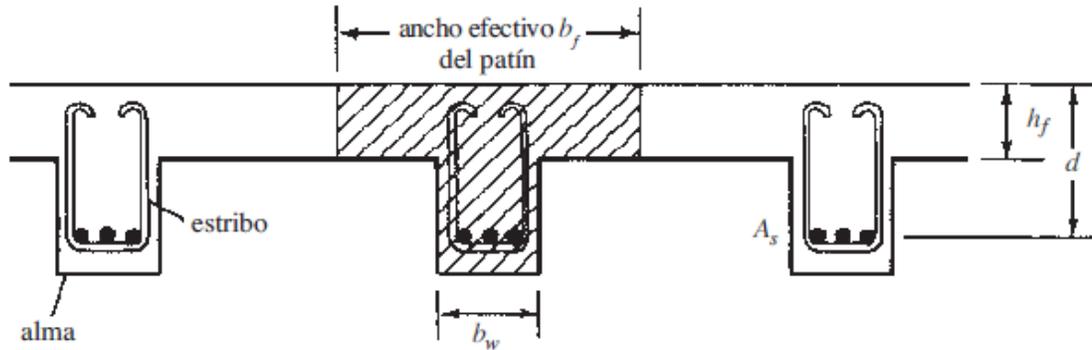


Ilustración 3-12 - Representación ilustrativa de sección en vigas T y L

El reforzamiento estructural externo mediante el recrecido de hormigón en vigas T, comienza mediante la obtención de datos de un elemento existente. Los parámetros para determinar el momento nominal se basan de  $\beta_1$  siendo dependiente de la resistencia a la compresión del concreto, según el ACI 318-19 en la tabla 22.2.2.4.3 se determina de la siguiente forma:

Valores de $\beta_1$ para la distribución rectangular equivalente de esfuerzos en el concreto		
$f'_c$ , Psi	$\beta_1$	
$3,000 \leq f'_c \leq 4,000$	0.85	(a)
$4,000 < f'_c < 6,000$	$0.85 - \frac{0.05(f'_c - 4,000)}{100}$	(b)
$f'_c \geq 6,000$	0.65	(c)

Siguiendo secuencia para el cálculo del momento nominal de igual forma se necesitan variables como  $b_w$ ,  $b_f$ ,  $h_f$ ,  $h$ , barras en zona de tensión, diámetro

comercial de la barra, recubrimiento, fuerza de compresión del concreto, fluencia del acero; en la siguiente ilustración se muestra con mucha más claridad los parámetros antes mencionados:

Datos de sección sin recrecido			
bw	18 in	fy	60,000 Psi
h	32 in	# de varilla longitudinal	#8
bf	30 in	# de varilla transversal	#3
hf	4 in	Barras en tensión	8 Barras
f'c	4,000 Psi	Recubrimiento	2.5 in
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-13 - Parámetros de viga S. Reforzada para sección T con flexión positiva

### 3.3.1. Cálculo de $\phi M_n$ existente

- Cálculo del área de acero existente

$$A_s = \left( \frac{\frac{\#Barra\ comercial}{8}}{2} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$A_s = \left( \frac{\frac{8}{8}}{2} \right)^2 * \pi * 8\ barras = 6.2832\ in^2$$

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{A_s}{bw * d}$$

$$d = h - \text{Recubrimiento}$$

$$d = 32\ in - 2.5\ in$$

$$d = 29.5\ in$$

$$\rho_w = \frac{6.2832\ in^2}{18\ in * 29.5\ in} = 0.0118$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{f'c'}}{f_y} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{f_y}$$

La mayor de ambas

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{f_y}$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00333$$

El porcentaje de acero es  $\rho_w = 0.0033$ , según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero según ACI debe ser menor al porcentaje de acero existente, esta condicional cumple.

$$\rho_{w\text{existente}} > \rho_{wACI}$$

- Cálculo de  $\beta_1$

Según el ACI 318-19 en la tabla 22.2.2.4.3, asumiendo la formula (a) dado que la fuerza de compresión es de 4,000 Psi, el cual está en el rango de 2,500 Psi (17 Mpa) y 4,000 Psi (28 Mpa), el valor de  $\beta_1$  es equivalente a 0.85.

- Cálculo de T

$$T = A_s * f_y$$

*Ecuación 3-26 - Tensión del acero*

$$T = 6.2832 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} = 376.9920 \text{ Klb}$$

- Cálculo de Ac

$$A_c = \frac{T}{0.85 * f'c}$$

$$A_c = \frac{376.9920 \text{ Klb}}{0.85 * 4 \text{ Ksi}} = 110.8797 \text{ in}^2$$

*Ecuación 3-27 - área del concreto*

Debidamente el área del concreto  $A_c$ , debe ser menor al área del patín

$$A_{patin} = bf * hf$$

*Ecuación 3-28 - Área del patín*

$$A_{patin} = 30 \text{ in} * 4 \text{ in} = 120 \text{ in}^2$$

Dado que,  $A_c < A_{patin}$ , el eje neutro se encuentre en el patín, el cálculo de  $a$ :

$$a = \frac{A_c}{bf}$$

$$a = \frac{110.8797 \text{ in}^2}{30 \text{ in}} = 3.6990 \text{ in}$$

- El valor de  $c$  sería:

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{3.6990 \text{ in}}{0.85} = 4.3482 \text{ in}$$

- Deformación unitaria longitudinal de fluencia

Se necesita realizar la comprobación del acero a tensión, se comienza con la deformación unitaria longitudinal de fluencia del acero, el cual es la relación de la fluencia del acero respecto al grado de este mismo y el módulo de elasticidad.

$$\epsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29,869,021 \text{ Psi}} = 0.0020$$

- Deformación unitaria longitudinal a tensión

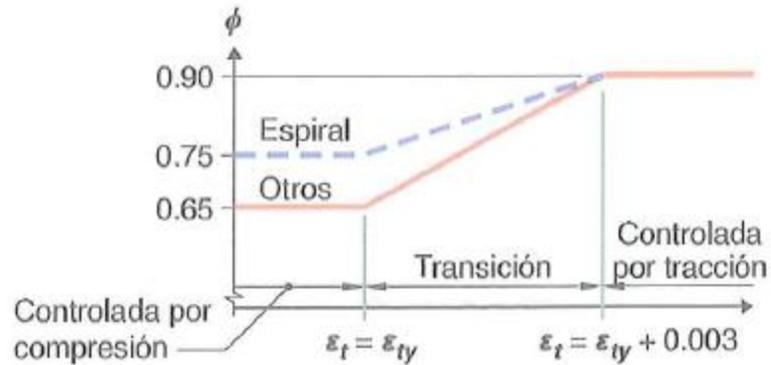


Ilustración 3-14 - Deformación unitaria longitudinal para vigas con sección T y L

Según ACI 318-19 en la imagen R21.2.2<sup>b</sup> refiere que el elemento se debe comportar a tracción, por lo tanto habrá una falla dúctil. Esto conllevará a que el acero llegue a su estado límite de fluencia antes que el concreto falle por compresión. :

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{29.5 \text{ in} - 4.3482 \text{ in}}{4.3482 \text{ in}} * 0.003 = 0.0174$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción de resistencia

La normativa constructiva ACI 318-19 en la tabla 21.2.2 hace mención al cálculo de factor de reducción;

$$\epsilon_{ty} + 0.003 < \epsilon_t$$

$$0.0051 < 0.0174$$

$$\phi = 0.9$$

El acero cederá, lo cual, es lo indicado para que tenga una falla dúctil así mismo comportándose a tracción.

El valor del brazo de palanca se determinaría:

$$Bp = d - \frac{a}{2}$$

$$Bp = 29.5 \text{ in} - \frac{3.6990 \text{ in}}{2}$$

$$Bp = 27.6505 \text{ in}$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

Al ver la ecuación obtendremos que:

$$\phi M_n = \phi * T * Bp$$

$$\phi M_n = 0.9 * 376.9920 \text{ Klb} * 27.6505 \text{ in}$$

$$\phi M_n = 9,381.6156 \text{ Klb} * \text{in}$$

Por lo tanto, sabremos que la viga está un momento nominal reducido con su factor de reducción de  $\phi M_n = 9,381.6156 \text{ Klb} * \text{in}$  lo cual con este parámetro fue diseñada, no obstante, el reforzamiento estructural externo mediante el recredido de hormigón comúnmente ocurre cuando se cambiará de uso la edificación, por lo tanto, si se aumentara el momento último a  $M_u = 13,000 \text{ Klb} * \text{in}$  obtendremos nueva solicitud y se debería re diseñar el elemento.

### 3.3.2. Cálculo de recredido con las nuevas solicitudes

- Propuesta de incremento de h: 3 in
- Propuesta de incremento en bw : 5 in
- Propuesta de porcentaje de aumento en acero longitudinal en zona de tensión: 1.4%

El cálculo de recredido de hormigón para momento positivo en vigas T, será a través de proponer una nueva sección y porcentaje de acero longitudinal. Por lo tanto, se propone por criterio incrementar 1.4 % más del acero existente y así también un incremento de sección, Esto para que soporte el nuevo momento  $M_u = 13,000 \text{ Klb} * \text{in}$ , los nuevos parámetros de la viga son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 3 in y "bw" a 5 in.			
bw	23 in	f'c	4,000 Psi
h	35 in	fy	60,000 Psi

Ilustración 3-15 - Nueva sección, Viga T, recrecido de hormigón

Se debe calcular un nuevo peralte efectivo, por lo tanto, se propone por criterio el planteamiento de la ecuación para determinar la distancia del centroide entre la barra del refuerzo existente y el nuevo refuerzo que se colocará en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga.

Representando dicha explicación con la ilustración 3-7 “Nueva distancia para peralte efectivo, recrecido de hormigón, vigas S. Reforzada, momento positivo”. Siendo el mismo proceso lógico en vigas simplemente reforzadas y vigas T con momento positivo:

$$d = (d - \text{recubrimiento}) + \left( \frac{\frac{\text{recrecido propuesto}}{2} + \text{recubrimiento} + \frac{\# \text{ de varilla longitudinal}}{2}}{2} \right)$$

$$d = (32 \text{ in} - 2.5 \text{ in}) + \left( \frac{\frac{3 \text{ in}}{2} + 2.5 \text{ in} + \frac{\# 8}{2}}{2} \right) = 31.75 \text{ in}$$

Asumiendo un recrecido de 3 in, se obtiene que el nuevo valor “d” siendo de 31.75 in.

- Área de acero que requiere el elemento al incremento de carga

La nueva área de acero depende de proponer una nueva cantidad de acero, por lo tanto, se asume un 40 % más del área de acero existente.

$$A_{S_{propuesto}} = A_s * 1.4$$

$$A_{S_{propuesto}} = 6.2832 \text{ in}^2 * 1.4 = 8.7965 \text{ in}^2$$

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{A_{s_{propuesto}}}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{8.7965 \text{ in}^2}{23 \text{ in} * 31.75 \text{ in}} = 0.0120$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{f'c'}}{fy} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{fy}$$

*La mayor de ambas*

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00333$$

Según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero según ACI debe ser menor al porcentaje de acero propuesto, la condicional cumple.

$$\rho_{w_{propuesto}} > \rho_{wACI}$$

- Se vuelve a calcular T:

$$T = A_{s_{propuesto}} * fy$$

$$T = 8.7965 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} = 527.79 \text{ Klb}$$

- Calculo de Ac:

$$Ac = \frac{T}{0.85 * f'c}$$

$$Ac = \frac{527.79 \text{ Klb}}{0.85 * 4 \text{ Ksi}} = 155.2324 \text{ in}^2$$

Debidamente el área del concreto Ac, debe ser menor al área del patín

$$A_{patin} = bf * hf$$

$$A_{patin} = 30 \text{ in} * 4 \text{ in} = 120 \text{ in}^2$$

Dado que,  $A_c > A_{patin}$ :

$$A_{alma} = A_c - A_{patin}$$

$$A_{alma} = 155.2324 \text{ in}^2 - 120 \text{ in}^2 = 35.2324 \text{ in}^2$$

Calculando la altura de la nueva área que necesita la zona de compresión:

$$z = \frac{A_{alma}}{bw}$$

$$z = \frac{35.2324 \text{ in}^2}{23 \text{ in}} = 1.5318 \text{ in}$$

Determinado este valor, se puede conocer el valor de  $a$ , siendo la altura de compresión en el eje neutro:

$$a = hf + z$$

$$a = 4 \text{ in} + 1.5318 \text{ in} = 5.5318 \text{ in}$$

- El valor de  $c$  sería:

$$c = \frac{a}{\beta_1}$$

$$c = \frac{5.5318 \text{ in}}{0.85} = 6.5080 \text{ in}$$

Se debe determinar un nuevo valor siendo “ $d_t$ ” para conocer la deformación unitaria a tracción, por lo tanto este dato se obtiene a través de proponer la ecuación según los nuevos parámetros del incremento de “ $h$ ” y “ $bw$ ”. Obteniendo la distancia de la nueva barra de refuerzo en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga, donde este dato se puede observar en el código ACI 318-19 en la imagen R21.2.2<sup>a</sup>, Representando gráficamente lo antes mencionado en la ilustración 3-8 “Nueva distancia “ $d_t$ ” para el cálculo de

deformaciones unitarias”, siendo el mismo proceso lógico en vigas simplemente reforzadas y vigas T con momento positivo:

$$d_t = \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} + h$$

$$d_t = \frac{3}{2} + 32 \text{ in} = 33.5 \text{ in}$$

- Deformación unitaria longitudinal a tensión:

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{33.5 \text{ in} - 6.5080 \text{ in}}{6.5080 \text{ in}} * 0.003 = 0.0124$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción

$$0.003 + \epsilon_{ty} < \epsilon_t$$

$$0.00510 < 0.0124$$

$$\phi = 0.9$$

- Cálculo de distancia y de la parte superior del patín al centro de gravedad  $A_c$

$$y = \frac{\left( A_c * \frac{hf}{2} \right) + \left( A_{alma} * \left( hf + \frac{A_{alma}}{bw} \right) \right)}{A_c}$$

$$y = \frac{\left( 155.2324 \text{ in}^2 * \frac{4 \text{ in}}{2} \right) + \left( 35.2324 \text{ in}^2 * \left( 4 \text{ in} + \frac{35.2324 \text{ in}^2}{23 \text{ in}} \right) \right)}{155.2324 \text{ in}^2}$$

$$y = 3.0817 \text{ in}$$

- El brazo de palanca se determinará:

$$Bp = d - y$$

$$Bp = 31.75 \text{ in} - 3.0817 \text{ in} = 28.6683 \text{ in}$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

Al ver la ecuación obtendremos que:

$$\phi M_n = \phi * T * Bp$$

$$\phi M_n = 0.9 * 527.79 \text{ Klb} * 28.6683 \text{ in}$$

$$\phi M_n = 13,617.7579 \text{ Klb} * \text{in}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $13,617.7579 \text{ Klb} * \text{in} \geq 13,000 \text{ klb} * \text{in}$ , si cumple.

### 3.3.3. Revisión por cortante

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.1.3, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , donde:  $V_u = 70,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 69.2775978 \text{ Klb} \leq V_u = 70 \text{ Klb}$$

La separación de refuerzo transversal será:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{31.75 \text{ in}}{2} = 15.8750 \text{ in}$$

Comprobación la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , siguiendo la ecuación 25.5.1.1

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{69,277.5978 \text{ Lb}}{0.75} = 92,370.1305 \text{ Lb}$$

$$V_n = 92,370.1305 \text{ Lb} + 53,013.60 \text{ Lb} = 145,383.7305 \text{ Lb}$$

$$\phi V_n = 145,383.7304 \text{ Lb} * 0.75$$

$$\phi V_n = 109,037.7978 \text{ Lb}$$

Por lo tanto:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$109,037.7978 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$$

Esta condicional, cumple.

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 70,000 \text{ lb}$ .

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f'c'} * bw * d)$$

$$50,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (92,370.1305 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 23 \text{ in} * 31.75 \text{ in})$$

$$50,000 \text{ Lb} \leq 346,387.9892 \text{ Lb}$$

*Ecuación 3-29 - comprobación de cortante, según ACI 318-19*

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $346,387.9892 \text{ Lb} \geq 70,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

- Cálculo del nuevo refuerzo al elemento

$$A_{S_{distribución}} = A_{S_{propuesto}} - A_s$$

$$A_{S_{distribución}} = 8.7965 \text{ in}^2 - 6.2832 \text{ in}^2 = 2.5133 \text{ in}^2$$

Por lo tanto,  $A_{st} = 1.96350 \text{ in}^2$  es la cantidad de acero que se debe colocar en la zona de tensión.

### 3.3.4. Distribución de refuerzo que necesita el elemento

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.1, los espaciamientos son de 25 mm y  $d_b$ , por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar en la zona de tensión es mediante una condición, el cual podemos observar:

Distribución de acero:

$$\frac{A_{s_{distribución}}}{\text{Área de barra}} \leq bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}$$

$$\frac{2.5133 \text{ in}^2}{0.1963 \text{ in}^2(\text{Barra \#4})} \leq 23 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.25 \text{ in}}$$

$$13 \text{ barras \#4} \leq 20 \text{ barras}$$

Separación de acero:

$$S = \frac{bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}}{\frac{A_{s_{distribución}}}{\text{Área de barra}}}$$

$$S = \frac{20 \text{ barras}}{13 \text{ Barras \#4}} = 1.5385 \text{ in}$$

Separación máxima según ACI 318-19, Sección 24.3.2:

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{f_s} \right) - 2.5 * C_c$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) - 2.5 * \text{Recubrimiento}$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * 60,000 \text{ Psi}} \right) - 2.5 * 2.5 \text{ in} = 8.75 \text{ in}$$

Como también:

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{f_s} \right)$$

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * fy} \right) = 12 \text{ in}$$

Obteniendo la separación máxima según ACI, se elige la menor separación:

$$S = \frac{20 \text{ barras}}{13 \text{ Barras \#4}} = 1.5385 \text{ in} \leq S_{ACI} = 8.75 \text{ in}$$

- Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

Se concluye que la separación que tendrán las barras longitudinales será a cada 1.5385 in. Por lo tanto, la cantidad máxima de barras que permite la sección son 20, siguiendo esta secuencia lógica de la relación del acero total y el área de una propuesta de barra, se determinó que es preciso colocar 13 barras # 4 in, con incremento en “h” de 3 in y “bw” a 5 in, con un aumento de 1.4% de acero de refuerzo longitudinal para  $M_u = 13,000 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $V_c = 70,000 \text{ Lb}$ .

Así mismo, se recomienda colocar 2 barras #3 de manera longitudinal en la zona superior de la viga para el correcto confinamiento de los estribos a colocarse.

- Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocarán estribos #3 a una distancia crítica de 31.75 in a cada 15.8750 in, así también en el resto de la sección de la viga a cada 15.8750 in.

Resaltando el siguiente comentario, Para realizar el método recrecido de hormigón para vigas T y L con momento negativo, se deberá implementar con la sección 3.4, el cual será como viga doblemente reforzada dado que el patín se comporta a tracción y esto hace que no se consideren en los cálculos.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO  
EN VIGAS T

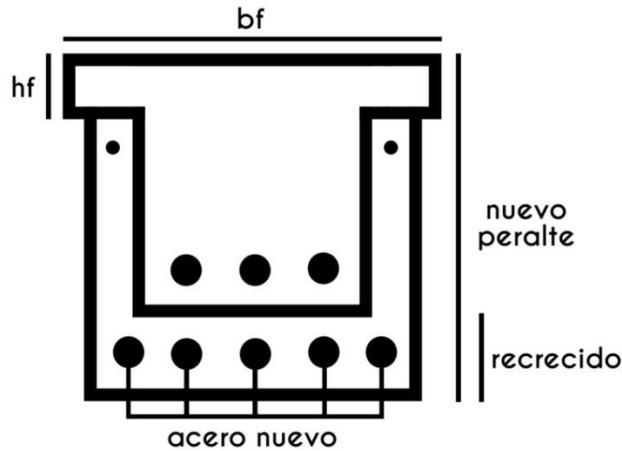


Ilustración 3-16 - Representación gráfica de la nueva distribución en la sección, viga T convencional, recrecido de hormigón

**3.4. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en vigas doblemente reforzadas con momento positivo**

Las secciones doblemente reforzadas se vuelven necesarias por limitaciones arquitectónicas de pre dimensionamiento, así mismo en ocasiones la sección no es capaz de resistir el momento aplicado, una sección con refuerzo en compresión tiene una ductilidad mayor al de una sección simplemente reforzada.

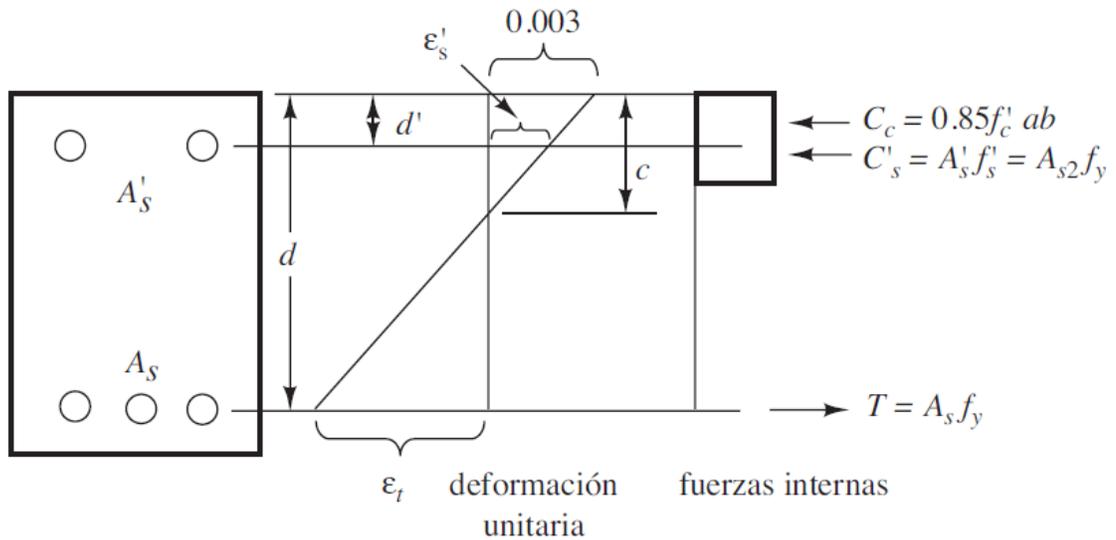


Ilustración 3-17 - Deformaciones unitarias y fuerzas internas de viga Doblemente Reforzada

Los parámetros que se necesitan para determinar el momento último actuante es la base, altura, recubrimiento, fuerza de compresión del concreto, fluencia del acero, así mismo el valor de  $\beta_1$  siendo dependiente de la resistencia a la compresión del concreto el cual se hace referencia de este cálculo en la sección 3.1 del presente capítulo, cantidad de barras en tensión como su diámetro comercial en tensión, cantidad de barras en compresión como su diámetro comercial en compresión:

Datos de sección sin recrecido			
bw	15 in	Barras en tensión	3 Barras
h	20 in	Barras en compresión	3 Barras
Recubrimiento	2.5 in	# de varilla longitudinal a tensión	#6
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal a compresión	#4
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-18 - Parámetros de viga D. reforzada para flexión positiva

### 3.4.1. Cálculo de $\phi M_n$ existente

El cálculo de área, se basa principalmente por el diámetro comercial de la barra que está colocada en el elemento existente, esto es fundamental para cálculo de a, siendo este, la altura del bloque a compresión.

- Área de acero en tensión

$$A_s = \left( \frac{\frac{\#Barra\ comercial}{8}}{2} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$A_s = \left( \frac{\left(\frac{6}{8}\right)}{2} \right)^2 * \pi * 3 = 1.32536\ in^2$$

- Área de acero en compresión

$$A_s' = \left( \frac{\frac{\#Barra\ comercial}{8}}{2} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$As' = \left( \frac{\left( \frac{4}{8} \right)^2}{2} \right) * \pi * 3 = 0.58905 \text{ in}^2$$

- Cálculo de c

$$c = \frac{(As - As') * Fy}{0.85 * F'c * b * \beta 1}$$

$$c = \frac{(1.32536 \text{ in}^2 - 0.58905 \text{ in}^2) * 60 \text{ Ksi}}{0.85 * 4 \text{ Ksi} * 15 \text{ in} * 0.85} = 1.01911 \text{ in}$$

- Cálculo de a

$$a = c * \beta 1$$

$$a = 1.01911 \text{ in} * 0.85 = 0.86625 \text{ in}$$

- Deformaciones unitarias del acero

$$\epsilon_{ty} = \frac{fy}{Es}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29,869,021 \text{ Psi}} = 0.00201$$

Deformación unitaria longitudinal a compresión:

$$\epsilon_{t'} = \frac{c - d'}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t'} = \frac{1.01911 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{1.01911 \text{ in}} * 0.003 = -0.00436$$

Deformación unitaria longitudinal a tensión:

$$\epsilon_t = \frac{d - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{17.5 \text{ in} - 1.01911 \text{ in}}{1.01911 \text{ in}} * 0.003 = 0.0485$$

Si se hiciera una recapitulación en la sección 3.1, el cual se hace mención de la obtención de cómo realizar las deformaciones unitarias del acero, llegamos a la conclusión que:

$$\epsilon_{ty} + 0.005 \leq \epsilon_t$$

$$0.0021 + 0.005 \leq 0.0485$$

El acero cederá, lo cual, es lo indicado para que tenga una falla dúctil así mismo comportándose a tracción.

- Utilización de función cuadrática para cálculo de C

Tal que  $\epsilon_{t'} > \epsilon_y$  el acero fluye, sin embargo, la deformación unitaria del acero a compresión es menor a la deformación longitudinal de fluencia del acero, esta condición no cumple, por consiguiente, es necesario realizar una ecuación cuadrática para determinar el nuevo valor de c.

Despeje de variables para el cálculo de c:

$$A_s * f_y = 0.85 * f_c' * \beta_1 * c * bw + A_s' \left( \frac{c - d'}{c} \right) * 0.003 * E_s$$

$$0 = 0.85 * f_c' * \beta_1 * c * bw + A_s' \left( \frac{c - d'}{c} \right) * 0.003 * E_s - A_s * f_y$$

$$0 = 0.85 * 4 \text{ Ksi} * 0.85 * c * 15 \text{ in} + 1.20 \text{ in}^2 \left( \frac{c - 2.5 \text{ in}}{c} \right) * 0.003 * 29,869,021 \text{ Psi} - 4.9087 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi}$$

*Ecuación 3-30 - Despeje de variables para función cuadrática*

- Cálculo de función a:

$$a = f_c' * bw * \beta_1 * 0.85$$

$$a = 4,000 \text{ Psi} * 15 \text{ in} * 0.85 * 0.85 = 43,350$$

- Cálculo de función b:

$$b = (A_s' * E_s * 0.003) - (f_y * A_s)$$

$$b = (0.58905 \text{ in}^2 * 29.869021 \times 10^6 \text{ Psi} * 0.003) - (60,000 \text{ Psi} * 1.32536 \text{ in}^2) = -26,738.55954$$

- Cálculo de función c:

$$c = As' * E_s * -d' * 0.003$$

$$c = 0.58905 \text{ in}^2 * 29.869021 \times 10^6 \text{ Psi} * (-2.5 \text{ in}) * 0.003 = -131,957.6012$$

- Cálculo de formula general:

$$C1 = \frac{-b + \sqrt{(b^2) - 4ac}}{2a}$$

*Ecuación 3-31 -Ecuación cuadrática*

*C1*

$$= \frac{-(-26,738.55954) + \sqrt{(-26,738.55954)^2 - (4 * 43,350 * (-131,957.6012))}}{2 * 43,350}$$

$$\mathbf{C1 = 2.0802 \text{ in}}$$

$$C2 = \frac{-b - \sqrt{(b^2) - 4ac}}{2a}$$

*C2*

$$= \frac{-(-26,738.55954) - \sqrt{(-26,738.55954)^2 - (4 * 43,350 * (-131,957.6012))}}{2 * 43,350}$$

$$\mathbf{C2 = -1.4634 \text{ in}}$$

***Por lo tanto c = 2.0802 in***

- Calculo de a:

$$a = c * 0.85$$

$$a = 2.0802 \text{ in} * 0.85 = 1.76817 \text{ in}$$

- Recalculando la deformación unitaria longitudinal del acero a compresión:

$$\epsilon t' = \frac{c - d'}{c} * 0.003$$

$$\epsilon t' = \frac{2.0802 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{2.0802 \text{ in}} * 0.003 = -0.00061$$

*Ecuación 3-32 - Deformación unitaria del acero a compresión*

- Recalculando la deformación unitaria longitudinal del acero a tensión:

$$\epsilon t = \frac{d - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon t = \frac{17.5 \text{ in} - 2.0802 \text{ in}}{2.0802 \text{ in}} * 0.003 = 0.02224$$

*Ecuación 3-33 - Deformación unitaria de acero a tensión*

- Esfuerzo del acero en la zona de compresión:

$$f_s = E_s * \epsilon t'$$

$$f_s = 29.869021 \times 10^6 \text{ Psi} * -0.00061 = -18.08338 \text{ Ksi}$$

*Ecuación 3-34 - Esfuerzo del acero*

- Determinación de áreas de acero para el equilibrio del elemento

El cálculo de As1 y As2, refiere a la cantidad de acero en la zona de tensión que necesitará el elemento en cuestión para que este se encuentre en equilibrio.

$$As2 = \frac{As' * fs'}{fy}$$

*Ecuación 3-35 - As2 para equilibrio en viga*

$$As2 = \frac{0.58905 \text{ in}^2 * -18.08338 \text{ Ksi}}{60 \text{ Ksi}} = -0.17753 \text{ in}^2$$

$$As1 = As - As2$$

$$As1 = 1.32536 \text{ in}^2 + -0.17753 \text{ in}^2 = 1.50289 \text{ in}^2$$

*Ecuación 3-36 - As1 para equilibrio en vigas*

- Cálculo del factor de reducción

$$\epsilon ty + 0.003 \leq \epsilon t$$

$$0.0021 + 0.003 \leq 0.02224$$

$$\phi = 0.9$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

$$\phi M_n = \phi \left( As1 * fy * \left( d - \frac{a}{2} \right) + As' * fs * (d - d') \right)$$

*Ecuación 3-37 Momento en viga doblemente reforzadas*

$$\phi M_n = 0.9 * \left( 1.50289 \text{ in}^2 * 60 \text{ ksi} * \left( 17.5 \text{ in} - \frac{1.76817 \text{ in}}{2} \right) + 0.58905 \text{ in}^2 * -18.08338 \text{ Ksi} * (15 \text{ in}) \right)$$

$$M_u = 1,204,67999 \text{ Klb} * \text{in}$$

Por lo tanto, sabemos que la viga soporta  $M_u = 1,204,67999 \text{ Klb} * \text{in}$  lo cual con este parámetro fue diseñada, no obstante, el reforzamiento estructural externo mediante el recredido de hormigón comúnmente ocurre cuando se cambiará de uso la edificación, por lo tanto, si se aumentara el momento último a  $M_u = 2,000 \text{ Klb} * \text{in}$  obtendremos nueva sollicitación y se debería re diseñar el elemento. Proponiendo un recredido en la zona de tracción (Parte inferior de la viga) con un porcentaje de acero.

#### 3.4.2. Cálculo de recredido con nuevas sollicitaciones

- Propuesta de incremento de h: 4 in
- Propuesta de incremento en bw: 5 in
- Propuesta de porcentaje de aumento en acero longitudinal en zona de tensión: 2.4%

El cálculo de recrecido de hormigón para vigas doblemente reforzadas con momento positivo, será a través de proponer una nueva sección y porcentaje de acero longitudinal en zona de tensión. Por lo tanto, se propone por criterio incrementar 2.4 % más del acero existente. Esto para que soporte el nuevo momento  $M_u = 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$ , los nuevos parámetros de la viga son:

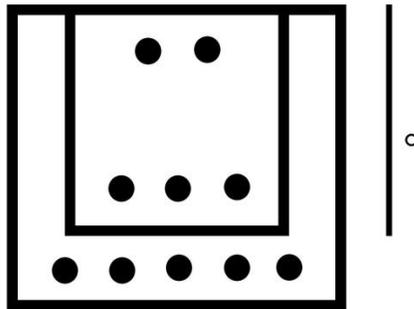
Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 4 in y "bw" a 5 in.			
bw	20 in	f'c	4,000 Psi
h	24 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-19 - Nueva sección, viga D. Reforzada momento positivo, recrecido de hormigón*

Por consiguiente, se aumentará un 2.4 % el de acero que se encuentra a tensión, obteniendo:

- Área de acero propuesta en tensión =  $1.3254 \text{ in}^2 * 2.4 = 3.1810 \text{ in}^2$

Se debe calcular un nuevo peralte efectivo, por lo tanto, se propone por criterio el planteamiento de la ecuación para determinar la distancia del centroide entre la barra del refuerzo existente y el nuevo refuerzo que se colocará en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga, representando dicha explicación con la ilustración 3-19 “Nueva distancia para peralte efectivo, viga D. Reforzada convencional, recrecido de hormigón, momento positivo”:



*Ilustración 3-20 - Nueva distancia para peralte efectivo, viga D. Reforzada convencional, recrecido de hormigón, momento positivo*

$$d = (h - \text{recubrimiento}) + \left( \frac{\frac{\text{Recrecido propuesto}}{2} + \text{recubrimiento} + \frac{\# \text{ de varilla longitudinal}}{8}}{2} \right)$$

Ecuación 3-38 - Centro de gravedad entre barras para recrecido en vigas doblemente reforzadas

$$d = (20 \text{ in} - 2.5 \text{ in}) + \left( \frac{\frac{4 \text{ in}}{2} + 2.5 \text{ in} + \frac{\# 6}{2}}{2} \right) = 19.9375 \text{ in}$$

Se debe determinar un nuevo valor siendo “d<sub>t</sub>” para conocer la deformación unitaria a tracción, por lo tanto este dato se obtiene a través de proponer la ecuación según los nuevos parámetros del incremento de “h” y “bw”. Obteniendo la distancia de la nueva barra de refuerzo en zona de tracción (momento positivo), hasta la parte superior de la viga, donde este dato se puede observar en el código ACI 318-19 en la imagen R21.2.2<sup>a</sup>, Representando gráficamente lo antes mencionado en la ilustración 3-20:

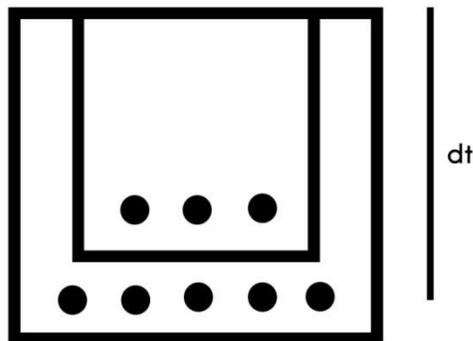


Ilustración 3-21 - Nueva distancia para "d<sub>t</sub>", cálculo de deformación unitaria a tracción, vigas D. Reforzadas, recrecido de hormigón, momento positivo

$$d_t = h + \frac{\text{recrecido propuesto}}{2}$$

$$d_t = 20 \text{ in} + \frac{4 \text{ in}}{2} = 22 \text{ in}$$

- Cálculo de c:

$$c = \frac{(A_{s_{propuesto}} - A_{s'}) * f_y}{0.85 * f'_c * b * \beta_1}$$

$$c = \frac{(3.1810 \text{ in}^2 - 0.58905 \text{ in}^2) * 60 \text{ Ksi}}{0.85 * 4 \text{ Ksi} * 20 \text{ in} * 0.85} = 2.6906 \text{ in}$$

- Cálculo de a:

$$a = c * \beta_1$$

$$a = 2.6906 \text{ in} * 0.85 = 2.2870 \text{ in}$$

Recalculando las deformaciones unitarias del acero

- Deformación por fluencia

$$\epsilon_{ty} = \frac{f_y}{E_s}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29,869,021 \text{ Psi}} = 0.0020$$

- Deformación unitaria longitudinal del acero a compresión

$$\epsilon_{t'} = \frac{c - d'}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t'} = \frac{2.6906 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{2.6906 \text{ in}} * 0.003 = 0.0002$$

$\epsilon_{t'} \leq \epsilon_{ty}$  por lo tanto la condición no cumple.

- Deformación unitaria longitudinal del acero a tensión

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{22 \text{ in} - 2.6906 \text{ in}}{2.6906 \text{ in}} * 0.003 = 0.0215$$

Por lo tanto el elemento se comportará:

$$\epsilon_{ty} + 0.005 < \epsilon_t$$

$$0.0021 + 0.003 < 0.0215$$

El acero cederá, lo cual, es lo indicado para que tenga una falla dúctil, así mismo comportándose a tracción.

Tal que  $\epsilon_{t'} > \epsilon_y$  el acero fluye, sin embargo, la deformación unitaria del acero a compresión es menor a la deformación longitudinal de fluencia del acero, esta condición no cumple, por consiguiente, es necesario realizar una ecuación cuadrática para determinar el nuevo valor de C.

Se seguirá la misma secuencia de cálculos empleada en la sección 3.4.1, al momento de realizar despeje de ecuación para encontrar el valor de "c"

$$c = 3.120495 \text{ in}$$

- Cálculo de a:

$$a = c * \beta_1$$

$$a = 3.12045 \text{ in} * 0.85 = 2.6524 \text{ in}$$

- Recalculando la deformación unitaria longitudinal del acero a compresión:

$$\epsilon_{t'} = \frac{c - d'}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t'} = \frac{3.12045 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{3.12045 \text{ in}} * 0.003 = 0.0006$$

- Recalculando la deformación unitaria longitudinal del acero a tensión:

$$\epsilon_t = \frac{d_t - c}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{22 \text{ in} - 3.12045 \text{ in}}{3.12045 \text{ in}} * 0.003 = 0.0182$$

- Esfuerzo del acero en la zona de compresión:

$$f_s = E * \epsilon'$$

$$f_s = 29.869021 \times 10^6 \text{ Psi} * 0.0006 = 17.9214 \text{ Ksi}$$

- Cálculo de As2:

$$As2 = \frac{As' * fs'}{fy}$$

$$As2 = \frac{0.58905 \text{ in}^2 * 17.9214 \text{ Ksi}}{60 \text{ Ksi}} = 0.1759 \text{ in}^2$$

- Cálculo de As1:

$$As1 = As_{propuesto} - As2$$

$$As1 = 3.1810 \text{ in}^2 - (0.1759 \text{ in}^2) = 3.0051 \text{ in}^2$$

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{As_{propuesto} + As'}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{3.7701 \text{ in}^2}{20 \text{ in} * 19.9375 \text{ in}} = 0.0095$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{fc'}}{fy} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{fy}$$

*La mayor de ambas*

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.0033$$

La cuantía de acero es  $\rho_{wACI} = 0.00333$ , según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero debe ser menor al del refuerzo propuesto, esta condicional cumple.

$$\rho_{wpropuesto} > \rho_{wACI}$$

- Cálculo para el factor de reducción:

$$\epsilon_t y + 0.003 < \epsilon_t$$

$$0.0021 + 0.003 < 0.0182$$

$$\phi = 0.9$$

**Por lo tanto  $\phi = 0.9$**

- Comprobación de  $\phi M_n$

$$\phi M_n = \phi \left( A_s1 * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' * f_s * (d - d') \right)$$

$$\phi M_n = 0.9 \left( 3.0051 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} * \left( (19.9375 \text{ in}) - \frac{2.6524 \text{ in}}{2} \right) + 0.58905 \text{ in}^2 * 17.9214 \text{ Ksi} (17.4375 \text{ in}) \right)$$

$$\phi M_n = 3,185.8288 \text{ Klb} * \text{in}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19 es  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $3,185.8288 \text{ Klb} * \text{in} \geq 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$ , si cumple.

### 3.4.3. Revisión por cortante

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.1.3, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , donde:  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 37.8287465 \text{ Klb} \leq V_u = 50 \text{ Klb}$$

La separación de refuerzo transversal será:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{19.9375 \text{ in}}{2} = 9.9688 \text{ in}$$

Comprobación la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , siguiendo la ecuación 25.5.1.1

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{37,828.7465 \text{ Lb}}{0.75} = 50,438.3287 \text{ Lb}$$

$$V_n = 50,438.3287 \text{ Lb} + 53,013.60 \text{ Lb} = 103,451.9287 \text{ Lb}$$

$$\phi V_n = 103,451.9287 \text{ Lb} * 0.75$$

$$\phi V_n = 77,588.9465 \text{ Lb}$$

Por lo tanto:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$77,588.9465 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$$

Esta condicional, cumple.

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 50,000 \text{ lb}$ .

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f'c'} * bw * d)$$

$$50,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (50,438.3287 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 20 \text{ in} * 19.9375 \text{ in})$$

$$50,000 \text{ Lb} \leq 189,143.7324 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $189,143.7324 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

#### 3.4.4. Distribución de refuerzo que necesita el elemento

La base fundamental del método es, saber cuánto acero necesita el elemento existente aumentando su momento último actuante, por lo tanto, el siguiente

paso a seguir es el área de acero total, este se determina mediante la resta de las áreas:

$$A_{S_{distribución}} = A_{S_{propuesto}} - A_S$$

$$A_{S_{distribución}} = 3.1810 \text{ in}^2 - 1.3254 \text{ in}^2 = 1.8556 \text{ in}^2$$

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.1, los espaciamientos son de 25 mm y  $d_b$ , por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar en la zona de tensión es mediante una condición, el cual podemos observar:

$$\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}} \leq bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}$$

$$\frac{1.8556 \text{ in}^2}{0.1963 \text{ in}^2(\text{Barra \#4})} \leq 20 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.25 \text{ in}}$$

$$9 \text{ barras \#4} \leq 17 \text{ barras}$$

Separación de acero:

$$S = \frac{bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}}{\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra}}}$$

$$S = \frac{17 \text{ barras}}{9 \text{ Barras \#4}} = 1.8889 \text{ in}$$

Separación máxima según ACI 318-19, Sección 24.3.2:

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{f_s} \right) - 2.5 * C_c$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) - 2.5 * \text{Recubrimiento}$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * 60,000 \text{ Psi}} \right) - 2.5 * 2.5 \text{ in} = 8.75 \text{ in}$$

Como también:

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{f_s} \right)$$

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) = 12 \text{ in}$$

Obteniendo la separación máxima según ACI, se elige la menor separación:

$$S = \frac{17 \text{ barras}}{9 \text{ Barras \#4}} = 1.8889 \text{ in} \leq S_{ACI} = 8.75 \text{ in}$$

- Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

Por lo tanto, la cantidad máxima de barras longitudinales que permite la sección son 17, siguiendo esta secuencia lógica de la relación del acero total y el área de una propuesta de barra, se determinó que es preciso colocar 9 barras #4 a cada 1.8889 in con incremento en “h” de 4 in y “bw” de 5 in, con un aumento de 2.4 % de acero de refuerzo longitudinal para  $M_u = 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$ .

Así mismo, se recomienda colocar 2 barras #3 de manera longitudinal en la zona superior de la viga para el correcto confinamiento de los estribos a colocarse.

- Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocarán estribos #3 a una distancia crítica de 19.9375 in a cada 9.9688 in, así también en el resto de la sección de la viga a cada 9.9688 in.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO  
EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS

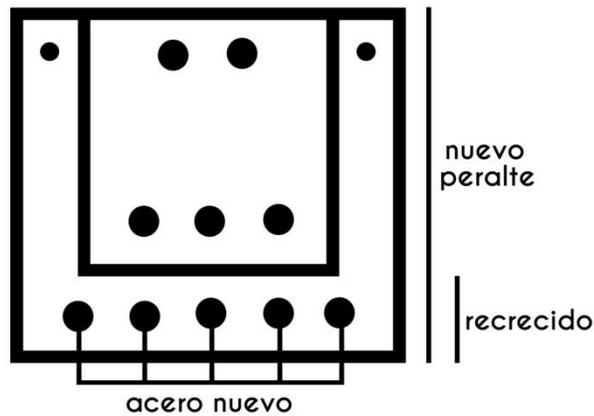


Ilustración 3-22 - Representación gráfica de la nueva distribución de refuerzo, viga D. Reforzada convencional, recorcido de hormigón

### 3.5. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recorcido de hormigón en vigas doblemente reforzadas con momento negativo

El reforzamiento estructural externo mediante el método recorcido de hormigón en vigas doblemente reforzadas con momento negativo se basa en la misma metodología de esta misma con momento positivo en la sección 3.4 del presente capítulo.

Las vigas doblemente reforzadas con momento negativo, lo único que difiere cuando tiene un momento positivo, es su recorcido, el cual solo se basa de concreto más no de acero.

Datos de sección sin recorcido			
bw	14 in	Barras en tensión	4 Barras
h	16 in	Barras en compresión	3 Barras
Recubrimiento	3 in	# de varilla longitudinal a tensión	#6
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal a compresión	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-23 - Parámetro para viga D. reforzada con flexión negativa

### 3.5.1. Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones

- Propuesta de aumento de "h": 3 in
- Propuesta de aumento de "bw": 5 in

El cálculo de recrecido de hormigón para momento negativo será a través de proponer una nueva sección. Por lo tanto, se propone incremento de 3 in en "h" y 5 in en "bw", siendo así, un nuevo peralte de 19 in. Esto para que soporte el nuevo momento  $M_u = 1,700 \text{ Klb} \cdot \text{in}$ . Por lo tanto los nuevos parámetros del elemento son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 3 in y "bw" a 5 in.			
bw	19 in	f'c	4,000 Psi
h	19 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-24 - Nueva sección, viga D. Reforzada momento negativo, recrecido de hormigón*

Se debe calcular un nuevo peralte efectivo, por lo tanto, se propone por criterio el planteamiento de la ecuación, siendo la diferencia de la sección existente y el recubrimiento, con la sumatoria del nuevo recrecido propuesto, esto cuando la viga tiene momento negativo:

Siguiendo otra explicación metodológica, es un cálculo simple de un peralte efectivo similar al de cualquier viga sin aplicarle el método recrecido de hormigón:

$$d = (h - \text{recubrimiento}) + \text{Recrecido propuesto}$$

$$d = (16 \text{ in} - 3 \text{ in}) + 3 \text{ in} = 16 \text{ in}$$

Se calcula un nuevo  $d'$ , el cual se empleará en la nueva deformación unitaria a compresión:

$$d' = d' + \text{Recrecido propuesto}$$

$$d' = 3 \text{ in} + 3 \text{ in} = 6 \text{ in}$$

*Ecuación 3-39 - Distancia en la que se produce una deformación unitaria a compresión en vigas doblemente reforzadas*

- Comprobación de  $\phi M_n$

$$\phi M_n = \phi \left( A_s1 * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) + A_s' * f_s * (d - d') \right)$$

$$\phi M_n = 0.9 \left( 3.1924 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} * \left( (16 \text{ in}) - \frac{2.9651 \text{ in}}{2} \right) + 1.3254 \text{ in}^2 * 64.5203 \text{ Ksi} * (10 \text{ in}) \right)$$

$$\phi M_n = 1,733.0205 \text{ Klb} * \text{in}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $1,733.0205 \text{ Klb} * \text{in} \geq 1,700 \text{ klb} * \text{in}$ , si cumple.

### 3.5.2. Revisión por cortante

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.1.3, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , donde:  $V_u = 50,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 28.8399723 \text{ Klb} \leq V_u = 50 \text{ Klb}$$

La separación de refuerzo transversal será:

$$S_2 = \frac{d}{2}$$

$$S_2 = \frac{16 \text{ in}}{2} = 8 \text{ in}$$

Comprobación la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ , siguiendo la ecuación 25.5.1.1

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_c = \frac{28,839.9723 \text{ Lb}}{0.75} = 38,453.2963 \text{ Lb}$$

$$V_n = 38,453.2963 + 53,013.60 \text{ Lb} = 91,466.8963 \text{ Lb}$$

$$\phi V_n = 91,466.8963 \text{ Lb} * 0.75$$

$$\phi V_n = 68,600.1723 \text{ Lb}$$

Por lo tanto:

$$\phi V_n \geq V_u$$

$$68,600.1723 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$$

Esta condicional, cumple.

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 50,000 \text{ lb}$ .

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f'c'} * bw * d)$$

$$50,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (38,453.2963 + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 19 \text{ in} * 16 \text{ in})$$

$$50,000 \text{ Lb} \leq 144,199.8613 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $144,199.8613 \text{ Lb} \geq 50,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

- Reforzamiento longitudinal con recredido de hormigón

Aunque en los cálculos de recredido de hormigón para vigas doblemente reforzadas con momento negativo no se propone acero, se recomienda colocar 2 barras #3 de manera longitudinal en la zona superior e inferior de la viga para el correcto confinamiento de los estribos a colocarse, incrementando la sección en “bw” a 5 in y “h” a 3 in.

- Reforzamiento transversal con recredido de hormigón

Se colocarán estribos #3 a una distancia crítica de 16 in a cada 8 in, así también en el resto de la sección de la viga a cada 8 in.

### 3.6. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en columnas con carga axial

El reforzamiento estructural mediante el recrecido de hormigón en columnas con carga axial, se basa llanamente de una formula en la sección 22.4.2.2 de código ACI 318-19, por lo tanto, en la siguiente tabla se muestra los parámetros a considerar:

Datos de sección sin recrecido			
bw	16 in	Barras longitudinales	6 Barras
h	16 in	Recubrimiento	2.5 in
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3

Ilustración 3-25 - Parámetros de columnas con carga axial

#### 3.6.1. Cálculo de $\phi P_o$ existente

- Área de acero

$$A_s = \left( \frac{\left( \frac{\#Barraco\ mercial}{8} \right)^2}{2} \right) * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$A_s = \left( \frac{\left( \frac{6}{8} \right)^2}{2} \right) * \pi * 6 = 2.6507\ in^2$$

- Área de sección

$$A_{sección} = bw * h$$

Ecuación 3-40 - Área de sección de columna

$$A_{sección} = 16\ in * 16\ in = 256\ in^2$$

- Cálculo de  $P_o$

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.2 se conocerá la carga axial nominal:

$$P_o = 0.85 * f'c * (A_g - A_{st}) + fy * A_{st}$$

Ecuación 3-41 -  $P_o$  de columna con sollicitación axial, según ACI 318-19

$$P_o = 0.85 * 4 \text{ Ksi} * (256 \text{ in}^2 - 2.6507 \text{ in}^2) + 60 \text{ Ksi} * 2.6507 \text{ in}^2$$

$$P_o = 1,020.4296 \text{ Klb}$$

- Cálculo de  $\phi P_o$ .

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.1 se conocerá la carga axial de diseño:

$$\phi P_o = 0.80 * 1,020.4296 \text{ Klb} = 816.3437 \text{ Klb}$$

*Ecuación 3-42 –  $\phi P_o$  para columnas con solicitación axial ,según ACI 318-19*

Calculando  $\phi P_n$  según ACI 318-19, sección 21.2.2:

$$\phi P_n = 816.3437 \text{ Klb} * 0.65$$

$$\phi P_n = 530.6234 \text{ Klb}$$

Conociendo  $\phi P_o = 663.2793 \text{ Klb}$ , para que exista un recrecido de hormigón, es necesario cambiar de uso la edificación o bien aumentar la cara axial última, por consiguiente, se aumentará a  $\phi P_o = 800 \text{ Klb}$

### 3.6.2. Cálculo de recrecido con nuevas solicitaciones

- Propuesta de aumento de recrecido en “bw y “h”: 3 in, por cada cara de columna.
- Porcentaje de acero propuesto: 1.8 %

El cálculo de recrecido de hormigón será a través de proponer una nueva sección y porcentaje de acero. Por lo tanto, se propone por criterio una cuantía de 1.8 % más del existente, como también un incremento de 6 in en “h” y “bw”, esto para que soporte el incremento de carga  $P_u = 800 \text{ Klb}$ , los nuevos parámetros del elemento son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 6 in y "bw" a 6 in.			
bw	22 in	f'c	4,000 Psi
h	22 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-26 - Nueva sección, columna axial, recrecido de hormigón*

- Área de acero

$$A_{s_{propuesto}} = 2.6507 \text{ in}^2 * 1.8 = 4.7713 \text{ in}^2$$

- Área de sección:

$$A_{sección} = (b + (\text{rerecido propuesto})) * (h + (\text{rerecido propuesto}))$$

$$A_{sección} = 22 \text{ in} * 22 \text{ in} = 484 \text{ in}^2$$

- Cálculo de  $P_o$ :

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.2 se conocerá la carga axial nominal:

$$P_o = 0.85 * f_c' * (A_g - A_{s_{propuesto}}) + f_y * A_{s_{propuesto}}$$

$$P_o = 0.85 * 4 \text{ Ksi} * (484 \text{ in}^2 - 4.7713 \text{ in}^2) + 60 \text{ Ksi} * 4.7713 \text{ in}^2$$

$$P_o = 1,915.6556 \text{ Klb}$$

- Cálculo de  $\emptyset P_o$ :

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.1:

$$\emptyset P_o = 0.80 * P_o$$

$$\emptyset P_o = 0.80 * 1,915.6556 \text{ Klb}$$

$$\emptyset P_o = 1,532.5245 \text{ Klb}$$

Calculando  $\emptyset P_n$  según ACI 318-19, sección 21.2.2:

$$\emptyset P_n = 1,532.5245 \text{ Klb} * 0.65$$

$$\emptyset P_n = 996.1409 \text{ Klb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 10.5.11 (a) del código ACI 318-19

$\emptyset P_n \geq P_u$  por lo tanto  $996.1409 \text{ Klb} \geq 800 \text{ Klb}$ , esta condición si cumple.

### 3.6.3. Distribución de refuerzo que necesita el elemento

Según ACI 318-19, en su sección 10.6.1.1 establece las condicionales mínimas y máximas de distribución longitudinal de acero.

$$A_{s_{min}} = 0.01 * A_g$$

$$A_{s_{min}} = 0.01 * (22 \text{ in} * 22 \text{ in}) = 4.84 \text{ in}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0.08 * A_g$$

$$A_{s_{max}} = 0.08 * (22 \text{ in} * 22 \text{ in}) = 38.72 \text{ in}^2$$

*Ecuación 3-43 - Distribución de refuerzo longitudinal máximo y mínimo, según ACI 318-19*

Se comparará con el área de acero el cual resulta a través del recorcido de hormigón:

$$A_{s_{Distribución}} = A_{s_{propuesto}}$$

$$A_{s_{Distribución}} = (4.7713 \text{ in}^2)$$

De esta forma, el área de acero distribuida con recorcido es menor al acero mínimo determinado por ACI 318-19, se elegirá  $A_{s_{min}} = 4.84 \text{ in}^2$

La base fundamental del método es, saber cuánto acero necesita el elemento existente aumentando sus esfuerzos, por lo tanto, el siguiente paso a seguir es el área de acero total, este se determina mediante la resta de las áreas:

$$A_{s_{distribución}} = A_{s_{propuesto}} - A_s$$

$$A_{s_{distribución}} = 4.84 \text{ in}^2 - 2.6507 \text{ in}^2 = 2.1893 \text{ in}^2$$

- Área de acero a distribuir en las cuatro caras de la columna

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.3, los espaciamientos son de 40 mm y  $d_b$ , por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar es mediante una condición, el cual podemos observar:

$$\frac{A_{s_{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}} \leq h - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}$$

$$\frac{2.1893 \text{ in}^2}{0.11045 \text{ in}^2(\text{Barra \#3})} \leq 22 - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.875 \text{ in}}$$

$$19 \text{ barras \#3} \leq 20 \text{ barras}$$

La cantidad de barras nuevas que necesita el elemento son 12 #3, estas serán distribuidas en la dirección y-y dirección izquierda y derecha.

- separación del refuerzo longitudinal

$$S_{x-x} = \frac{h - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}}{\frac{A_{s\text{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}}}$$

$$S_{x-x} = \frac{20 \text{ barras}}{19 \text{ barras \#3}} = 1.0526 \text{ in}$$

#### 3.6.4. Distribución de refuerzo secundario

Según ACI 318-19 sección 25.7.2.2 se usará estribos #3 para barras longitudinales #10 ó menores.

El menor de:

$$S_1 = 48 * \left( \frac{\text{Varilla acero transversal}}{8} \right)$$

$$S_1 = 48 * \left( \frac{\#3}{8} \right) = 18 \text{ in}$$

$$S_2 = 16 * \left( \frac{\text{Varilla acero longitudinal}}{8} \right)$$

$$S_2 = 16 * \left( \frac{\#3}{8} \right) = 6 \text{ in}$$

$$S_3 = 22 \text{ in}$$

*Ecuación 3-44 -Separación de refuerzo secundario en columnas, según ACI 318-19*

Por lo tanto, la separación de estribos es  $S_2 = 6 \text{ in}$

- Cálculo de  $A_{v\text{mín}}$ , según ACI 318-19 sección 10.6.2.2:

$$A_{vmin} = 0.75 * \sqrt{f'c} * \left(\frac{bw * S}{fy}\right) \geq 50 \left(\frac{bw * S}{fy}\right)$$

$$A_{vmin} = 0.75 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * \left(\frac{22 \text{ in} * 6 \text{ in}}{60,000 \text{ Psi}}\right) \geq 50 \left(\frac{22 \text{ in} * 6 \text{ in}}{60,000 \text{ Psi}}\right)$$

$$A_{vmin} = 0.1044 \text{ in}^2 \geq 0.11 \text{ in}^2$$

$$A_{vmin} = 0.11 \text{ in}^2$$

Por lo tanto, la condicional del ACI 318-19, tabla 22.5.5.1, proponiendo estribos #3, donde  $A_v = 2 * (0.11 \text{ in}^2)$ ,  $A_v = 0.22089 \text{ in}^2$ , donde el acero de estribo existente es equivalente a  $0.22089 \text{ in}^2$ , por lo tanto:

$$A_v = A_{vpropuesto} + A_{vexistente}$$

$$A_v = 0.22089 \text{ in}^2 + 0.22089 \text{ in}^2$$

$$A_v = 0.22089 \text{ in}^2 + 0.22089 \text{ in}^2$$

$$A_v = 0.44178 \text{ in}^2$$

$$A_v \geq A_{vmin}$$

$$0.44178 \text{ in}^2 \geq 0.11 \text{ in}^2$$

Se calculará  $V_c$  a través de la formulas, según ACI 318-19 sección 22.5.5.1:

$$a. \phi V_c = \phi * \left(2 * \lambda * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g}\right) * bw * d$$

Donde  $\frac{N_u}{6 A_g}$  según ACI 318-19 sección 25.5.5.1.2 no debe ser mayor que:

$$\frac{N_u}{6 A_g} < 0.05 f'c$$

$$\frac{800,000 \text{ Lb}}{6 * (22 \text{ in} * 22 \text{ in})} < 0.05 * 4,000 \text{ Psi}$$

$$278.4821 \text{ Psi} < 200 \text{ Psi}$$

$$\phi V_c = 0.75 * \left(2 * 1 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} + 200 \text{ Psi}\right) * 22 \text{ in} * 20.5 \text{ in}$$

$$\phi V_c = 110,435.6167 \text{ Lb}$$

$$b. \phi V_c = \phi * \left( 8 * \lambda * (\rho_w)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g} \right) * bw * d$$

$$\rho_w = \frac{A_{s \text{ distribución}}}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{4.84 \text{ in}^2}{22 \text{ in} * 20.5 \text{ in}} = 0.0107$$

$$\phi V_c = 0.75 * \left( 8 * 1 * (0.0107)^{\frac{1}{3}} * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} + 200 \text{ Psi} \right) * 22 \text{ in} * 20.5 \text{ in}$$

$$\phi V_c = 105,362.5339 \text{ Lb}$$

Donde  $V_c$  según ACI 318-19 sección 25.5.5.1, no debe ser mayor que

$$\phi V_c = \phi * 5 * \lambda * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$\phi V_c = 0.75 * 5 * 1 * \sqrt{4,000 \text{ Psi}} * 22 \text{ in} * 20.5 \text{ in}$$

$$\phi V_c = 106,964.0419 \text{ Lb}$$

$$\phi V_c = \mathbf{106.9640419 \text{ Klb}}$$

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,

$$\text{donde } V_u = 90,000 \text{ Lb}$$

$$\phi V_c = \mathbf{106.9640419 \text{ Lb}} \geq V_u = \mathbf{80 \text{ Klb}}$$

**Esta condicional cumple.**

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 80,000 \text{ lb}$ .

$$V_c = \frac{106,964.0419 \text{ Lb}}{\phi}$$

$$V_c = \frac{106,964.0419 \text{ Lb}}{0.75} = 142,618.7225 \text{ Lb}$$

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f_c'} * bw * d)$$

Ecuación 3-45 - comprobación de cortante en su sección transversal, columnas, según ACI 318-19

$$90,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (142,618.7225 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 22 \text{ in} * 20.5 \text{ in})$$

$$90,000 \text{ Lb} \leq 278,106.5088 \text{ Lb}$$

Por lo tanto, esta condición cumple.

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $278,106.5088 \text{ Lb} \geq 90,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

- Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

Se colocarán 19 barras acero de refuerzo #3, con se separación de 1.0526 in, aumentando la sección con recrecido de 6 in en “h” y “bw”, así también un incremento de 1.8 % de acero de refuerzo para aumento de  $P_u = 800 \text{ Klb}$ .

- Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocara un reforzamiento transversal #3 a cada 6 in, en toda la longitud de la columna.

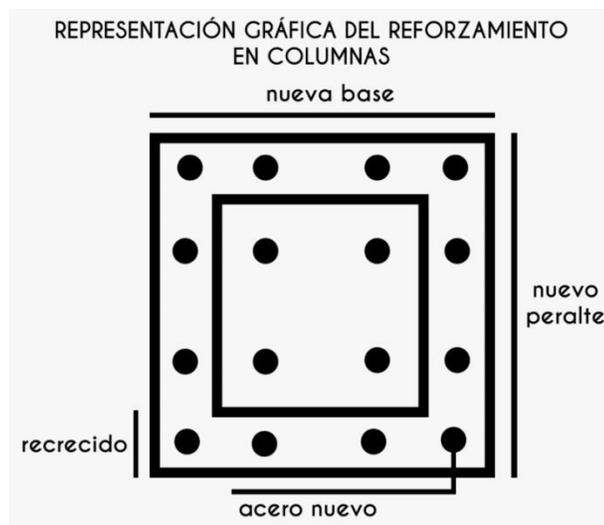


Ilustración 3-27 - Representación gráfica de la sección con la nueva distribución de refuerzo, columna axial convencional, recrecido de hormigón

### 3.7. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en columnas cortas y esbeltas a flexo compresión uniaxial

El reforzamiento estructural externo para columnas esbeltas y cortas con comportamiento uniaxial, se basa fundamental con los diagramas de deformaciones unitarias buscando un equilibrio de fuerzas para la obtención de recrecido con una distribución de acero longitudinal y transversal, en la siguiente tabla se puede apreciar los datos principales para realizar los cálculos:

Datos de sección sin recrecido			
bw	16 in	Barras en tensión	3 Barras
h	16 in	Barras en compresión	3 Barras
Recubrimiento	2.5 in	# de varilla longitudinal a tensión	#6
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal a compresión	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

Ilustración 3-28 – Dato de sección sin recrecido en columna uniaxial

#### 3.7.1. Cálculo de solicitaciones existentes

- Cálculo del centroide plástico “c”

$$c = \left( \frac{DUC}{DUC + DUCT} \right) * bw$$

$$c = \left( \frac{0.003}{0.003 + 0.003} \right) * 16 \text{ in} = 8 \text{ in}$$

- Deformación unitaria del acero a compresión

$$\epsilon t' = \frac{c - \text{recubrimiento}}{c} * 0.003$$

$$\epsilon t' = \frac{8 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{8 \text{ in}} * 0.003 = 0.00206$$

Si  $\epsilon t' > \epsilon ty$ , la deformación unitaria del acero a compresión es mayor a la deformación longitudinal de fluencia del acero.

- Deformación de fluencia del acero

$$\epsilon_y = \frac{fy}{E_s}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29.869021 \times 10^6 \text{ Psi}} = 0.0020$$

$$\epsilon_{ty} < \epsilon_{t'} < \epsilon_t + 0.003$$

$$0.00201 < 0.00206 < 0.0051$$

- Deformación unitaria del acero a tensión

$$\epsilon_t = \frac{bw - c - \text{recubrimiento}}{bw - c} * 0.003$$

$$\epsilon_t = \frac{16 \text{ in} - 8 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{16 \text{ in} - 8 \text{ in}} * 0.003 = 0.00206$$

Si  $\epsilon_t > \epsilon_{ty}$  el elemento se encuentra en transición, por lo tanto la deformación unitaria del acero a tensión es mayor a la deformación longitudinal de fluencia del acero.

$$\epsilon_{ty} < \epsilon_t < \epsilon_t + 0.003$$

$$0.00201 < 0.00206 < 0.0051$$

- Cálculo del bloque a compresión "a"

$$a = 0.85 * c$$

$$a = 0.85 * 8 \text{ in} = 6.8 \text{ in}$$

- Cálculo de Cc (Compresión del concreto)

$$Cc = 0.85 * a * h * fc'$$

*Ecuación 3-46 - Cc (Compresión del concreto)*

$$Cc = 0.85 * 6.8 \text{ in} * 16 \text{ in} * 4 \text{ Ksi} = 369.92 \text{ Klb}$$

- Área de acero

Área de acero en tensión:

$$A_s = \left( \frac{\#Barraco\ mercial}{\frac{8}{2}} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$A_s = \left( \frac{\left(\frac{6}{8}\right)}{2} \right)^2 * \pi * 3 = 1.32536\ in^2$$

Se determina en la zona de tensión, el elemento cuenta con dos varillas número seis, siendo así un total de:  $1.32536\ in^2$

Área de acero en compresión:

$$A_s' = \left( \frac{\#Barraco\ mercial}{\frac{8}{2}} \right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$A_s' = \left( \frac{\left(\frac{6}{8}\right)}{2} \right)^2 * \pi * 3 = 1.32536\ in^2$$

Se determina en la zona de compresión, el elemento cuenta con dos varillas número seis, siendo así un total de:  $1.32536\ in^2$

- Cálculo de C's (Compresión del acero)

$$C's = (f_y * A_s') - (0.85 * A_s' * f'_c)$$

*Ecuación 3-47 - C's (Compresión del acero)*

$$C's = (60\ Ksi * 1.32536\ in^2) - (0.85 * 1.32536\ in^2 * 4Ksi) = 75.01538\ Klb$$

- Cálculo de Ts (Tensión del acero)

$$T_s = \epsilon_t * E_s * A_s$$

*Ecuación 3-48 - Ts (Tensión del acero)*

$$T_s = 0.00206 * 29,869.021\ Ksi * 1.32536\ in^2 = 81.54964\ Klb$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción según ACI 318-19, sección 21.2.2

$$\phi = 0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{0.003}$$

$$\phi = 0.65 + 0.25 \frac{(0.00206 - 0.00201)}{0.003}$$

$$\phi = \mathbf{0.65417}$$

- Cálculo de  $\phi P_n$

$$P_n = C's + C_c - T_s$$

*Ecuación 3-49 -  $\phi P_n$  de columna con solicitación uniaxial*

$$P_n = 75.01538 \text{ Klb} + 369.92 \text{ Klb} - 81.54964 \text{ Klb} = 363.38574 \text{ Klb}$$

$$\phi P_n = 363.38574 \text{ Klb} * 0.65417$$

$$\phi P_n = 237.71605 \text{ Klb}$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

$$M_n = \left( - \left( P_n * \left( \frac{bw}{2} - \text{recubrimiento} \right) \right) \right) \\ + \left( C_c * \left( \frac{bw}{2} - \text{recubrimiento} \right) + \left( \frac{bw}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) \\ + \left( C's * \left( \left( \frac{bw}{2} - \text{recubrimiento} \right) * 2 \right) \right)$$

*Ecuación 3-50 - Momento para columnas con solicitación uniaxial*

$$M_n = \left( -(363.38574 \text{ Klb} * 5.5 \text{ in}) \right) + (369.92 \text{ Klb} * (10.1 \text{ in})) \\ + (75.01538 \text{ Klb} * 11 \text{ in})$$

$$M_n = 2,562.73961 \text{ Ksi} * \text{in}$$

$$\phi M_n = (2,562.73961 \text{ Ksi} * \text{in} ) * 0.65417$$

$$\phi M_n = 1,676.46737 \text{ Klb} * \text{in}$$

Por lo tanto, sabemos que la columna soporta  $\emptyset M_n = 1,676.46737 \text{ Klb} \cdot \text{in}$  y  $\emptyset P_n = 237.71605 \text{ Klb}$ , lo cual con este parámetro fue diseñada, no obstante, el reforzamiento estructural externo mediante el recredido de hormigón comúnmente ocurre cuando se cambiará de uso la edificación, por lo tanto, si se aumentara el momento último a  $M_u = 3,000 \text{ Klb} \cdot \text{in}$  y  $P_u = 8,00 \text{ Klb}$ , obtendremos nueva sollicitación y se debería rediseñar el elemento. Proponiendo un recredido en la zona de tensión con un porcentaje de acero.

### 3.7.2. Cálculo de recredido con nuevas sollicitaciones

- Propuesta de aumento de recredido en "h" y "bw": 3 in, por cada cara de columna.
- Porcentaje de acero propuesto: 1.1 % por línea vertical de acero

$$A_{s_{propuesto \text{ compresión}}} = (1.32536 \text{ in}^2) * 1.1 = 1.4579 \text{ in}^2$$

$$A_{s_{propuesto \text{ tensión}}} = (1.32536 \text{ in}^2) * 1.1 = 1.4579 \text{ in}^2$$

El cálculo de recredido de hormigón será a través de proponer una nueva sección y porcentaje de acero. Por lo tanto, se propone por criterio una cuantía de 1.1 % más del existente como también un incremento de 6 in a "bw" y "h", esto para que soporte el incremento de carga  $P_u = 8,00 \text{ Klb}$  y  $M_u = 3,000 \text{ Klb} \cdot \text{in}$ . Por lo tanto los nuevos parámetros del elemento son:

Datos de sección con recredido, incremento de "h" a 6 in y "bw" a 6 in.			
bw	22 in	f'c	4,000 Psi
h	22 in	fy	60,000 Psi

*Ilustración 3-29 - Nueva sección, columna uniaxial, recredido de hormigón*

### 3.7.3. Proponiendo centroide plástico "c"

Se propone el valor de "c" a través de criterio, por lo tanto:

$$c = 17.60151$$

- Deformación unitaria del acero a compresión

$$\epsilon t'_{existente} = \frac{c - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento}}{c} * 0.003$$

$$\epsilon t'_{existente} = \frac{17.60151 \text{ in} - 3 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{17.5126 \text{ in}} * 0.003 = 0.0021$$

$$\epsilon t'_{recrecido} = \frac{c - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2}}{c} * 0.003$$

$$\epsilon t'_{recrecido} = \frac{17.60151 \text{ in} - 1.5 \text{ in}}{17.60151 \text{ in}} * 0.003 = 0.0027$$

- Deformación unitaria del acero a tensión

$$\epsilon t_{existente} = \frac{bw - c - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento}}{bw - c} * 0.003$$

$$\epsilon t_{existente} = \frac{22 \text{ in} - 17.60151 \text{ in} - 3 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{22 \text{ in} - 17.60151 \text{ in}} * 0.003 = -0.0008$$

$$\epsilon t_{recrecido} = \frac{bw - c - \left(\frac{\text{recrecido propuesto}}{2}\right)}{bw - c} * 0.003$$

$$\epsilon t_{recrecido} = \frac{22 \text{ in} - 17.60151 \text{ in} - 1.5 \text{ in}}{22 \text{ in} - 17.60151 \text{ in}} * 0.003 = 0.0020$$

- Cálculo del bloque a compresión "a"

$$a = 0.85 * c$$

$$a = 0.85 * 17.60151 \text{ in} = 14.9613 \text{ in}$$

- Cálculo de Cc (Compresión del concreto)

$$Cc = 0.85 * a * h * f'c$$

$$Cc = 0.85 * 14.9613 \text{ in} * 22 \text{ in} * 4 \text{ Ksi} = 1,119.1040 \text{ Klb}$$

- Cálculo de C's (Compresión del acero)

$$C's = (fy * As') - (0.85 * As' * f'c)$$

$$C's_{existente} = (60 \text{ Ksi} * 1.4579 \text{ in}^2) - (0.85 * 1.4579 \text{ in}^2 * 4 \text{ Ksi}) = 82.5194 \text{ Klb}$$

$$C's_{recrecido} = (60 \text{ Ksi} * 1.4579 \text{ in}^2) - (0.85 * 1.4579 \text{ in}^2 * 4 \text{ Ksi}) = 82.5194 \text{ Klb}$$

- Cálculo de Ts (Tensión del acero)

$$Ts = \epsilon t * E_s * As$$

$$Ts_{existente} = -0.0008 * 29,869.021 \text{ Ksi} * 1.4579 \text{ in}^2 = -32.7165 \text{ Klb}$$

$$Ts_{recrecido} = 0.0020 * 29,869.021 \text{ Ksi} * 1.4579 \text{ in}^2 = 86.0895 \text{ Klb}$$

- Condición de equilibrio

$$-pn_{act} - Ts_{existente} - Ts_{recrecido} + C's_{existente} + C's_{recrecido} + Cc = 0$$

*Ecuación 3-51 - Equilibrio de fueras C=T*

$$-\left(\frac{800 \text{ Klb}}{0.65}\right) - (-32.7165 \text{ Klb}) - (86.0895 \text{ Klb}) + 82.5194 \text{ Klb}$$

$$+ 82.5194 \text{ Klb} + 1,119.1040 \text{ Klb} = 0$$

$$0 = 0$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción

$$\epsilon ty \geq \epsilon t_{recrecido}$$

$$\epsilon ty \geq \epsilon t_{recrecido}$$

$$\phi = 0.65$$

- Cálculo de  $\phi P_n$

$$P_n = -Ts_{existente} - Ts_{recrecido} + C's_{existente} + C's_{recrecido} + Cc$$

*Ecuación 3-52 -  $\phi P_n$  para columnas uniaxial con recrecido*

$$P_n = -(-32.7165 \text{ Klb}) - (86.0895 \text{ Klb}) + 82.5194 \text{ Klb}$$

$$+ 82.5194 \text{ Klb} + 1,119.1040 \text{ Klb} = 0$$

$$\phi P_n = 1,230.7698 \text{ Klb} * 0.65$$

$$\phi P_n = 800 \text{ Klb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 10.5.11 (a) del código ACI 318-19

$\phi P_n \geq P_u$  por lo tanto,  $800 \text{ Klb} \geq 800 \text{ Klb}$  esta condición si cumple.

- Cálculo de  $\phi M_n$

$$M_n = \left( - \left( P_n * \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) \right) \right) +$$

$$\left( C_c * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) + \left( \frac{bw}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) \right) +$$

$$\left( C'_{S_{existente}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) + \left( \frac{bw}{2} - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento} \right) \right) \right)$$

$$+ \left( C'_{S_{recrecido}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) * 2 \right) \right)$$

$$- \left( T_{S_{existente}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) - \left( \frac{bw}{2} - \text{recubrimiento} \right) \right) \right)$$

*Ecuación 3-53 - Momento para columnas con recrecido*

$$M_n = (- (1,230.7698 \text{ Klb} * 9.5 \text{ in})) + (1,119.1040 \text{ Klb} * 13.0194 \text{ in})$$

$$+ (82.5194 \text{ Klb} * 15 \text{ in}) + (82.5194 \text{ Klb} * 19 \text{ in})$$

$$- (-32.7165 \text{ Klb} * 1 \text{ in})$$

$$M_n = 5,716.0789 \text{ Klb} * \text{in}$$

$$\phi M_n = ( 5,716.0789 \text{ Klb} * \text{in} ) * 0.65$$

$$\phi M_n = 3,715.4513 \text{ Klb} * \text{in}$$

Obtenemos que la condición de la sección 10.5.11 (b) del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  donde,  $3,715.4513 \text{ Klb} \cdot \text{in} \geq 3,000 \text{ Klb} \cdot \text{in}$  esta condición si cumple.

- Área de acero en dirección x-x

$$A_{S_{distribución}} = A_{S_{propuesto\ compresión}} - A_{S_{propuesto\ tensión}}$$

$$A_{S_{distribución}} = 1.4579 \text{ in}^2 - 1.32536 \text{ in}^2 = 0.1325 \text{ in}^2$$

$$A_{S_{distribución}} = \frac{0.1325 \text{ in}^2}{2 \text{ barras}} = 0.0663 \text{ in}^2$$

*Ecuación 3-54 - Área de acero propuesta en columnas para distribución de barras en compresión y tensión*

Siendo así  $0.0663 \text{ in}^2$ , es el área de acero que debe de tener una barra en dirección x-x, se determinará seguidamente un diámetro comercial para la distribución.

- Diámetro de barra:

$$\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}} \leq 1 \text{ barras}$$

$$\frac{0.0663 \text{ in}^2}{0.11045 \text{ in}^2(\text{Barra \#3})} \leq 1 \text{ barras}$$

$$1 \text{ barras \#3} \leq 1 \text{ barras}$$

*Ecuación 3-55 - Distribución de acero en columnas para recorcido en dirección x-x*

De esta manera, La cantidad de barras nuevas que necesita el elemento son 4 #3, éstas serán distribuidas en la dirección x-x superior e inferior. Dado que su distribución corresponde a cuatro barras en recorcido.

- Área de acero en dirección y-y

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.3, los espaciamientos son de 40 mm y  $d_b$ , por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar es mediante una condición, el cual podemos observar:

$$\frac{A_{S_{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}} \leq h - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}$$

$$\frac{1.4579 \text{ in}^2}{0.11045 \text{ in}^2 (\text{Barra \#3})} \leq 22 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.875 \text{ in}}$$

Ecuación 3-56 - Distribución de barras para recrecido en columnas dirección y-y

$$13 \text{ barras \#3} \leq 20 \text{ barras}$$

La cantidad de barras nuevas que necesita el elemento son 13 #3, éstas serán distribuidas en la dirección y-y izquierda y derecha.

Según ACI 318-19, en su sección 10.6.1.1 establece las condicionales mínimas y máximas de distribución longitudinal de acero.

$$A_{s_{min}} = 0.01 * A_g$$

$$A_{s_{min}} = 0.01 * (22 \text{ in} * 22 \text{ in}) = 4.84 \text{ in}^2$$

$$A_{s_{max}} = 0.08 * A_g$$

$$A_{s_{max}} = 0.08 * (22 \text{ in} * 22 \text{ in}) = 38.72 \text{ in}^2$$

Se comparará con el área de acero el cual resulta a través del recrecido de hormigón

$$A_{s_{distribución}} = A_{s_{x-x}} + A_{s_{y-y}} + A_{s_{existente}}$$

$$A_{s_{distribución}} = ((4 \text{ barras \#3}) * 2) + ((13 \text{ barras \#3}) * 2) + (6 \text{ barras \#6})$$

$$A_{s_{distribución}} = (0.8836 \text{ in}^2) + (2.8716 \text{ in}^2) + (2.6507 \text{ in}^2) = 6.4059 \text{ in}^2$$

De esta forma, el área de acero distribuida con recrecido es mayor al acero mínimo determinado por ACI 318-19.

- Separación de acero longitudinal dirección y-y:

$$S_{y-y} = \frac{h - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}}{\frac{A_{s_{distribución}}}{\text{Área de barra comercial}}}$$

$$S_{y-y} = \frac{20 \text{ barras}}{13 \text{ Barras \#3}} = 1.5385 \text{ in}$$

### 3.7.4. Distribución de refuerzo secundario

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.6.4, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,  
donde:  $V_u = 80,000 \text{ Lb}$

$$\phi V_c = 106.9640419 \text{ Klb} \geq V_u = 80 \text{ Klb}$$

La separación de estribos es  $S_2 = 6 \text{ in}$

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 80,000 \text{ lb}$ .

$$V_c = \frac{106,964.0419 \text{ Lb}}{\phi}$$

$$V_c = \frac{106,964.0419 \text{ Lb}}{0.75} = 142,618.7225 \text{ Lb}$$

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f_c'} * bw * d)$$

$$80,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (142,618.7225 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 22 \text{ in} * 20.5 \text{ in})$$

$$80,000 \text{ Lb} \leq 278,106.5088 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $278,106.5088 \text{ Lb} \geq 80,000 \text{ Lb}$ , esta condición si cumple.

- Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

En el cálculo de “Área de acero en dirección x-x y dirección y-y” brinda una distribución lógica. Por razones constructivas se colocará en dirección x-x 4 barras #3 en la parte superior e inferior (se recomienda la colocación en cada línea de refuerzo para no interferir en el comportamiento de diagrama de interacción), en dirección y-y 13 barras #3 a cada 1.5385 in, en dirección izquierda y derecha, con un recrecido de 5 in en “bw” y “h”, con un incremento

de 1.1 % de acero de refuerzo para aumento de  $P_u = 800 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $M_u = 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$ .

- Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocara un reforzamiento transversal #3 a cada 6 in, en toda la longitud de la columna.

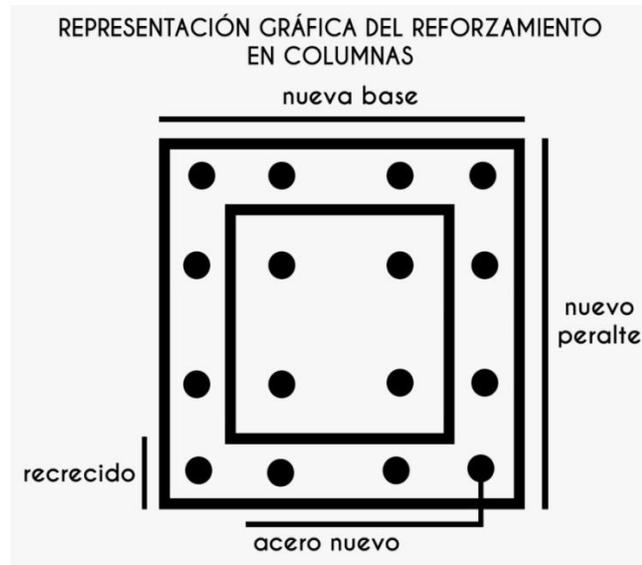


Ilustración 3-30 - Representación gráfica de la nueva sección con el reforzamiento, columna uniaxial convencional, recrecido de hormigón

### 3.7.5. Factor de amplificación de momento

El factor de amplificación de momento se utilizará para columnas esbeltas, a continuación, se hará el cálculo del mismo proponiendo dos momentos. Este factor se deberá aplicar al mayor momento de sollicitación que necesita el elemento y posteriormente realizar el mismo método de recrecido de hormigón a partir de la sección 3.7.

Valor de  $C_m$  calculado con la ecuación 6.6.4.5.3<sup>a</sup> del ACI 318-19:

Determinando la relación de momento como una curvatura simple

$$\text{Relación de momento} = \frac{M_2}{M_1} * -1$$

Ecuación 3-57 - Relación de momento para curvatura simple en columnas esbeltas, según ACI 318-19

$$\text{Relación de momento} = \frac{4,000 \text{ Klb} * \text{in}}{3,000 \text{ Klb} * \text{in}} * -1$$

$$Cm = 0.6 - (0.4 * -1.333)$$

$$Cm = 0.06667$$

Factor de amplificación de momento calculado con la ecuación 6.6.4.5.2 del ACI 318-19:

$$\delta = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0.75 * Pc}} \geq 1$$

*Ecuación 3-58 - Factor de amplificación de momentos en columnas esbeltas, según ACI 318-19*

$$\delta = \frac{0.06667}{1 - \frac{750 \text{ Klb}}{0.75 * 239.13968 \text{ Klb}}} \geq 1$$

$$\delta = -0.02095 \geq 1$$

$$\delta = 1$$

El cálculo de  $M_{2\text{mín}}$  se calcula con la ecuación 6.6.4.5.4 del ACI 318-19:

$$M_{2\text{mín}} = Pu(0.6 + 0.03h)$$

*Ecuación 3-59 -  $M_{2\text{mín}}$ , condicional de actor de amplificación de momentos para columnas esbeltas, según ACI 318-19*

$$M_{2\text{mín}} = 750 \text{ Klb} * (0.6 + 0.03 * 16 \text{ in})$$

$$M_{2\text{mín}} = 4,050 \text{ Klb} * \text{in}$$

Dado que  $M_{2\text{mín}} > M_2$ , entonces  $Cm=1$

$$\delta = \frac{Cm}{1 - \frac{Pu}{0.75 * Pc}} \geq 1$$

$$\delta = \frac{1}{1 - \frac{750 \text{ Klb}}{0.75 * 239.13968 \text{ Klb}}} \geq 1$$

$$\delta = -3.18166 \geq 1$$

$$\delta = 1$$

El nuevo momento solicitante a través del cambio de uso será (ecuación 6.6.4.5.1 del ACI318-19):

$$M_c = \delta * M_2$$

*Ecuación 3-60 - Momento solicitante con factor de amplificación, para columnas esbeltas, según ACI 319-19*

$$M_c = 1 * 4,000 \text{ Klb} * \text{in}$$

$$M_c = 4000 \text{ Klb} * \text{in}$$

### 3.8. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en columnas a flexo compresión biaxial

El reforzamiento estructural para columnas biaxiales, sigue el mismo fundamento que columnas uniaxial, principalmente con los diagramas de deformaciones unitarias buscando un equilibrio de fuerzas para la obtención de recrecido con una distribución de acero longitudinal y transversal, en la siguiente tabla se puede apreciar los datos principales para realizar los cálculos:

Datos de sección sin recrecido			
bw	16 in	Barras en tensión	2 Barras
h	16 in	Barras en compresión	2 Barras
Recubrimiento	2.5 in	# de varilla longitudinal a tensión	#6
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal a compresión	#6
fy	60,000 Psi	# de varilla transversal	#3
	Es	29,869.021 Psi	

*Ilustración 3-31 - Parámetros de columna biaxial*

#### 3.8.1. Cálculo de recrecido con las nuevas solicitaciones

- Propuesta de aumento de recrecido en “bw” y “h”: 3 in, por cada cara de columna.
- Porcentaje de acero propuesto: 1.1 % por línea vertical de acero

$$A_{s_{propuesto\ compresión}} = 0.8836 * 1.1 = 0.9720 \text{ in}^2$$

$$A_{s_{propuesto\ tensión}} = 0.8836 * 1.1 = 0.9720 \text{ in}^2$$

El cálculo de recrecido de hormigón será a través de proponer una nueva sección y propuesta de acero. Por lo tanto, se propone por criterio un incremento de 6 in en "bw" y "h", esto para que soporte el incremento de carga  $P_u = 8,00 \text{ Klb}$ ,  $M_{ux} = 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$ ,  $M_{uy} = 2,500 \text{ Klb} * \text{in}$ . Por lo tanto los nuevos parámetros del elemento son:

Datos de sección con recrecido, incremento de "h" a 6 in y "bw" a 6 in.			
bw	22 in	f'c	4,000 Psi
h	22 in	fy	60,000 Psi

Ilustración 3-32 - Nueva sección, columna biaxial, recrecido de hormigón

### 3.8.2. 'Proponiendo centroide plástico "c"

Se propone el valor de "c" a través de criterio, por lo tanto:

$$c = 16.281 \text{ in}$$

- Deformación unitaria del acero a compresión

$$\epsilon_{t'_{existente}} = \frac{c - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento}}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t'_{existente}} = \frac{16.281 \text{ in} - 3 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{16.1511 \text{ in}} * 0.003 = 0.0020$$

$$\epsilon_{t'_{recrecido}} = \frac{c - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2}}{c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t'_{recrecido}} = \frac{16.281 \text{ in} - 1.5 \text{ in}}{16.281 \text{ in}} * 0.003 = 0.0027$$

Ecuación 3-61 - Deformaciones unitarias a compresión con recrecido en columnas biaxiales

- Deformación de fluencia del acero

$$\epsilon_y = \frac{fy}{E_s}$$

$$\epsilon_{ty} = \frac{60,000 \text{ Psi}}{29.869021 \times 10^6 \text{ Psi}} = 0.0020$$

- Deformación unitaria del acero a tensión

$$\epsilon_{t_{existente}} = \frac{bw - c - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento}}{b - c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t_{existente}} = \frac{22 \text{ in} - 16.281 \text{ in} - 3 \text{ in} - 2.5 \text{ in}}{22 \text{ in} - 16.281 \text{ in}} * 0.003 = 0.0001$$

$$\epsilon_{t_{recrecido}} = \frac{bw - c - \left(\frac{\text{recrecido propuesto}}{2}\right)}{b - c} * 0.003$$

$$\epsilon_{t_{recrecido}} = \frac{22 \text{ in} - 16.281 \text{ in} - 1.5 \text{ in}}{22 \text{ in} - 16.281 \text{ in}} * 0.003 = 0.0022$$

*Ecuación 3-62 - Deformaciones unitarias a tensión en recrecido para columnas biaxiales*

- Cálculo del bloque a compresión "a"

$$a = 0.85 * c$$

$$a = 0.85 * 16.281 \text{ in} = 13.8389 \text{ in}$$

- Cálculo de Cc (Compresión del concreto)

$$C_c = 0.85 * a * h * f'c$$

$$C_c = 0.85 * 13.8389 \text{ in} * 22 \text{ in} * 4 \text{ Ksi} = 1,035.1460 \text{ Klb}$$

- Cálculo de C's (Compresión del acero)

$$C's = (f_y * A_s') - (0.85 * A_s' * f'c)$$

$$C's_{existente} = (60 \text{ Ksi} * 0.9720 \text{ in}^2) - (0.85 * 0.9720 \text{ in}^2 * 4 \text{ Ksi}) = 55.0129 \text{ Klb}$$

$$C's_{recrecido} = (60 \text{ Ksi} * 0.9720 \text{ in}^2) - (0.85 * 0.9720 \text{ in}^2 * 4 \text{ Ksi}) = 55.0129 \text{ Klb}$$

*Ecuación 3-63 - C's (Compresión del acero en recrecido para columnas biaxiales)*

- Cálculo de Ts (Tensión del acero)

$$T_s = \epsilon_t * E_s * A_s$$

$$T_{s_{existente}} = 0.0001 * 29,869.021 \text{ Ksi} * 0.9720 \text{ in}^2 = 3.3351 \text{ Klb}$$

$$T_{s_{recrecido}} = 0.0022 * 29,869.021 \text{ Ksi} * 0.9720 \text{ in}^2 = 64.2510 \text{ Klb}$$

*Ecuación 3-64 - (Tensión del acero en recrecido para columnas biaxiales)*

- Condición de equilibrio

$$-pn_{act} - T_{s_{existente}} - T_{s_{recrecido}} + C'_{s_{existente}} + C'_{s_{recrecido}} + C_c = 0$$

$$-(1076.9231 \text{ Klb}) - (3.3351 \text{ Klb}) - (64.2510 \text{ Klb}) + 55.0129 \text{ Klb} +$$

$$55.0129 \text{ Klb} + 1,035.1460 \text{ Klb}$$

$$0 = 0$$

- Cálculo de  $\phi$  factor de reducción

$$\phi = 0.65 + 0.25 \frac{(\epsilon_t - \epsilon_{ty})}{0.003}$$

$$\phi = 0.65 + 0.25 \frac{(0.0022 - 0.0020)}{0.003}$$

$$\phi = \mathbf{0.6667}$$

- Cálculo de  $\phi P_n$

$$P_n = -T_{s_{existente}} - T_{s_{recrecido}} + C'_{s_{existente}} + C'_{s_{recrecido}} + C_c$$

*Ecuación 3-65 -  $\phi P_n$  para columnas uniaxial con recrecido*

$$P_n = -(3.3351 \text{ Klb}) - (64.2510 \text{ Klb}) + 55.0129 \text{ Klb} +$$

$$55.0129 \text{ Klb} + 1,035.1460 \text{ Klb} = 0$$

$$\phi P_n = 1077.5857 \text{ Klb} * 0.6667$$

$$\phi P_n = 718.4264 \text{ Klb}$$

- Cálculo de  $\phi M_n$

$$\begin{aligned}
 M_{nx} = M_{ny} = & \left( - \left( P_n * \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) \right) \right) + \\
 & \left( C_c * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) + \left( \frac{bw}{2} - \frac{a}{2} \right) \right) \right) + \\
 & \left( C'_{S_{existente}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) + \left( \frac{bw}{2} - \text{recrecido propuesto} - \text{recubrimiento} \right) \right) \right) \\
 & + \left( C'_{S_{recrecido}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) * 2 \right) \right) \\
 & - \left( T_{S_{existente}} * \left( \left( \frac{bw}{2} - \frac{\text{recrecido propuesto}}{2} \right) - \left( \frac{bw}{2} - \text{recubrimiento} \right) \right) \right)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{nx} = M_{ny} = & (- (1077.5857 \text{ Klb} * 9.5 \text{ in})) + (1,035.1460 \text{ Klb} * 13.5806 \text{ in}) \\
 & + (55.0129 \text{ Klb} * 15 \text{ in}) + (55.0129 \text{ Klb} * 19 \text{ in}) \\
 & - (3.3351 \text{ Klb} * 1 \text{ in})
 \end{aligned}$$

$$M_n = 5,687.9183 \text{ Klb} * \text{in}$$

$$\phi M_{nx} = \phi M_{ny} = (5,687.9183 \text{ Klb} * \text{in}) * 0.6667$$

$$\phi M_{nx} = \phi M_{ny} = 3,792.1351 \text{ Klb} * \text{in}$$

Obtenemos que la condición de la sección 10.5.11 (b) del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  por lo tanto,  $3,792.1351 \text{ Klb} * \text{in} \geq 3,000 \text{ Klb}$  y  $3,792.1351 \text{ Klb} * \text{in} \geq 2,500 \text{ Klb}$  esta condición si cumple.

- Cálculo de  $\phi P_i$

Ecuación de Bresler o método de carga inversa:

$$\frac{1}{P_i} = \frac{1}{\frac{1}{\phi P_x} + \frac{1}{\phi P_y} - \frac{1}{\phi P_o}}$$

- Área de sección

$$A_{sección} = bw * h$$

$$A_{sección} = 22 \text{ in} * 22 \text{ in} = 484 \text{ in}^2$$

- Cálculo de  $P_o$

Según ACI 318- 19 en la sección 22.4.2.2 se conocerá la carga axial nominal:

$$P_o = 0.85 * f_c' * (A_g - A_{st}) + f_y * A_{st}$$

$$A_{st} = A_{spropuesto \text{ compresión}} + A_{spropuesto \text{ tensión}}$$

$$P_o = 0.85 * 4 \text{ Ksi} * (484 \text{ in}^2 - 1.9440 \text{ in}^2) + 60 \text{ Ksi} * 1.9440 \text{ in}^2$$

$$P_o = 1,755.6304 \text{ Klb}$$

$$\phi P_o = 1,755.6304 \text{ Klb} * 0.6667 = 1,170.4788 \text{ Klb}$$

$$P_i = \frac{1}{\frac{1}{718.4264 \text{ Klb}} + \frac{1}{718.4264 \text{ Klb}} - \frac{1}{1,170.4788 \text{ Klb}}}$$

*Ecuación 3-66 - Ecuación de Bresler o Método de la carga inversa*

$$P_i = 518.2661 \text{ Klb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 10.5.11 (a) del código ACI 318-19

$\phi P_n = P_i \geq P_u$  por lo tanto,  $1,263.6021 \text{ Klb} \geq 8,000 \text{ Klb}$  esta condición si cumple.

- Distribución de refuerzo en la sección

$$A_{sdisribución} = (A_{spropuesto \text{ compresión}} * 4) + (A_{spropuesto \text{ tensión}} * 4) - (A_s * 2) =$$

$$A_{sdisribución} = (3.8880 \text{ in}^2) + (3.8880 \text{ in}^2) - (1.7671 \text{ in}^2 * 2) = 4.2418 \text{ in}^2$$

El área de refuerzo que necesita el elemento, es  $4.2418 \text{ in}^2$ , se hará la relación con ocho barras que permite la sección:

$$\frac{A_{s\text{distribución}}}{8 \text{ barras}}$$

$$\frac{4.2418 \text{ in}^2}{8 \text{ barras}}$$

$$0.5302 \text{ in}^2$$

Donde, el área de refuerzo  $0.5302 \text{ in}^2$ , es menor que el área de una barra #7

$$0.5302 \text{ in}^2 \leq 0.6013 \text{ in}^2 (\text{Barra \#7})$$

La cantidad de barras nuevas que necesita el elemento son 2 #7, éstas serán distribuidas en la dirección x-x superior e inferior.

*Ecuación 3-67 - Área de acero a colocar en dirección x-x en recrecido para columnas biaxiales*

- Área de acero en dirección y-y

El área de refuerzo longitudinal en dirección y-y, sigue la misma secuencia de cálculos que se implementó en la dirección x-x, siendo de esta manera La cantidad de barras nuevas que necesita el elemento son 2 #7.

*Ecuación 3-68 - Área de acero a colocar en dirección y-y en recrecido para columnas biaxiales.*

Donde el área de acero de refuerzo a distribuir en recrecido es:

$$A_{s\text{distribución}} = ((2 \text{ barras \#7}) * 2) + ((2 \text{ barras \#7}) * 2)$$

$$A_{s\text{distribución}} = (2.4053 \text{ in}^2) + (2.4053 \text{ in}^2) = 4.8106 \text{ in}^2$$

Según ACI 318-19, en su sección 10.6.1.1 establece las condicionales mínimas y máximas de distribución longitudinal de acero.

$$A_{s\text{min}} = 0.01 * A_g$$

$$A_{s\text{min}} = 0.01 * (24 \text{ in} * 24 \text{ in}) = 5.76 \text{ in}^2$$

$$A_{s\text{max}} = 0.08 * A_g$$

$$A_{S_{max}} = 0.08 * (24 \text{ in} * 24 \text{ in}) = 46.08 \text{ in}^2$$

Se comparará con el área de acero el cual resulta a través del recorcido de hormigón:

$$A_{S_{Distribución}} = A_{S_{x-x}} + A_{S_{y-y}} + A_{S_{existente}}$$

$$A_{S_{distribución}} = ((2 \text{ barras \#7}) * 2) + ((2 \text{ barras \#7}) * 2) + (4 \text{ barras \#6})$$

$$A_{S_{distribución}} = (2.4053 \text{ in}^2) + (2.4053 \text{ in}^2) + (1.7671 \text{ in}^2) = 6.5777 \text{ in}^2$$

De esta forma, el área de acero distribuida con recorcido es mayor al acero mínimo determinado por ACI 318-19.

### 3.8.3. Distribución de refuerzo secundario

La revisión por cortante sigue la misma secuencia de cálculo que la sección 3.6.4, de esta manera se determina el valor de los siguientes datos:

Comprobación de condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$ ,

$$\text{donde } V_u = 100,000 \text{ Lb}$$

$$\phi V_c = 89.3765258 \text{ Lb} \geq V_u = 80 \text{ Klb}$$

**Esta condicional si cumple.**

Por lo tanto, la separación de estribos es  $S_2 = 14 \text{ in}$

La normativa constructiva ACI 318-19, establece que el dimensionamiento de la sección transversal debe cumplir con la ecuación 22.5.1.2, donde  $V_u = 80,000 \text{ lb}$ .

$$V_c = \frac{89,376.5258 \text{ Lb}}{\phi}$$

$$V_c = \frac{89,376.5258 \text{ Lb}}{0.75} = 119,168.7011 \text{ Lb}$$

$$V_u \leq \phi (V_c + 8 * \sqrt{f'c} * bw * d)$$

$$80,000 \text{ lb} \leq 0.75 * (119,168.7011 \text{ Lb} + 8 * \sqrt{4000 \text{ Psi}} * 24 \text{ in} * 22 \text{ in})$$

$$80,000 \text{ Lb} \leq 260,518.9928 \text{ Lb}$$

Obtenemos que la condición de la sección 9.5.1 del código ACI 318-19  $\phi V_c \geq V_u$  donde  $V_u$  es el cortante actuante producto de las nuevas cargas, por lo tanto,  $260,518.9928 \text{ Lb} \geq 80,000 \text{ Lb}$  esta condición si cumple.

➤ Reforzamiento longitudinal con recrecido de hormigón

En el cálculo de “Área de acero en dirección x-x y dirección y-y” en brinda una distribución lógica. Por razones constructivas se colocará en dirección x-x 2 barras #7 en la parte superior e inferior, en dirección y-y izquierda y derecha 2 barras #7, con recrecido de 6 in en “bw” y “h”. (Se recomienda la colocación en cada línea de refuerzo para no interferir en el comportamiento de diagrama de deformación), De esta forma se obtendrá una distribución de acero longitudinal simétrico en las cuatro caras de la columna, para aumento de  $P_u = 400 \text{ Klb} * \text{in}$  ,  $M_{ux} = 3,000 \text{ Klb} * \text{in}$  y  $M_{uy} = 2,500 \text{ Klb} * \text{in}$ .

➤ Reforzamiento transversal con recrecido de hormigón

Se colocara un reforzamiento transversal #3 a cada 14 in, en toda la longitud de la columna.

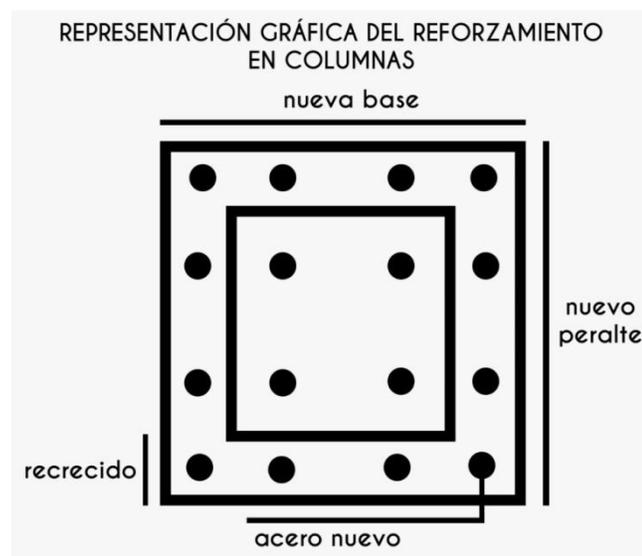


Ilustración 3-33 - Representación gráfica de la nueva sección con el reforzamiento, columna biaxial convencional, recrecido de hormigón

### 3.9. Descripción del ejemplo de refuerzo estructural externo mediante el método recrecido de hormigón en losas de unidireccional

El reforzamiento estructural para losas unidireccionales toma como fundamento la sección 3.1 “reforzamiento estructural para vigas simplemente reforzadas con momento positivo”, para este se debe utilizar el método de franja unitaria, otras consideraciones a tomar es el acero a contracción y temperatura sección 24.4.3.2 del ACI 318.

Datos de sección sin recrecido			
bw	39.37 in	Barras longitudinales	10 Barras
h	7.87 in	Recubrimiento	2.5 in
f'c	4,000 Psi	# de varilla longitudinal	#6
fy	60,000 Psi	Es	29,869.021 Psi

Ilustración 3-34 - Datos del elemento existente, losa, recrecido de hormigón

Debidamente se debe re-calcular  $\phi M_n$  y cumplir la condición de  $\phi M_n \geq M_u$  proponiendo un incremento en “h” de 4 in y así mismo una cuantía de acero longitudinal de 2.6% más del existente, por lo tanto, se utiliza los nuevos valores de  $A_s$  y  $a$ :

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * F_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 0.89333 \left( 7.07735 \text{ in}^2 * 60 \text{ Ksi} \left( 7.80750 \text{ in} - \frac{3.1723 \text{ in}}{2} \right) \right)$$

$$\phi M_n = 2,360.03518 \text{ Klb} * \text{in}$$

Revisando la condición de la sección 7.5.1.1 (a) del código ACI 318-19  $\phi M_n \geq M_u$  el cual equivale a  $2,360.03518 \text{ Klb} * \text{in} \geq 2,000 \text{ klb} * \text{in}$ , si cumple.

- Cálculo del nuevo acero de refuerzo

Área de acero que necesita el elemento

$$A_{s \text{ distribución}} = A_{s \text{ propuesto}} - A_s$$

$$A_{s \text{ distribución}} = 7.07735 \text{ in}^2 - 4.41786 \text{ in}^2 = 2.65949 \text{ in}^2$$

Por lo tanto,  $A_{s_{distribución}} = 2.65949 \text{ in}^2$  es la cantidad de acero que se debe colocar en la zona de tensión.

- Área de acero en porcentaje

$$\rho_w = \frac{A_s}{bw * d}$$

$$\rho_w = \frac{7.07735 \text{ in}^2}{39.37 \text{ in} * 7.80750 \text{ in}} = 0.0230$$

- Cálculo de porcentajes de acero

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{f_c'}}{f_y} \quad y \quad \rho_{wACI} \frac{200}{f_y}$$

*La mayor de ambas*

$$\rho_{wACI} = \frac{3\sqrt{4,000 \text{ Psi}}}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00316$$

$$\rho_{wACI} = \frac{200}{60,000 \text{ Psi}} = 0.00333$$

La cuantía de acero es  $\rho_{wACI} = 0.00333$ , según ACI 318-19 sección 9.6.1.2, el porcentaje de acero debe ser menor al del refuerzo propuesto, esta condicional cumple.

$$\rho_{w_{propuesto}} > \rho_{wACI}$$

### 3.9.1. Distribución de refuerzo que necesita el elemento

Siguiendo la normativa ACI 318-19 capítulo 25.2.1, los espaciamientos son de 25 mm, por lo tanto, para saber la distribución del acero a colocar en la zona de tensión es mediante una condición, el cual podemos observar:

Distribución de acero longitudinal:

$$\frac{A_{s_{distribución}}}{\text{Área de barra}} \leq bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}$$

$$\frac{2.65949 \text{ in}^2}{0.11045 \text{ in}^2 (\text{Barra \#3})} \leq 39.37 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.25 \text{ in}}$$

$$24 \text{ barras \#3} < 37 \text{ barras}$$

Separación de acero longitudinal:

$$S = \frac{bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamiento mínimo ACI}}}{\frac{A_{S \text{ distribución}}}{\text{Área de barra}}}$$

$$S = \frac{37 \text{ in}}{24 \text{ Barras \#3}} = 1.5417 \text{ in}$$

Separación máxima de acero longitudinal según ACI 318-19, Sección 24.3.2:

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{f_s} \right) - 2.5 * C_c$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) - 2.5 * \text{Recubrimiento}$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * 60,000 \text{ Psi}} \right) - 2.5 * 2.5 \text{ in} = 8.75 \text{ in}$$

Como también:

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{f_s} \right)$$

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * f_y} \right) = 12 \text{ in}$$

Obteniendo la separación máxima según ACI, se elige la menor separación máxima. Siendo 8.75 in, seguidamente si se realiza la siguiente comparación:

$$S = \frac{37 \text{ in}}{24 \text{ Barras \#3}} = 1.5417 \text{ in} \leq S_{ACI} = 8.75 \text{ in}$$

Por lo tanto, la cantidad máxima de barras longitudinal que permite la sección son 37, siguiendo esta secuencia lógica de la relación del acero total y el área de una propuesta de barra, se determinó que es preciso colocar 23 barras #3 a cada 1.5417 in, con un recreado de 4 in en "h".

- Distribución de refuerzo por contracción y temperatura según ACI 318-19 sección 24.4.3.2

$$A_{\text{tracción y temperatura}} = 0.0018 * bw * \text{recreado propuesto}$$

$$A_{\text{tracción y temperatura}} = 0.0018 * 39.37 \text{ in} * 4 \text{ in}$$

$$A_{\text{tracción y temperatura}} = 0.28346 \text{ in}^2$$

Ecuación 3-69 - Distribución de refuerzo por contracción y temperatura, según ACI 318-19

Distribución de acero:

$$\frac{A_{\text{tracción y temperatura}}}{\text{Área de barra}} \leq bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}$$

$$\frac{0.28346 \text{ in}^2}{0.11045 \text{ in}^2 (\text{Barra \#3})} \leq 39.37 \text{ in} - \frac{2 * 1.6 \text{ in}}{1.25 \text{ in}}$$

$$3 \text{ barras \#3} < 37 \text{ barras}$$

Separación de acero:

$$S = \frac{bw - \frac{2 * \text{recubrimiento mínimo ACI}}{\text{espaciamento mínimo ACI}}}{\frac{A_{\text{tracción y temperatura}}}{\text{Área de barra}}}$$

$$S = \frac{37 \text{ barras}}{3 \text{ barras \#3}} = 12.3333 \text{ in}$$

Separación máxima según ACI 318-19, Sección 24.3.2:

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{f_s} \right) - 2.5 * C_c$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * fy} \right) - 2.5 * \text{Recubrimiento}$$

$$S_{ACI} = 15 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * 60,000 \text{ Psi}} \right) - 2.5 * 2.5 \text{ in} = 8.75 \text{ in}$$

Como también:

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{fs} \right)$$

$$S_{ACI} = 12 \left( \frac{40,000}{\frac{2}{3} * fy} \right) = 12 \text{ in}$$

Obteniendo la separación máxima según ACI, se elige la menor separación:

$$S = \frac{37 \text{ barras}}{3 \text{ barras \#3}} = 12.333 \text{ in} \geq S_{ACI} = 8.75 \text{ in}$$

Por lo tanto, la cantidad máxima de barras por contracción y temperatura que permite la sección son 37, siguiendo esta secuencia lógica de la relación del acero total y el área de una propuesta de barra, se determinó que es preciso colocar barras #3 a cada 8.75 in por cada 39.37 in de longitud.



*Ilustración 3-35 - Representación gráfica de la nueva sección con el acero de refuerzo, losa convencional, recercado de hormigón*

### 3.10. Refuerzo sísmico estructural externo mediante el método recrecido de hormigón

Según lo abordado a partir de la sección 3.1 del presente capítulo, se ha ejemplificado con detenimiento los pasos a seguir para el reforzamiento estructural externo en edificaciones diseñadas de forma convencional, no obstante, de igual forma se debe considerar e implementar el método para elementos el cual resisten solicitaciones sísmicas, tomando en consideración el comportamiento de las nuevas cargas que actúan provocando nuevos esfuerzos.

#### 3.10.1. Vigas

El reforzamiento estructural externo ocurre cuando los elementos son expuestos a nuevos esfuerzos producidos por cargas, estas tienen su origen a través del cambio de uso al que se le dará a la edificación, en la sección 3.1 se explica paso a paso la ejemplificación de cálculos, en teoría es el mismo procedimiento al considerar el diseño a flexión con algunas consideraciones extras a tomar en cuenta.

El reforzamiento a través del método recrecido de hormigón para elementos sísmicos se basa completamente en el cortante el cual según ACI 318-19 sección R18.6.5:

$$V_e = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{l_n} \mp \frac{wl_n}{2}$$

*Ecuación 3-70 - Cortante sísmico en vigas*

Cuando ocurra excitación provocado por el sismo, este debe ser capaz de soportar los esfuerzos producidos por el mismo, por este motivo se debe considerar el cálculo de momentos probables.

$$M_{pr_1} = \left( A_s * 1.25 * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

*Ecuación 3-71 - Momento probable para flexión positiva*

$$M_{pr2} = \left( A_s * 1.25 * f_y * \left( d - \frac{a}{2} \right) \right)$$

*Ecuación 3-72 - Momento probable para flexión negativa*

Se debe considerar dos cálculos de momentos probables, esto valida que el reforzamiento sísmico se aplica para vigas doblemente reforzadas, en donde, la parte superior e inferior de la viga se deben diseñar a flexión simple tomando en cuenta los criterios de cortante.

Así mismo, la altura del bloque a compresión se obtendrá de la siguiente forma:

$$a = \frac{A_s * (1.25 * f_y)}{0.85 * f'_c * b}$$

*Ecuación 3-73 - Factor sísmico al cálculo de bloque a compresión*

Se puede apreciar en la ecuación que  $1.25 * f_y$ , la fluencia del acero tiene un factor de amplificación, este mismo, hace la diferencia de un diseño convencional a un sísmico, este cálculo hace una proyección de cuál podría ser el momento que ocurrirá provocado por la excitación por las ondas sísmicas.

El espaciamiento a cortante longitudinal según ACI 318-19 sección 18.6.4.1 y 18.6.4.4, es en base a  $2h$  "sección crítica", el primer estribo debe estar colocado a 2 in, donde el resto será a través del menor entre  $S_1$  y  $S_2$ , donde  $V_c = 0$ :

$$S_1 = 6 \text{ in}, \quad S_1 = \frac{d}{4},$$

$$S_1 = 60,000 \text{ Psi} * 6 d_b (d_b = \text{Barras a flexión con menor diametro})$$

$$S_2 = \frac{A_v * f_y * d}{V_s}$$

*Ecuación 3-74 - Separación sísmica mínima  $2h$  a cortante para vigas*

Luego de la sección crítica  $2h$ , en la sección 18.6.4.9 según ACI 318-19, se colocarán estribos entre el menor de  $S_3$  y  $S_4$ :

Donde  $V_s$  es calculado entre la diferencia del cortante mayorado y cortante del concreto, de esta manera obtenemos

$$S_3 = \frac{A_v * f_y * d}{V_s}$$

$$S_4 = \frac{d}{2}$$

Ecuación 3-75 - Separación sísmica a cortante al resto del claro para vigas

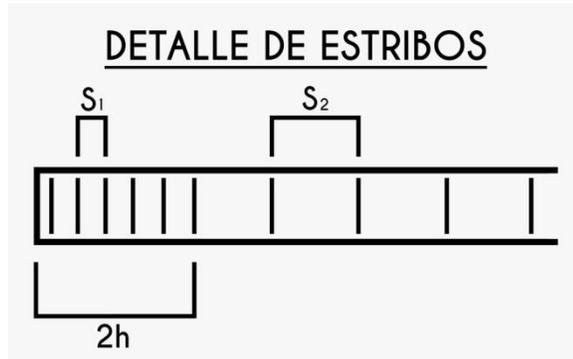


Ilustración 3-36 - Detalle de refuerzo secundario en vigas sísmicas, recrecido de hormigón

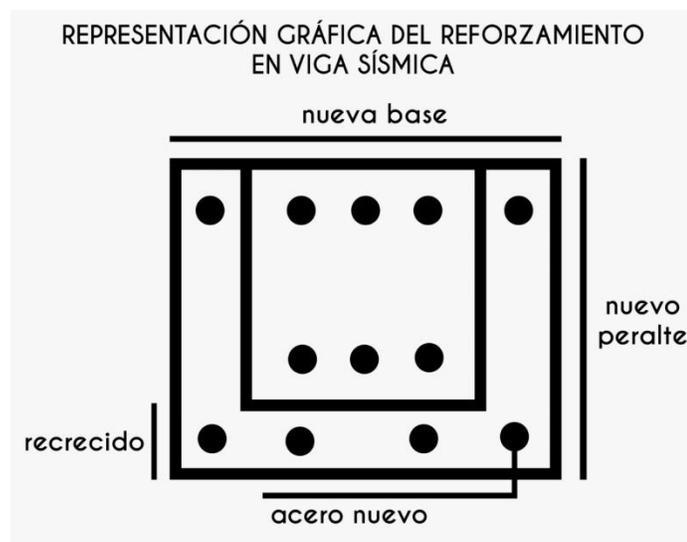


Ilustración 3-37 - Representación gráfica de la nueva sección con su acero longitudinal y transversal, vigas sísmicas, recrecido de hormigón

### 3.10.2. Columnas

El refuerzo estructural externo sísmico es aplicable para columnas biaxiales (ejemplificadas en la sección 3.8 del presente capítulo).

En la sección 3.10.1 se explica paso a paso el proceso para reforzar un elemento esto debido a un cambio de uso, cambio de normativa o rehabilitación, se hace referencia que esto depende del cortante, para columnas tendremos que según ACI 318-19 sección R18.6.5:

$$V_e = \frac{M_{pr_1} + M_{pr_2}}{l_u}$$

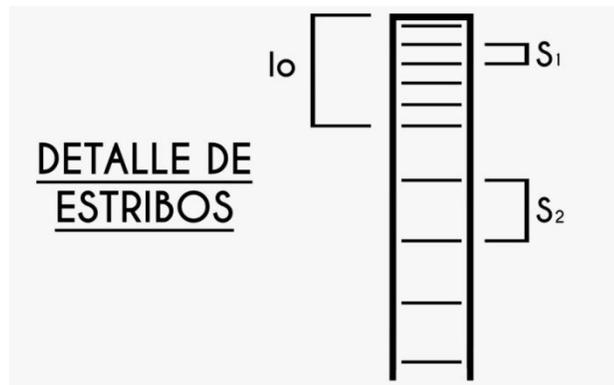
*Ecuación 3-76 - Cortante sísmico en columnas*

Así mismo para el cálculo de “a” y los momentos probables se debe de añadir el factor 1.25\*fy, el cual hace una amplificación de cuál podría ser el momento que ocurrirá provocado por la excitación por las ondas sísmicas.

El espaciamiento a cortante crítico longitudinal es en base a una distancia “lo”, este se calcula según ACI 318-19, sección 18.7.5.1, obteniendo el valor mayor:

$$l_o = 18 \text{ in}, \quad l_o = h, \quad l_o = \frac{1}{6} * \text{longitud de columna}$$

*Ecuación 3-77 - Distancia para separación mínima de cortante sísmico en columnas*



*Ilustración 3-38 - Detalle de separación de estribo sísmico, columna, recreado de hormigón*

Los estribos que irán dentro de esta distancia crítica “lo”, deberán ser colocados a una distancia longitudinal según ACI 318-19 sección 18.7.5.3, el menor valor:

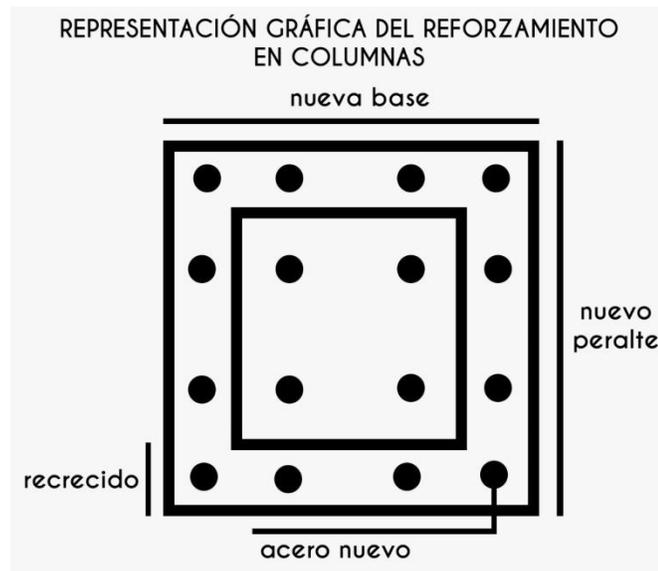
$$s_1 = \frac{1}{4} \text{ de la dimensión menor de la columna}$$

$$S_1 = 60,000 \text{ Psi} * 6 d_b$$

*Ecuación 3-78 - Separación mínima a cortante sísmico en columnas al resto del claro*

Donde el resto de separación en el resto del claro de la columna según ACI 318-19, sección 18.7.5.5, será el menor entre:

$$s_2 = 6 \text{ in}, S_2 = 6d_b \text{ de la menor barra longitudinal de la columna}$$



*Ilustración 3-39 - Representación gráfica de la nueva sección con distribución longitudinal y transversal, columna sísmica, recrecido de hormigón*

**CAPITULO IV: *DESARROLLO DEL  
SOFTWARE “StrucG” CON VISUAL STUDIO  
2019***

## **4.1. Visual Studio**

Visual Studio es una aplicación informática que proporciona servicios integrales para facilitarle al desarrollador o programador la creación de software, permitiendo desarrollar aplicaciones, sitios y aplicaciones web, así como servicios web en cualquier entorno que soporte la plataforma .NET, algunos lenguaje de programación que encuentran en el programa son Visual Basic, Visual C# y Visual C++.

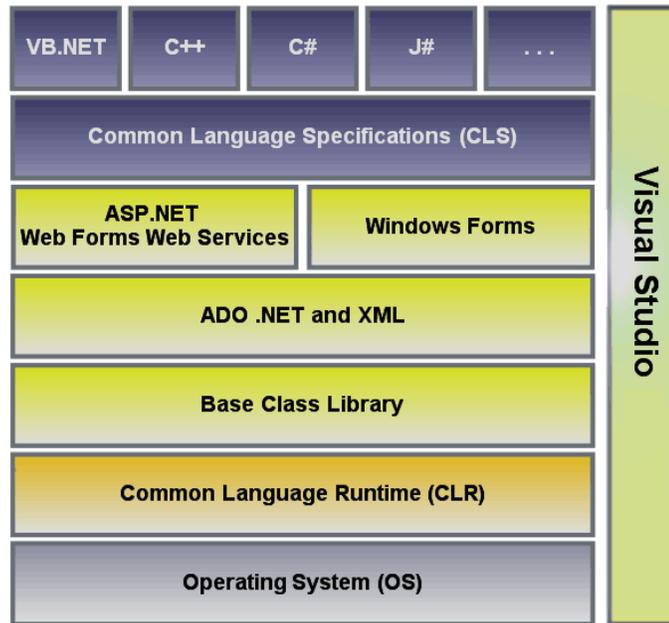
También se le conoce como un editor de código fuente basado en componentes para crear aplicaciones eficaces y de alto rendimiento, que habilita el uso compartido de herramientas y facilita la creación de soluciones en varios lenguajes, este paquete permite programar contenidos informáticos gráficos de manera simple y accesible, Así mismo, dichos lenguajes utilizan las funciones de .NET Framework, las cuales ofrecen acceso a tecnologías clave para simplificar el desarrollo de aplicaciones web ASP y Servicios Web XML.

### **4.1.1. Plataforma .NET**

La plataforma .NET es un amplio conjunto de bibliotecas de desarrollo que pueden ser utilizadas con el objetivo principal de acelerar el desarrollo de software y obtener de manera automática características avanzadas de seguridad, rendimiento,

En realidad, .NET es mucho más que eso, ya que ofrece un entorno gestionado de ejecución de aplicaciones, lenguajes de programación y compiladores, y permite el desarrollo de todo tipo de funcionalidades: desde programas de consola o servicios Windows, hasta aplicaciones para dispositivos móviles pasando por desarrollos de escritorio o para Internet.

En la siguiente ilustración, podrá ver el proceso lógico consecuente de lo que conlleva la plataforma en base a los diferentes tipos de lenguaje desarrollados:



*Ilustración 4-1 - Componentes de Visual Studio*

#### 4.1.2. CLR - Common Language Runtime

El CLR o Common Language Runtime es la parte de .NET encargada de ejecutar las aplicaciones desarrolladas para la plataforma.

El CLR nos garantiza también la seguridad de los tipos de datos, avalando que no se producen errores en la conversión de tipos en la ejecución de una aplicación .NET. Este aspecto y algunos otros vienen regulados por lo que se conoce el Common Type System (CTS) o Sistema Común de Tipos de datos.

#### 4.1.3. CLS - Common Language Specification

La especificación del lenguaje común o CLS está formada por un conjunto de reglas que deben ser seguidas por las definiciones de tipos de datos. Así, dichos datos pueden interactuar desde una aplicación escrita en un lenguaje determinado con otra aplicación escrita en otro lenguaje diferente.

#### 4.1.4. BCL - Base Class Library

BCL está formada por bibliotecas o APIs especializadas que pueden ser utilizadas por todos los lenguajes de programación de la plataforma .NET. Cada una de estas bibliotecas puede contener a su vez numerosas clases que aglutinan varios métodos y funciones con características concretas.

## 4.2. Programación en C++

C++ es un lenguaje de programación que proviene de la extensión del lenguaje C para que pudiese manipular objetos. A pesar de ser un lenguaje con muchos años, su gran potencia lo convierte en uno de los lenguajes de programación más demandados en 2019.

En la siguiente ilustración muestra el proceso de inicio del planteamiento de un problema o con una solicitud específica de un programa, lo cual se conoce como requerimiento de programa. Una vez que se ha planteado un problema o se ha hecho una solicitud específica para un programa, comienza la fase de diseño y desarrollo.

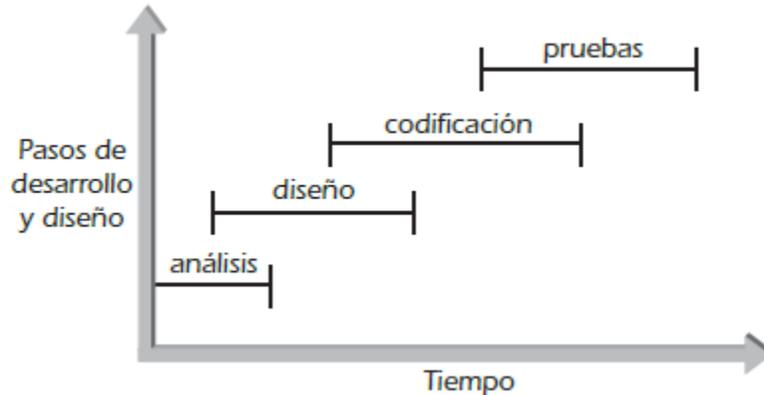


Ilustración 4-2 - Proceso de ejecución de C++

### 4.2.1. Sintaxis en C++

La sintaxis de un lenguaje de programación es el conjunto de reglas para formular instrucciones gramaticalmente correctas en un lenguaje. En la práctica esto significa que una instrucción en C++ con sintaxis correcta tiene la forma apropiada especificada para el compilador. Como tal, el compilador aceptará la instrucción y no generará un mensaje de error.

### 4.2.2. Programación orientada a objetos POO en C++

Además de clasificar los lenguajes de programación como de alto o bajo nivel, también se clasifican por su orientación a procedimientos u objetos. En un lenguaje orientado a procedimientos las instrucciones disponibles se usan para crear unidades independientes, conocidas como procedimientos. El propósito de

un procedimiento es aceptar datos como entrada y transformarlos de alguna manera para producir un resultado específico como una salida.

### 4.3. Desarrollo de StrucG

Para poder crear el programar y realizar una sintaxis, fue necesario comprender a profundidad el método recrecido de hormigón y así mismo el diseño de vigas, columnas y losas unidireccionales, esto con la finalidad de visualizar y proyectar los procesos algorítmicos que serían programados para realizar StrucG, por lo tanto, este mismo se basó en cuatro fases.

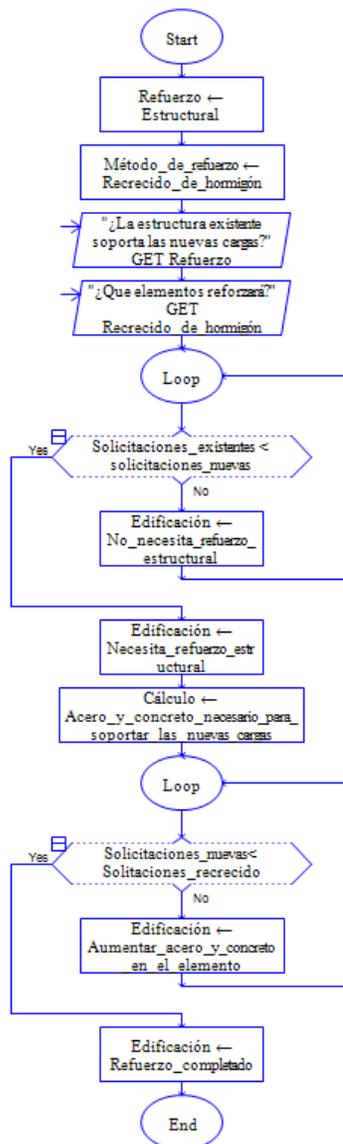


Ilustración 4-3 - Diagrama de flujo de ejecución de StrucG

#### 4.3.1. Diseño de codificación

Se representan las bases de StrucG, el proceso lógico de fórmulas para llegar a una determinada respuesta, procedimientos basados en el código ACI 318-19 y ACI 562-13. El Pseudocódigo programado es fundamental para solucionar los diferentes tipos de recrecido que necesite el elemento, en base a una secuencia de pasos que el usuario deberá seguir desde la obtención de datos (entrada de datos) hasta la visualización e interpretación de resultados el cual fueron programados.

#### 4.3.2. Codificación de sintaxis

La segunda etapa del desarrollo de StrucG, fue la más compleja de todas las fases de creación del software, dado que se debía seguir todo en base a normativas, lograr tener el dominio completo del lenguaje C++ como del entorno del ejecutor de Pseudocódigo Visual Studio 2019, con el objetivo de darle un sentido lógico de secuencia algorítmica para obtener resultados exactos.

El Software fue programado para un diseño de nuevas secciones de un elemento, el cual sea capaz de vencer los nuevos esfuerzos producidos por un cambio de uso de la edificación, esto causará nuevas solicitaciones necesitando que el pseudocódigo proponga porcentajes de acero, recrecido de hormigón, de esta forma la estructura será capaz de soportar dichas cargas.

El proceso algorítmico que cuenta StrucG para la realización de cálculos, se basa en el sistema de medida inglés, la entrada de datos (dimensionamiento de la sección, nuevas solicitaciones, fuerza de compresión del concreto y así mismo fluencia del acero) se determina en PSI, en otras palabras “libras por pulgadas cuadradas”.

#### 4.3.3. Prueba de sintaxis programada

Una vez programado y conociendo la secuencia lógica algorítmica que ejecuta Visual Studio 2019, se procede a realizar dos pasos

- ✓ Depurar la sintaxis
- ✓ Ejecutar la sintaxis

Al momento de realizar una depuración se basa en la comprobación correcta lógica del lenguaje c++, si no presenta advertencias y mucho menos errores en la línea de código, está listo para ser ejecutable y realice las primeras entradas de datos para la obtención de resultados.

Cuando se realiza el proceso de ejecutar la sintaxis, se refiere al proceso correcto de codificación algorítmica en c++, por lo tanto es viable y se puede realizar la comparación de resultados con ejemplificaciones de libros o de la misma teoría.

#### 4.3.4. Diseño de interfaz

La cuarta etapa de diseño de StrucG, se basa fundamentalmente en el entorno de Visual Studio 2019, siendo este mismo quien aporta herramientas para la creación de una interfaz.

##### a) Label

El componente Label es el que nos permite incluir palabras, letras o frases en la pantalla (form) de forma visual, no es lo mismo que introducir un texto sino que hablamos de algún texto que queremos que aparezca en la pantalla, con si de un rotulo o mensaje se tratara.

##### b) Buttons

Un Buttons en C++ se utilizó para la ejecución del proceso lógico del pseudocódigo, esto para obtener una interpretación de resultados.

##### c) Textbox

Un TextBox es un control que principalmente utilizamos para que el usuario introduzca datos, pero también puede mostrar una respuesta predeterminada o incluso servir para mostrar en vez de para pedir datos.

d) Tab label

Tab label o etiqueta de pestaña, es una ventana el cual cuenta con dos diferentes opciones de visualización, aquí es donde se mostrará los resultados obtenidos a través de la entrada de datos,

#### **4.4. Alcances y limitaciones de StrucG**

El software fue programado para lograr rediseñar un elemento estructural que necesita rehabilitación ya sea por cambio de uso o cambio de normativa, en elementos como vigas, columnas y losas en una dirección, fundamentado en las normas ACI 318-19 y ACI 562-19.

➤ Refuerzo estructural convencional

StrucG cuenta con una interfaz interactiva con el objetivo de realizar un reforzamiento estructural externo mediante recrecido de hormigón en vigas diseñadas de forma convencional con sección rectangular y sección T. La nueva distribución de acero se realizará en la zona inferior de esta misma, los pseudocódigos que fueron implementados en el software son capaces de dar dos opciones al usuario.

a. Caso de estudio 1 - momento positivo: refuerzo a flexión (se implementará un recrecido en la zona inferior de la viga y nuevo acero distribuido longitudinalmente).

b. Caso de estudio 2 - momento negativo: refuerzo a flexión (se implementará un recrecido en la zona inferior de la viga).

➤ Refuerzo estructural sísmico

El refuerzo estructural externo sísmico que presenta StrucG es para vigas con sección rectangular, tomando en cuenta que siempre será con armado de acero doblemente reforzado, esto es dado que al momento de las oscilaciones provocará en el elemento que la parte superior e inferior tengan esfuerzos, por lo tanto se toma en cuenta el diseño a flexión en estas dos caras de la viga.

Al igual que el reforzamiento convencional se propondrá acero, concreto en la parte inferior de la viga, con la diferencia que se colocarán estribos para vencer la fuerza a cortante y el elemento sea capaz de soportar las solicitaciones demandadas.

#### 4.4.1. Refuerzo estructural en columnas

##### ➤ Refuerzo estructural convencional

El reforzamiento estructural externo en columnas, será para sección rectangular y con comportamiento axial, uniaxial y biaxial para cargas con diseño convencional.

StrucG cuenta con nueve casos de estudio, el usuario a través de la entrada de datos podrá apreciar cual es el que desea recrear. Los resultados obtenidos mediante la salida de datos del software, serán basados en equilibrio de fuerzas con referencia a los diagramas de deformaciones unitarias obteniendo así la nueva distribución longitudinal como el refuerzo transversal logrando un diseño de recrecido constructivo viable.

##### ➤ Refuerzo estructural sísmico

Al igual que el reforzamiento convencional se propondrá acero y concreto en las cuatro caras de la viga, con la objetividad clara que se enfoca para columnas con carga biaxial en tres casos de estudio especificado en la interfaz, esto dado que en este tipo de elemento estructural solo se basa para distribuciones de refuerzo totalmente simétrico.

#### 4.4.2. Refuerzo estructural en losas unidireccionales

El reforzamiento estructural para losas unidireccionales se basa con la metodología para vigas con la excepción que los datos esenciales que debe introducir el usuario deberán de ser específicamente bajo el método de franja unitaria. La interfaz de “StrucG” cuenta con la misma distribución de acero longitudinal como recrecido y sí mismo con las opciones de caso de estudio sección 4.4.1 del presente capítulo.

#### 4.4.3. Limitaciones de StrucG

- El software desarrollado por su objetividad planteada no abordará los casos de reforzamiento estructural externo según el método recrecido de hormigón a elementos no mencionados en los alcances del software a desarrollar (Losas bidireccional, uniones, muros y cimentaciones).
- Una vez iniciado un proyecto este debe concluirse ya que StrucG no genera archivos de respaldo o guardados en su ordenador.
- La entrada de datos de StrucG para la fuerza de compresión del concreto, permite la ejecución de datos a partir de 3,000 Psi hasta 10,000 Psi. Así mismo para  $f_y$ , está entre acero grado 40 y 60 Ksi.
- El diámetro máximo de varilla que permite StrucG en la entrada de datos de la interfaz será #10, así también tendrá el mismo diámetro máximo la distribución del nuevo refuerzo.
- La entrada de datos y salida de resultados que presenta StrucG, será solamente a través del sistema de medida inglés.
- StrucG solo presenta la opción de reforzar columnas aplicando el método recrecido de hormigón a secciones rectangulares.
- El software fue programado para lograr rediseñar un elemento estructural que necesita rehabilitación ya sea por cambio de uso o cambio de normativa, sin embargo, no rediseña elementos afectados por un sismo u otros elementos externos el cual una edificación está expuesta.

- StrucG no tiene el enfoque de calcular reducción de fuerzas por junta fría.
- StrucG fue programado en sus algoritmos para obtener resultados a través del concreto armado, este no realiza los cálculos con otro tipo de concreto.
- Por criterio StrucG tiene un límite de aumento de dimensionamiento y de acero de refuerzo.
- StrucG solo realiza el reforzamiento estructural con el mismo  $f_c$  que ingresa el usuario.

**CAPITULO V: VALIDACIÓN DE  
RESULTADOS DEL SOFTWARE “StrucG”**

## 5.1. Validación diseño convencional

El método recrecido de hormigón para el reforzamiento estructural no cuenta con ejemplos basados con la normativa actual ACI 318-19 y ACI 562-19, por lo tanto, la validación de resultados se basa en analizar los ejemplos de diseño desarrollados en el capítulo 3, aplicarlos en StrucG, y comparar resultados entre SAP2000 y el software desarrollado.

Esto a través de modelar la nueva sección con el recrecido usando la herramienta “section designer” que proporciona el software profesional SAP 2000.

### ➤ Viga

La validación del recrecido en vigas se hizo a través del ejemplo de diseño planteado en el capítulo 3.1 (viga simplemente reforzada).

Primeramente, se introdujeron las propiedades geométricas y mecánicas del elemento y las solicitaciones de cargas en la entrada de datos del software StrucG y posteriormente se realizó el diseño de recrecido dando como resultado lo siguiente:

The screenshot displays the StrucG 1.0 software interface. On the left, a table lists input parameters for a beam element:

Reforzamiento	Referencias	Ayuda
Caso de estudio	1	?
Base	15 in	
Peralte	18 in	
Recubrimiento	2.5 in	
Grado de acero	60 ksi	
F'c del concreto	4000 psi	
Número de varilla en tensión	6	
Cantidad de barras en tensión	4	
Momento último actuante	3100000 lb.in	
Cortante último actuante	50000 lb	
Número de refuerzo transversal	3	

Below the table is a small diagram of a rectangular beam cross-section with labels for 'base', 'peralte', and 'recubrimiento'. A 'Diseñar recrecido' button is located at the bottom of this section.

The main area of the software shows the results of the design. It includes a 'Detalles constructivos' tab with the following text:

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
Se necesitan 9 barras  
Diámetro #4  
Recrecido inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
Estribos #3 a cada 8 in  
en una zona crítica de 17 in y a cada  
8 in en el resto del claro.

To the right of this text is a graph showing a linear increase in reinforcement from 0.65 to 0.90, with a 'transición' point. The graph is labeled 'Controlado por compresión' and 'Controlado por tracción'.

Below the graph is a 'REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS' showing a cross-section of the beam with 'acero nuevo' (new steel) and 'recrecido' (re-cast) areas. A 'nuevo peralte' (new height) is also indicated.

On the right side of the main area, there are instructions for the construction process:

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

At the bottom of the main area, it says 'SECUENCIA DE CÁLCULOS'.

Ilustración 5-1 - entrada de datos de StrucG, recrecido de hormigón, viga convencional

StrucG 1.0

Reforzamiento Referencias Ayuda

Caso de estudio 1 ?

Base 15 in

Peralte 18 in

Recubrimiento 2.5 in

Grado de acero 60 ksi

F'c del concreto 4000 psi

Número de varilla en tensión 6

Cantidad de barras en tensión 4

Momento último actuante 3100000 lb.in

Cortante último actuante 50000 lb

Número de refuerzo transversal 3

recubrimiento | peralte | base

Diseñar recrecido

Valores teóricos calculados:

Momento nominal del elemento recrecido 3121743 lb.in  
 Cortante nominal del elemento recrecido 72964 lb  
 Factor de seguridad = 0.9  
 Profundidad del eje neutro = 3.775312 in  
 Área de acero necesaria en recrecido 1.869684 in<sup>2</sup>

0.90  
0.75  
0.65

Controlado por compresión Et = Ety Et = Ety + 0.003

Transición Controlado por tracción

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS

nuevo peralte

recruido

acero nuevo

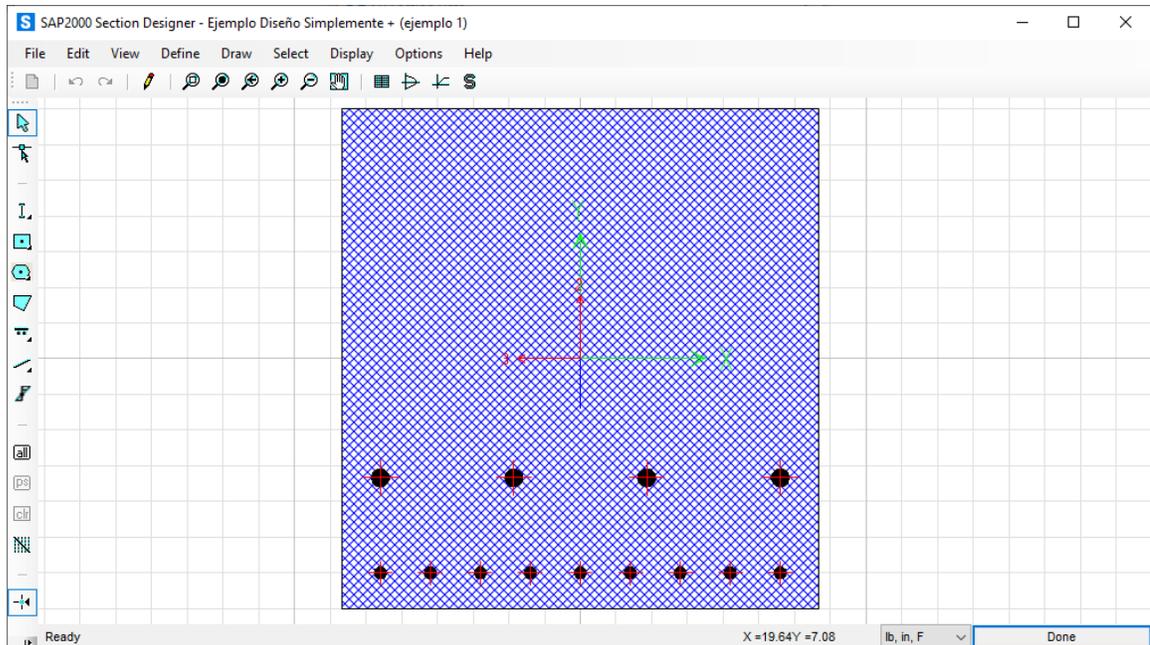
SECUENCIA DE CÁLCULOS

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Ilustración 5-2 - entrada de datos de StrucG, recrecido de hormigón, viga convencional

Se puede observar que el programa dicta que se deben colocar 9 barras diámetro #4 en la parte inferior de la viga, así mismo un recrecido de 2.5 in en peralte y 2.5 in en cada lado del elemento.

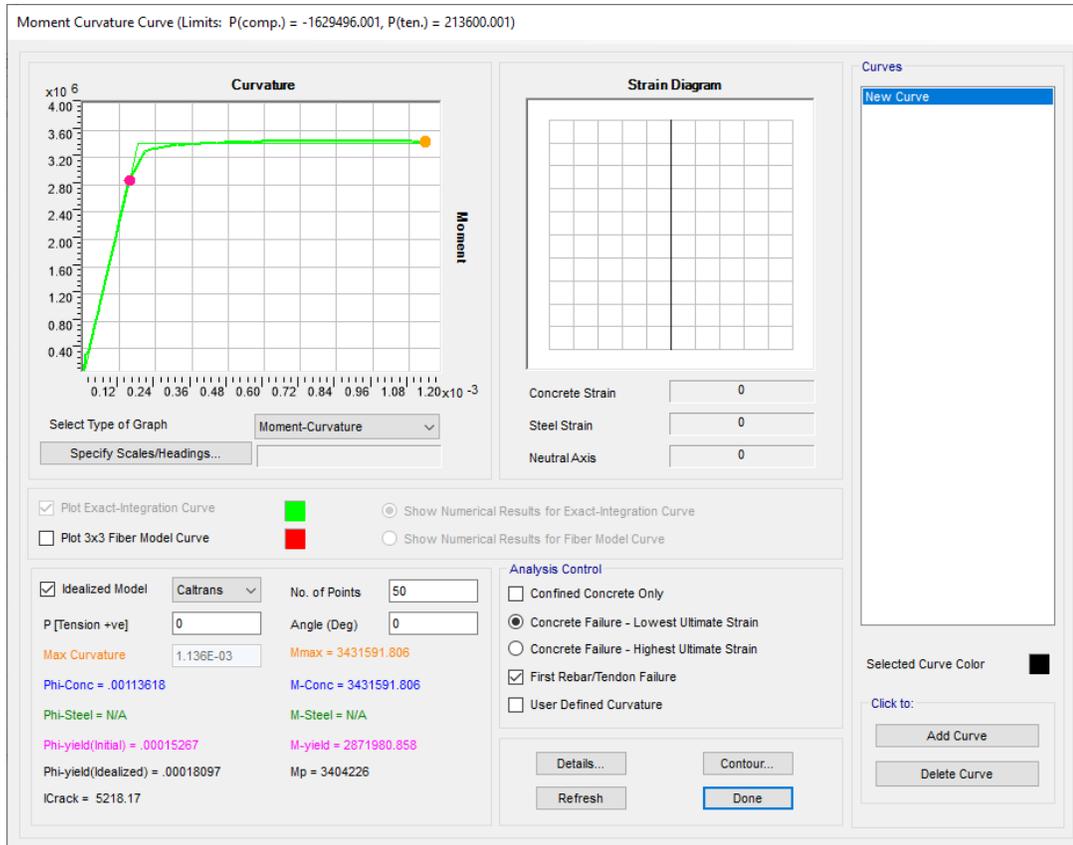
El software SAP2000 cuenta con la opción de crear elementos con secciones complejas o distribuciones de refuerzo poco comunes (section designer).



*Ilustración 5-3 - Modelación en SAP 2000 de la sección obtenida a través de StrucG*

Utilizamos esta herramienta para dibujar y analizar la sección resultante del ejemplo en StrucG, obteniendo datos los cuales vamos a comparar para la respectiva validación (se tomó en cuenta las nuevas dimensiones y la nueva distribución de acero).

Seleccionamos la opción “show moment – curvature curve” para tener acceso a un gráfico el cual nos mostró la relación entre la deformación del concreto y el momento. Se digita un valor de 50 en la casilla que hace referencia a los puntos de la gráfica para que tenga una exactitud mayor.



*Ilustración 5-4 - Resultados de la sección con recrecio en SAP 2000, viga convencional*

Una vez ubicados en esta ventana se selecciona la opción “details” para generar una serie de datos donde encontramos el valor del momento nominal del elemento.

Moment Curvature Curve Details For Curve (Exact Integration) 1

File

-1.927E-03	6.399	7.236E-03	0	-213718
-2.006E-03	6.4831	7.731E-03	0	-213709
-2.087E-03	6.5595	8.241E-03	0	-213717
-2.171E-03	6.6287	8.766E-03	0	-213711
-2.258E-03	6.6914	9.304E-03	0	-213703
-2.348E-03	6.7482	9.858E-03	0	-213696
-2.442E-03	6.7996	0.0104	0	-213688
-2.538E-03	6.8461	0.011	0	-213682
-2.638E-03	6.8882	0.0116	0	-213676
-2.741E-03	6.9261	0.0122	0	-213670
-2.847E-03	6.9604	0.0128	0	-213666
-2.957E-03	6.9912	0.0135	0	-213661
-3.070E-03	7.0187	0.0141	0	-213657
-3.187E-03	7.0433	0.0148	0	-213653
-3.308E-03	7.0651	0.0155	0	-213650
-3.433E-03	7.0842	0.0162	0	-213647
-3.561E-03	7.1009	0.0169	0	-213644
-3.693E-03	7.1161	0.0176	0	-213584
-3.831E-03	7.1276	0.0183	0	-213625

Curvature	Moment Actual	Moment Ideal	Area b/w curves
1.527E-04	2871981	2871981	0

OK

Ilustración 5-5 - Tabla de momentos generada en SAP 2000, viga convencional

Se logra obtener una tabla donde busca el valor más aproximado a 0.003 según ACI 318-19, sección 22.2.2.1 (deformación unitaria del concreto utilizada en StrucG) y luego se desplaza la tabla hacia el lado derecho.

213600	0	-118.3912	0.0004699	3418479
213600	0	-109.2769	0.0004993	3422939
213600	0	-116.8275	0.0005297	3426840
213600	0	-111.3938	0.0005609	3429926
213600	0	-103.4374	0.000593	3432383
213600	0	-95.5454	0.000626	3434314
213600	0	-88.2765	0.0006598	3435794
213600	0	-81.6938	0.0006946	3436880
213600	0	-75.749	0.0007303	3437619
213600	0	-70.3753	0.0007668	3438048
213600	0	-65.5092	0.0008043	3438199
213600	0	-61.0943	0.0008426	3438099
213600	0	-57.0815	0.0008819	3437768
213600	0	-53.4281	0.000922	3437223
213600	0	-50.0968	0.000963	3436479
213600	0	-47.0552	0.001005	3435547
213600	0	-44.2749	0.001048	3434436
213600	0	16.1055	0.001091	3432721
213600	0	-24.9223	0.001136	3431592

Ilustración 5-6 - Continuación de tabla de momentos generada en SAP 2000, viga convencional

En la última columna se puede observar el valor del momento último correspondiente a la sección analizada.

Observamos que el valor obtenido de SAP 2000 es  $M_n = 3,438,099 \text{ Lb} \cdot \text{in}$  y el resultado de StrucG  $M_n = \frac{3,121,743 \text{ Lb} \cdot \text{in}}{0.9} = 3,468,603 \text{ Lb} \cdot \text{in}$ , teniendo una discrepancia del 0.89% entre cada uno.

#### ➤ Columna

Para validar el recrecio en columnas diseñado por StrucG utilizamos las mismas herramientas disponibles en el software SAP2000 que mencionamos anteriormente.

Primero se analizó y diseñó el ejemplo de diseño del capítulo 3.7 (columna sometida a flexo-compresión uniaxial), resultando lo siguiente:

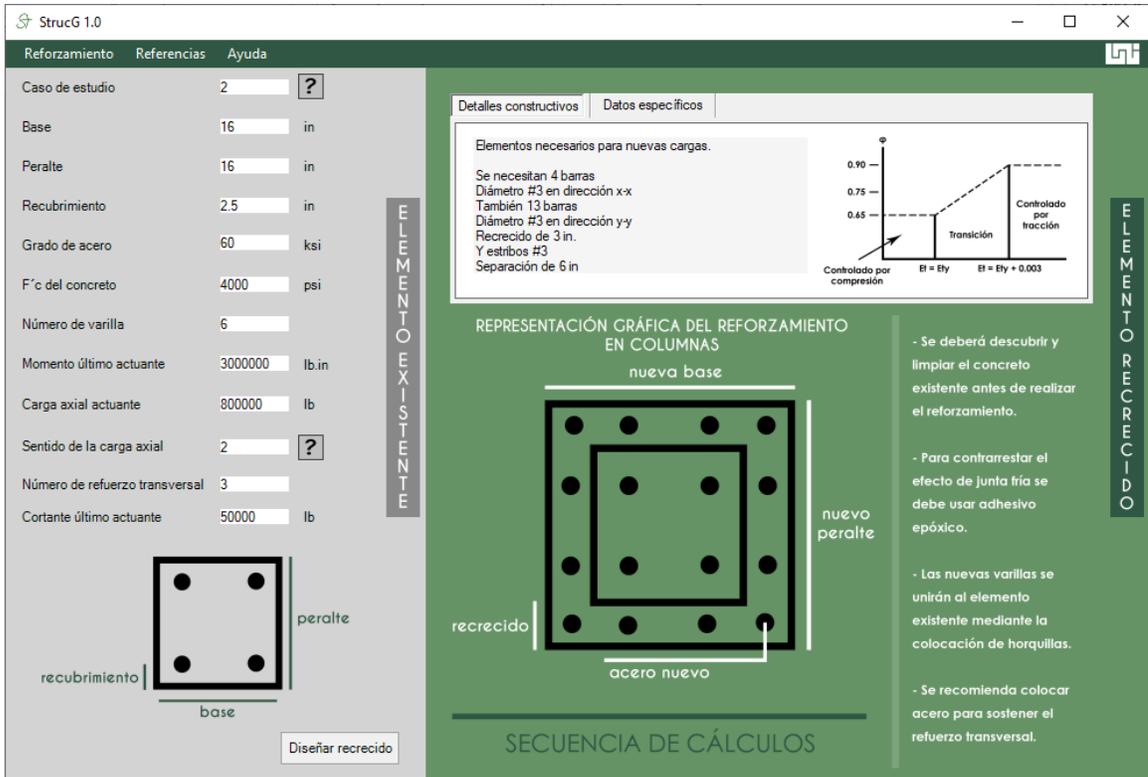


Ilustración 5-7 - Salida de datos de StrucG, recrecido de hormigón, columna convencional

El programa arrojó una serie de resultados con respecto al recrecido los cuales introdujimos en SAP2000 para el respectivo análisis.

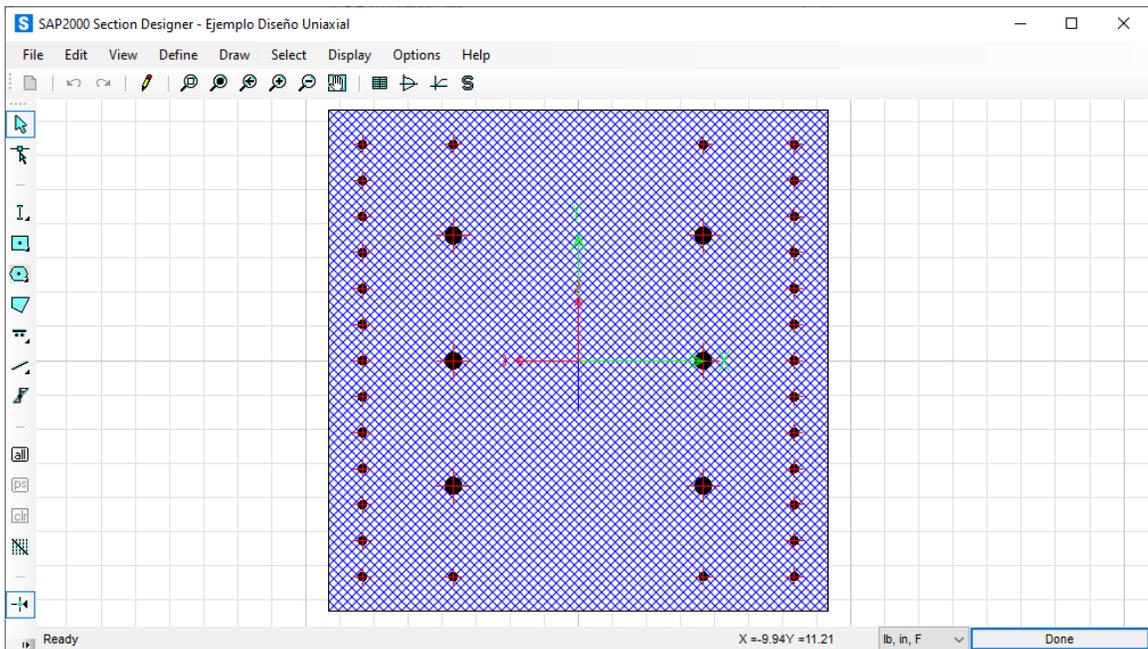


Ilustración 5-8 - Modelación de la sección con recrecido en SAP 2000, columna convencional

Una vez creada la sección en esta herramienta, seleccionamos la opción “Show interaction surface” en la cual encontramos el diagrama de interacción del elemento.

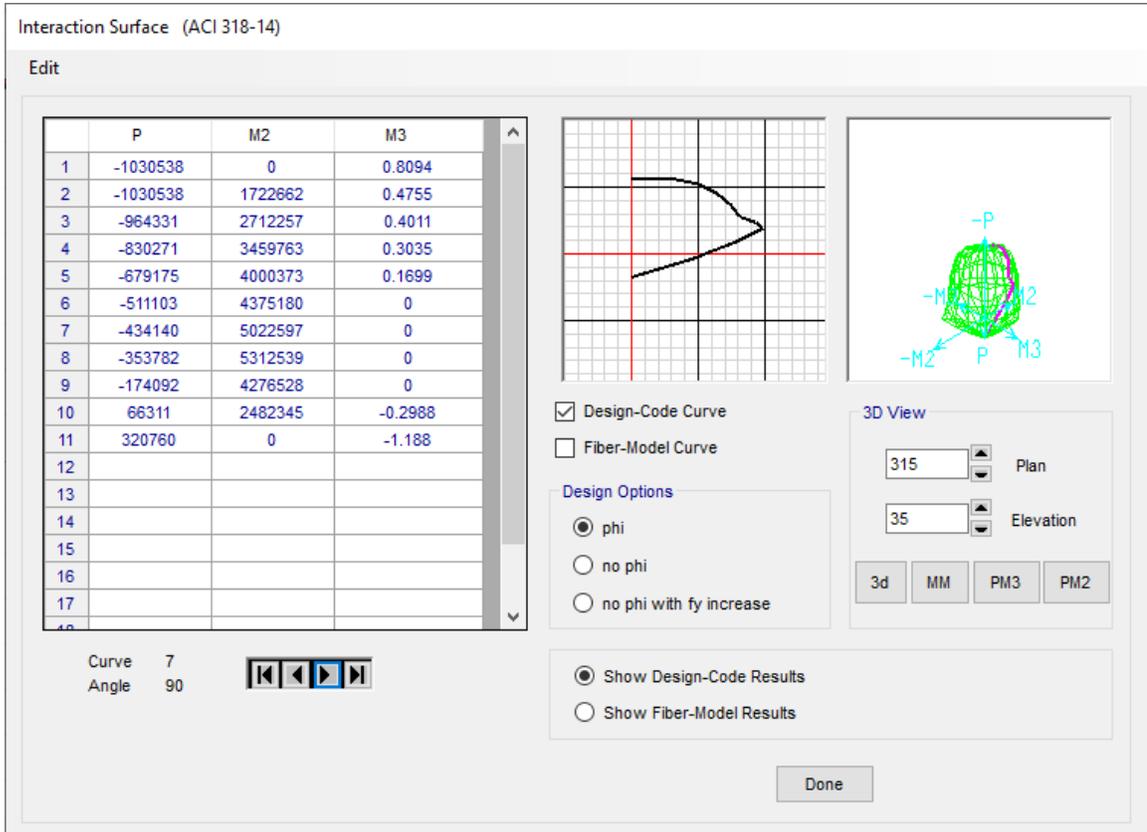


Ilustración 5-9 - Tabla de resultados generada en SAP 2000, columna convencional

Generado el diagrama se puede observar una serie de puntos en una tabla que forman dicha gráfica. Para saber si la sección soporta las solicitaciones planteadas por el usuario se utiliza el software Excel en donde se realiza un “copy and paste” de los datos de la tabla, realizando nuevamente el gráfico y ubicamos el punto correspondiente a las solicitaciones.

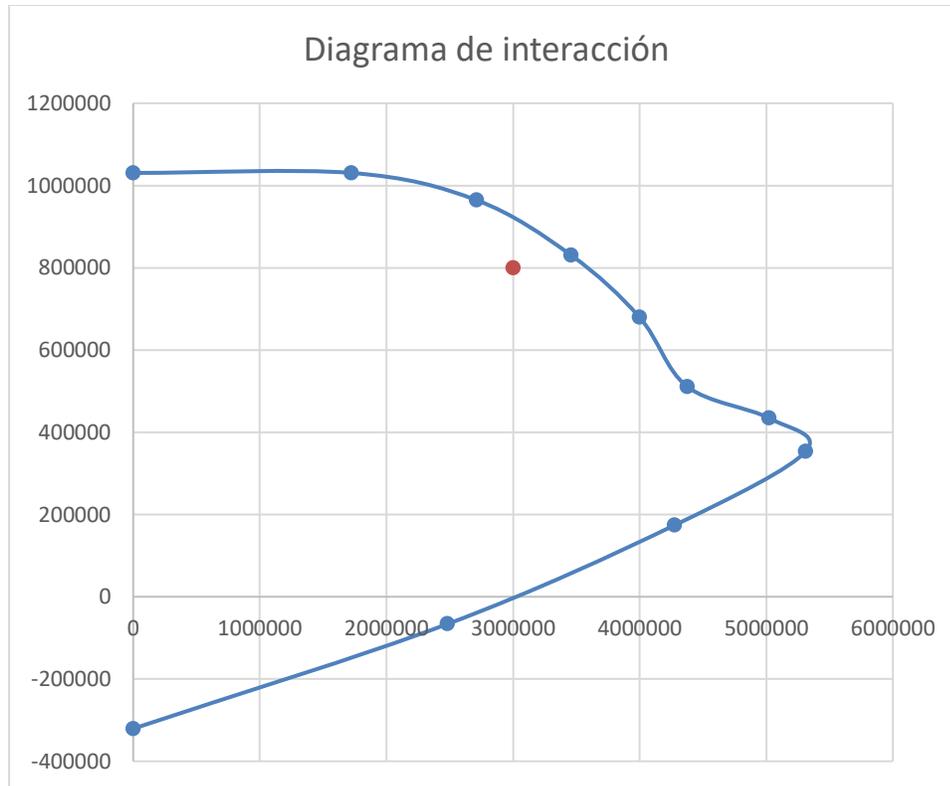


Ilustración 5-10 - Gráfica generada en Excel, columna convencional

Al interceptar el valor de  $M_u = 3,000,000 Lb \cdot in$  y  $P_u = 800,000 Lb$ , punto color naranja) se encuentra dentro de la gráfica, por lo tanto, la sección resultante del diseño de recrecido en StrucG es completamente válida.

### 5.1. Validación diseño sísmico

El diseño del recrecido en un elemento sísmico sigue los mismos principios del diseño convencional con la única diferencia de tomar el valor del esfuerzo de fluencia del acero en un 25% más sobre su valor y siguiendo las pautas de refuerzo transversal planteadas en el ACI 318-19, por ende la validación de este se realizó evaluando la resistencia a flexión de una viga con doble refuerzo ("Structural Concrete" de M. Nadim Hassoun, VII edición, Página 714, ejemplo 20.6) en donde se tomó en cuenta solamente el acero en zona de tensión debido a que se debe analizar cada bloque del elemento por separado (tensión y compresión).

Se digitan los datos en StrucG y procedimos al diseño obteniendo como resultado lo siguiente:

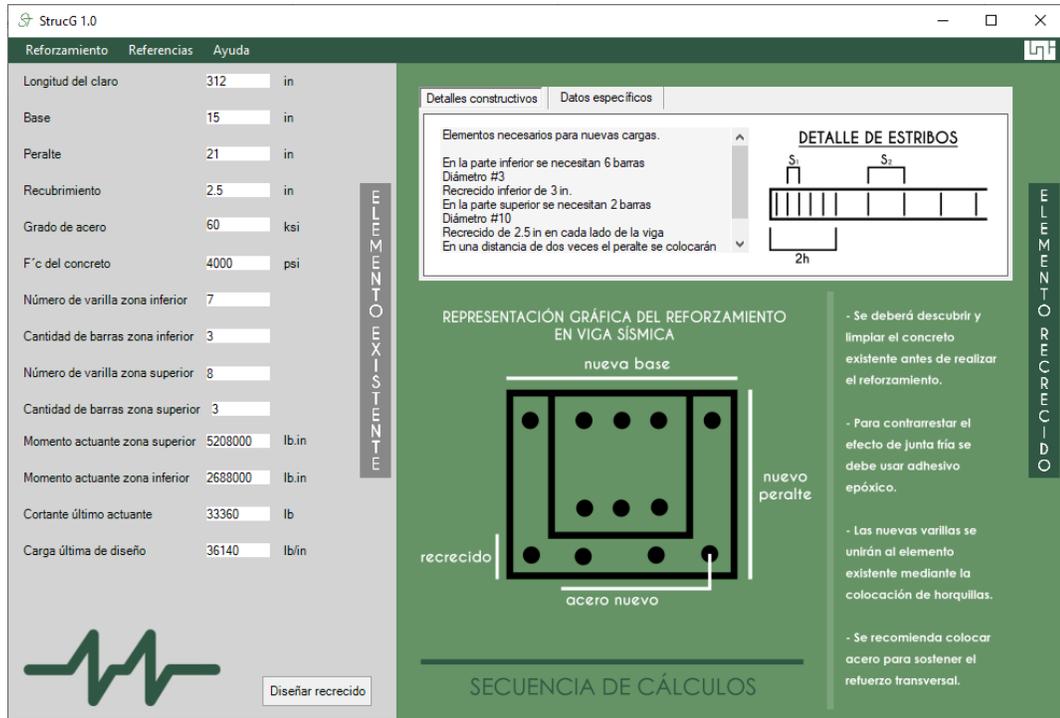


Ilustración 5-11 - Salida de datos de StrucG, recrecido de hormigón, viga sísmica

La sección resultante fue analizada del mismo modo que la validación en vigas mencionada anteriormente; utilizando las herramientas de SAP2000.

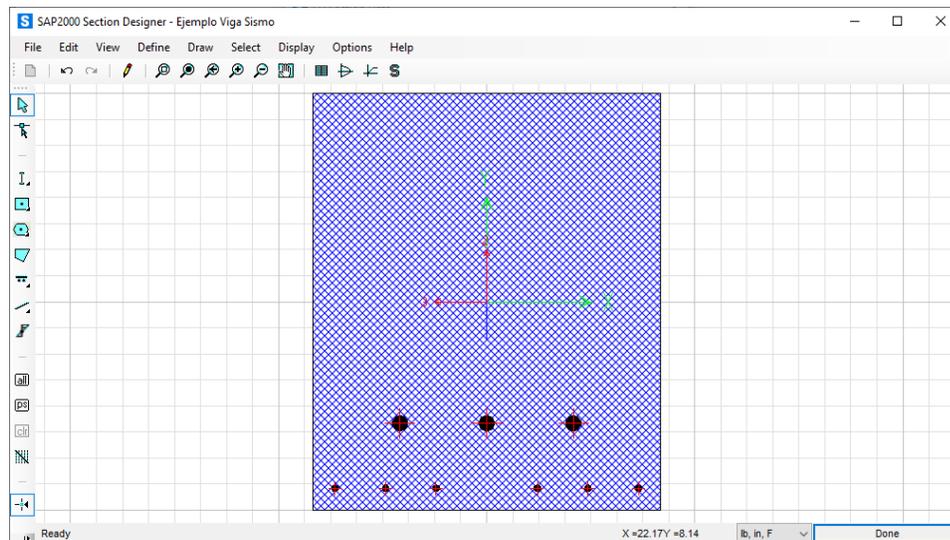


Ilustración 5-12 - Modelación de la sección con recrecido en SAP 2000, viga sísmica

Una vez creada la sección con el refuerzo en la parte inferior y el respectivo recreado se generó la gráfica de momento – curvatura con 50 puntos de exactitud.

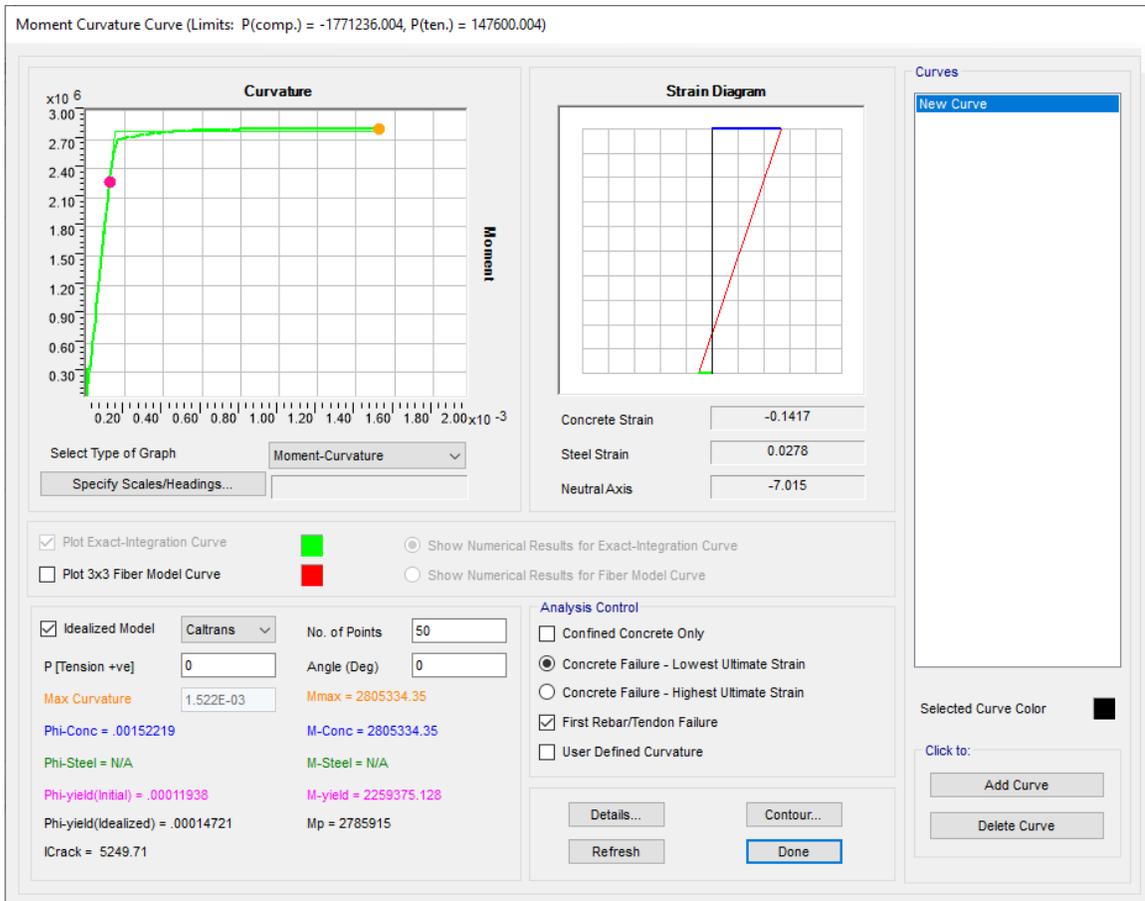


Ilustración 5-13 - Resultados de la sección con recreado en SAP 2000, viga convencional

Posteriormente se elige la opción de detalles para generar los datos donde se encuentra el momento nominal del elemento.

Element ID	Axial Load (lb)	Moment (lb.in)	Curvature (1/in)	Moment (lb.in)
147600	0	-136.918	0.000669	2798368
147600	0	-117.5184	0.0007096	2800327
147600	0	-125.4037	0.0007514	2802284
147600	0	-120.5139	0.0007945	2803783
147600	0	-111.7145	0.0008387	2804956
147600	0	-102.7314	0.0008841	2805881
147600	0	-94.3829	0.0009306	2806597
147600	0	-86.7851	0.0009784	2807133
147600	0	-79.8953	0.001027	2807510
147600	0	-73.6427	0.001078	2807745
147600	0	-67.9577	0.001129	2807854
147600	0	-62.7783	0.001182	2807847
147600	0	-58.0499	0.001235	2807736
147600	0	-53.7252	0.00129	2807527
147600	0	-49.7625	0.001346	2807228
147600	0	-46.1257	0.001404	2806845
147600	0	32.0518	0.001462	2805638
147600	0	11.3748	0.001522	2805334

Ilustración 5-14 -Tabla de momentos generada en SAP 2000, viga sísmica

Podemos observar que el valor correspondiente al momento en una deformación del concreto de 0.003 es  $M_n = 2,807,836 \text{ Lb} \cdot \text{in}$ , lo cual viene siendo mayor a  $M_n = 2,688,000 \text{ Lb} \cdot \text{in}$ ; momento planteado inicialmente como solicitud, por lo tanto, los resultados de StrucG son válidos.

En la siguiente ilustración se muestra los resultados obtenidos de StrucG y SAP 2000 que se realizaron en el presenta capítulo:

	Elemento	Solicitaciones		Resultado StrucG		Resultado SAP2000		Diferencia %
		Axial lb	Momento lb.in	Axial lb	Momento lb.in	Axial lb	Momento lb.in	
Ejemplo 1	Viga		3100000		3468603		3438099	-0.89
Ejemplo 2	Columna	800000	3000000	800000	3896214	800000	3568070	Dentro de curva
Ejemplo 3	Viga Sismo		2688000				2807736	Supera solicitudes

Ilustración 5-15 Tabla comparativa entre "StrucG" y SAP 2000

Se puede observar que existe discrepancia menor al uno por ciento entre StrucG y SAP 200 en vigas, en columnas las solicitaciones se encuentran dentro del diagrama de interacción, siendo así, la validez del software programado es aceptable.

En el capítulo XIX (Anexo-A), podrá visualizar diferentes ejemplificaciones donde se realiza la comparación entre StrucG y SAP 2000, dando una mayor validez del software, donde se aplica el método recocado de hormigón a diferentes elementos, donde la diferencia de resultados entre estos programas es menor al uno por ciento.

**CAPITULO VI: MANUAL DE “StrucG”**  
*PARA EL USUARIO*

## 6.1. Instalación del software

### 6.1.1. Requisitos de instalación

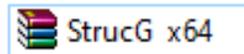
El software StrucG necesita ciertas condiciones para poder funcionar en su ordenador.

Parámetros técnicos que se necesitan en el ordenador:

- ✓ El ordenador debe tener como mínimo 4 GB de RAM.
- ✓ Se recomienda ejecutar StrucG en procesadores tanto Intel core i3 como AMD Ryzen 3.
- ✓ StrucG solo es compatible para sistema operativo Windows de Microsoft.
- ✓ Para que se ejecute el instalador de StrucG, el ordenador debe contar con un CPU de 64 bits, procesador x64.

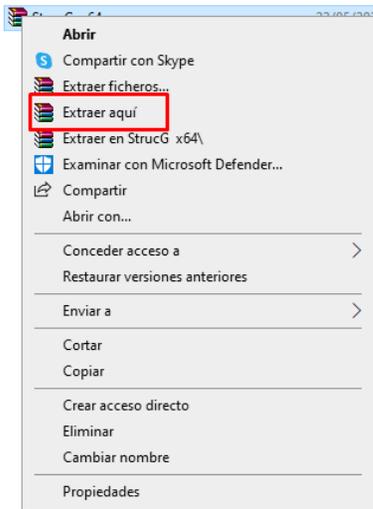
### 6.1.2. Instalación del Software

Para la instalación de StrucG, solo es necesario tener la carpeta Win.rar en donde se encuentra el ejecutable:



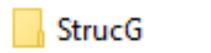
*Ilustración 6-1 -Win.rar de instalación, StrucG*

Obteniendo este archivo, se colocará el cursor en este, se hará click derecho y se elegirá la opción "extraer aquí":



*Ilustración 6-2 - Continuación, Win.rar, instalación StrucG*

Obtendremos la siguiente carpeta:



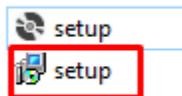
*Ilustración 6-3 - Carpeta de instalación, StrucG*

En esta carpeta se encontrará otra carpeta, el cual tendrá como nombre “Debug”



*Ilustración 6-4 - Carpeta de instalación, continuación*

En esta carpeta “Debug” se encontrarán dos archivos, el cual uno de ellos es el instalador, se seleccionará “setup” el cual es el instalador ejecutable, seguidamente se colocara el cursor en este, se hará click derecho y se elegirá la opción “ejecutar como administrador”:



*Ilustración 6-5 - Ejecutador de instalador, StrucG*

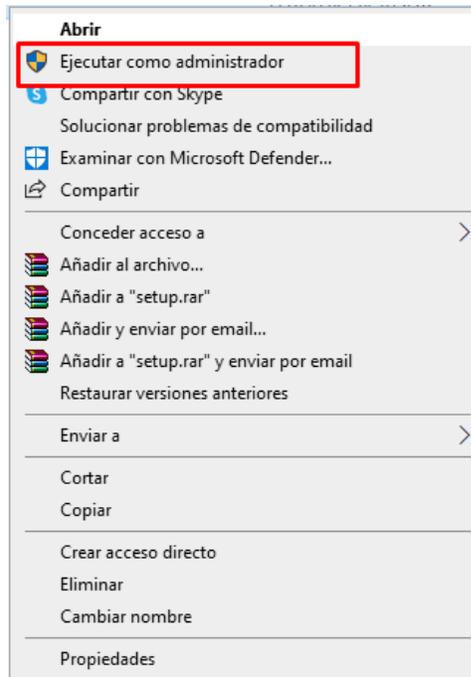


Ilustración 6-6 - Continuación, ejecutador de instalación

Se aceptarán todos los permisos que necesite el software cuando se esté instalando dando en “aceptar”, de esta forma se instalara StrucG en su ordenador.

Una vez finalizada la instalación de StrucG, la carpeta Win.rar también contará con una carpeta llamada “referencias”, donde se encontrarán códigos de diseño el cuál fueron utilizadas para la creación del software, así también el manual de usuario para el correcto manejo del programa.

La carpeta “referencias” deberá ser colocada en el siguiente porceso; “Disco local → Archivos de programa → Usuario → StrucG”, así el ítem de “refrencias” y “ayuda” se podrá visualizar las normativas y el manual de usuario.

## 6.2. Interfaz Principal

Al iniciar el software StrucG podemos observar en la parte superior izquierda la barra de menú correspondiente a la opción principal “reforzamiento” y el acceso a “referencias” y “ayuda”. En la parte izquierda aparece una breve descripción de la función del programa y en la derecha el logotipo del mismo.

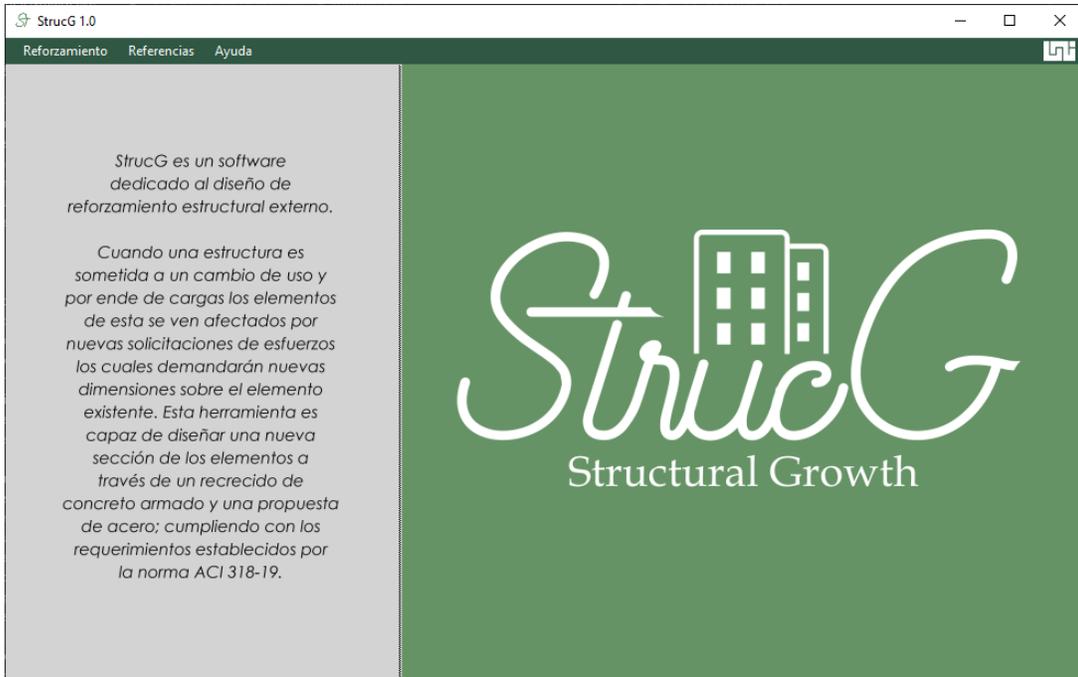


Ilustración 6-7- Interfaz principal de StrucG

### 6.3. Menú reforzamiento

En este menú, se podrá acceder a la función principal de “reforzamiento” el cual mostrará dos opciones de diseño: convencional y sísmico.

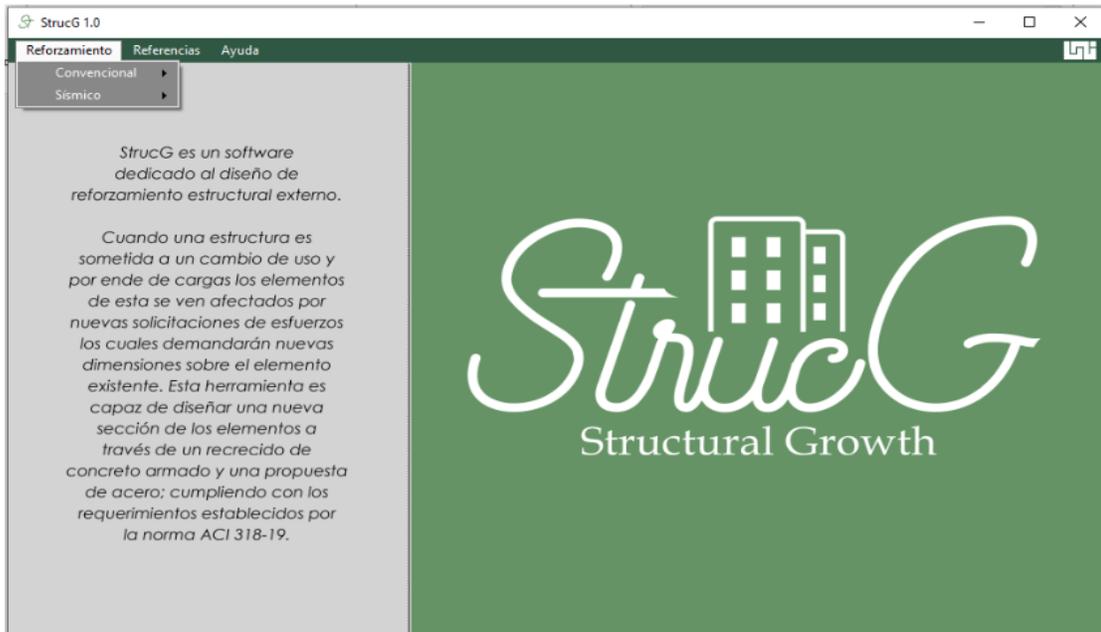


Ilustración 6-8 - Menú de opción para el reforzamiento

#### 6.4. Menú reforzamiento convencional - vigas

Al seleccionar esta opción, se tendrá la oportunidad de elegir el elemento y su tipo, el cual se diseñará el reforzamiento por el método convencional. Los elementos que aparecen son: vigas, columnas y losas unidireccionales.



Ilustración 6-9 - Menú del reforzamiento convencional

En esta opción se despliegan tres tipos de viga: simplemente reforzada, doblemente reforzada y viga "T".



Ilustración 6-10 - Menú del reforzamiento para vigas

➤ Entrada de datos viga simplemente reforzada

Al dar click sobre este ítem “viga simplemente reforzada”, el programa proporciona cuadros de textos en la parte izquierda del interfaz donde se podrá ingresar datos pertenecientes a las propiedades del elemento existente a diseñar. En la parte inferior izquierda se presenta una pequeña ilustración que especifica las propiedades geométricas más importantes acompañada de un botón con la opción de realizar el diseño (estas representaciones aparecerán cuando se dé click a opciones de elementos).



Ilustración 6-11 - Entrada de datos para viga S.R

Aparecerá la opción “caso de estudio”.



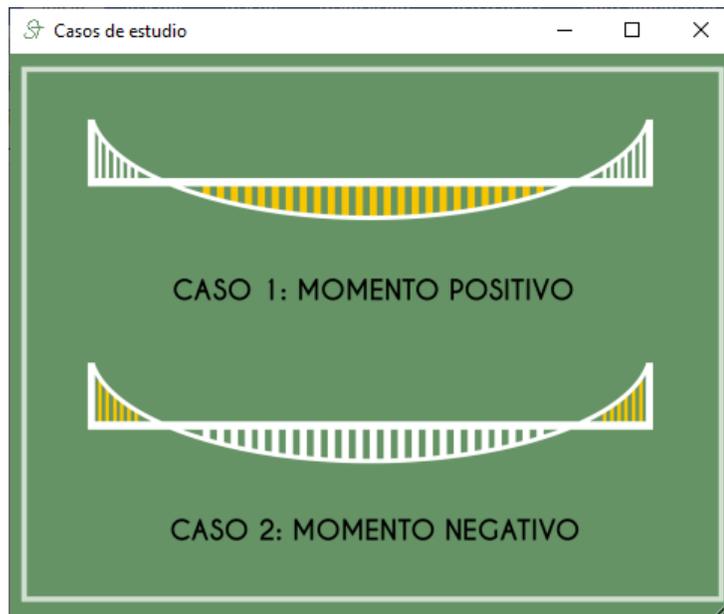
Ilustración 6-12 - Casos de estudio, viga convencional

Al dar click sobre este botón:



*Ilustración 6-13 - Botón de ayuda, casos de estudio, viga convencional*

Se mostrará una ventana emergente en donde se especifica a través de una ilustración la interpretación del caso de estudio; en este caso haciendo referencia al sentido de los momentos. El cual se colocara el valor de 1 para momento positivo y valor de 2 para momento negativo.



*Ilustración 6-14 - Continuación, casos de estudio, viga convencional*

De igual manera se encuentra el botón "Secuencia de cálculos" el cual este brindará una breve información de la secuencia de cálculos que realiza el software, así mismo, se encuentra en todos los elementos a recrear que presenta StrucG.



*Ilustración 6-15 - Botón secuencia de cálculos*

Al darle click, aparecerá la siguiente ventana

Secuencia de cálculos

$$A_{vmin} = 0.75 * \sqrt{f'c} * \left(\frac{bw * S}{fy}\right), 50 \left(\frac{bw * S}{fy}\right)$$

$$A_v = A_{vpropuesto} + A_{vexistente} \quad A_v \geq A_{vmin}$$

$$a. \phi V_c = \phi * \left(2 * \lambda * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g}\right) * bw * d$$

$$b. \phi V_c = \phi * \left(8 * \lambda * (\rho w)^{\frac{1}{2}} * \sqrt{f'c} + \frac{N_u}{6 A_g}\right) * bw * d$$

**El mayor entre a y b no debe exceder:**

$$\phi V_c = \phi * 5 * \lambda * \sqrt{f'c} * bw * d$$

$$V_s = \frac{V_u - \phi V_c}{\phi} \quad S_1 = \frac{A_v * fy * d}{V_s} \quad S_2 = \frac{d}{2}$$

$$V_s = \frac{A_v * fy * d}{S}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$A_s = \left(\frac{\#Barra\ comercial}{2}\right)^2 * \pi * cantidad\ de\ barras$$

$$d = h - Recubrimiento$$

$$a = \frac{A_s * fy}{0.85 * f'c * bw}$$

$$\phi M_n = \phi \left( A_s * fy * \left(d - \frac{a}{2}\right) \right)$$

Aumentan las dimensiones, se propone un porcentaje extra de acero y se evalúan las ecuaciones hasta que cumpla las nuevas solicitaciones.

Se propone estribos #3 y se modifica la separación de tal modo que cumpla la resistencia con las nuevas solicitaciones.

Ilustración 6-16 - Secuencia de cálculos

Seguidamente se encontraran los parámetros (Base, peralte, recubrimiento, grado de acero, y fuerza de compresión del concreto, cantidad de barras y diámetro) dichos parámetros los debe ingresar el usuario basándose en la sección existente al cual se le aplicara el método recalcado de hormigón.

- Valor a elegir para número de refuerzo transversal

El usuario deberá saber la cantidad de ramas que presenta el elemento, por lo tanto:

- ✓ Dos ramas: Si la viga presenta una distribución existente de dos ramas, colocará el valor del número del estribo existente.
- ✓ Cuatro ramas: Si la viga presenta una distribución existente de cuatro ramas, se debe colocar el doble del número del estribo existente.

- Valor a elegir para fuerza de compresión del concreto ( $f'c$ )

Se recomienda al usuario realizar el procedimiento “Extracción de núcleo de concreto”, el cual está bajo la norma ASTM C42/C42M-20 y ASTM C39M-21 “Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas”, el cual en estos ensayos se encuentra las recomendaciones para determinar el escaneo del concreto, perforación y obtención del material para posteriormente llevarse al laboratorio para determinar su  $f'c$  existente.

Se recomienda esta opción para saber el valor de  $f'c$  del concreto, el cual a través de los años de haberse ejecutado la obra puede variar, de esta manera se sabrá que dato introducir en el software StrucG.

- Obtención del valor esfuerzos para ingresarlo en “Momento, Cortante y Carga Axial”

Se recomienda utilizar SAP 2,000 para determinar dichos valores, en donde el usuario debe de modelar la edificación en el software antes mencionado para determinar sus momentos y cortantes a través del incremento de cargas, de esta forma sabrá que valores utilizar en StrucG.

- Salida de datos viga simplemente reforzada

Una vez ingresado los datos que el programa solicita y luego de dar click al botón “diseñar recrecido”, se generará una serie de información sobre el elemento reforzado en la parte derecha. Se generará un panel con dos pestañas en donde contendrá detalles constructivos y datos específicos, se mostrará una ilustración hipotética correspondiente al detalle del reforzamiento, un gráfico iterativo y una serie de pautas a tomar en cuenta en el diseño.

Donde la cantidad de barras será colocada en zona de tensión de la viga, el apartado “diámetro” es el nuevo refuerzo longitudinal que se colocará en la sección, finalizando con “recrecido” este se refiere a “h” donde el peralte del elemento aumenta, como también “a cada lado” es el incremento a “bw”.

Se tendrá el diámetro del refuerzo transversal a colocar en la viga, así también su separación establecido por el código ACI 318-19.

The screenshot displays the StrucG 1.0 software interface for reinforcement design. On the left, a panel lists input parameters for a beam design:

- Caso de estudio: 1
- Base: 15 in
- Peralte: 20 in
- Recubrimiento: 2.5 in
- Grado de acero: 60 ksi
- F'c del concreto: 4000 psi
- Número de varilla en tensión: 6
- Cantidad de barras en tensión: 4
- Momento último actuante: 2000000 lb.in
- Cortante último actuante: 50000 lb
- Número de refuerzo transversal: 3

The main area shows a 'Detalles constructivos' tab with the following text:

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
 Se necesitan 2 barras  
 Diámetro #3  
 Recreido inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
 Estribos #3 a cada 9 in en una zona crítica de 19 in y a cada 9 in en el resto del claro.

Below this text is a graph showing the required reinforcement ratio  $\rho$  versus the effective depth ratio  $l/d$ . The graph has three regions: 'Controlado por compresión' (0 to 0.65), 'Transición' (0.65 to 0.75), and 'Controlado por tracción' (0.75 to 0.90). The transition point is marked at  $EI = Ely$  and  $EI = Ely + 0.003$ .

The central part of the interface features a 'REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS' (Graphical Representation of Reinforcement in Simply Reinforced Beams). It shows a cross-section of a beam with existing reinforcement (labeled 'recreido') and new reinforcement (labeled 'acero nuevo'). The new reinforcement includes a 'nuevo peralte' (new effective depth) and 'recreido' (re-entrant) bars. A 'SECUENCIA DE CÁLCULOS' (Calculation Sequence) is indicated below the diagram.

On the right side, there are instructions for the 'ELEMENTO RECRECIDO' (Re-entrant Element):

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Ilustración 6-17 - Salida de datos para viga S.R

➤ Entrada de datos viga doblemente reforzada

Al igual que el ítem de simplemente reforzada en la sección 6.4.1 del presente capítulo, el programa solicita datos correspondientes al elemento existente con algunas variaciones de propiedades, así mismo se encuentra la misma opción “caso de estudio”, donde se hace referencia al sentido de los momentos.



Ilustración 6-18 - Entrada de datos para vigas D.R

Se encontrarán los parámetros (Base, peralte, recubrimiento, grado de acero, y fuerza de compresión del concreto, cantidad de barras y diámetro tracción y compresión) dichos parámetros los debe ingresar él usuario basándose en la sección existente al cual se le aplicara el método recrecido de hormigón.

Así mismo, como se explica en la sección 6.2.2 del presente capítulo, se hace la sugerencia de realizar el procedimiento “Extracción de núcleo de concreto”, “Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas”, para obtener el valor de la fuerza de compresión existente en la edificación como también utilizar SAP 2,000 para determinar sus nuevos momentos y cortantes a través del incremento de cargas, de esta forma sabrá que valores utilizar en StrucG.

➤ Salida de datos viga doblemente reforzada

Al presionar el botón de “diseñar recrecido” se genera todos los datos e información necesaria para el reforzamiento.

The screenshot displays the StrucG 1.0 software interface for reinforcement design. On the left, a list of input parameters is shown:

- Caso de estudio: 1
- Base: 15 in
- Peralte: 20 in
- Recubrimiento: 2.5 in
- Grado de acero: 60 ksi
- F'c del concreto: 4000 psi
- Número de varilla en tensión: 6
- Cantidad de barras en tensión: 3
- Número de varilla en compresión: 4
- Cantidad de barras en compresión: 3
- Momento último actuante: 2000000 lb.in
- Cortante último actuante: 50000 lb
- Número de refuerzo transversal: 3

Below these inputs is a small diagram of a beam cross-section with labels for 'recubrimiento', 'base', and 'peralte'. A 'Diseñar recrecido' button is located at the bottom right of this section.

The main area of the software is divided into two tabs: 'Detalles constructivos' and 'Datos específicos'. The 'Datos específicos' tab is active, showing the following text:

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
 Se necesitan 7 barras  
 Diámetro #3  
 Recreido inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
 Estribos #3 a cada 9 in en una zona crítica de 19 in y a cada 9 in en el resto del claro.

To the right of this text is a graph showing the relationship between  $EI$  and  $EI + 0.003$  for different regions: 'Controlado por compresión', 'Transición', and 'Controlado por tracción'. The y-axis ranges from 0.45 to 0.90.

Below the graph is a 'REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS'. This diagram shows a cross-section of a beam with a 'recrecido' (repair) area. The repair area is labeled 'nuevo peralte' and 'acero nuevo'. The original beam is labeled 'recrecido'.

On the right side of the main area, there are instructions for the repair process:

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

At the bottom of the main area, the text 'SECUENCIA DE CÁLCULOS' is visible.

Ilustración 6-19 - Salida de datos para viga D.R

➤ Entrada de datos viga T

Seleccionando esta opción se tendrá nuevamente los espacios para ingresar las propiedades del elemento que desea reforzar. El cual en la sección 6.2.1, hasta la sección 6.2.4 se explica detalladamente paso a paso para la determinación de entrada de datos.



Ilustración 6-20 - Entrada de datos para vigas T

➤ Salida de datos viga T

Posterior a presionar el botón de “diseñar recrecido” se mostrarán todos los detalles correspondientes al reforzamiento. El cual se explican en la sección 6.4.1 y 6.4.2 de presente capítulo.

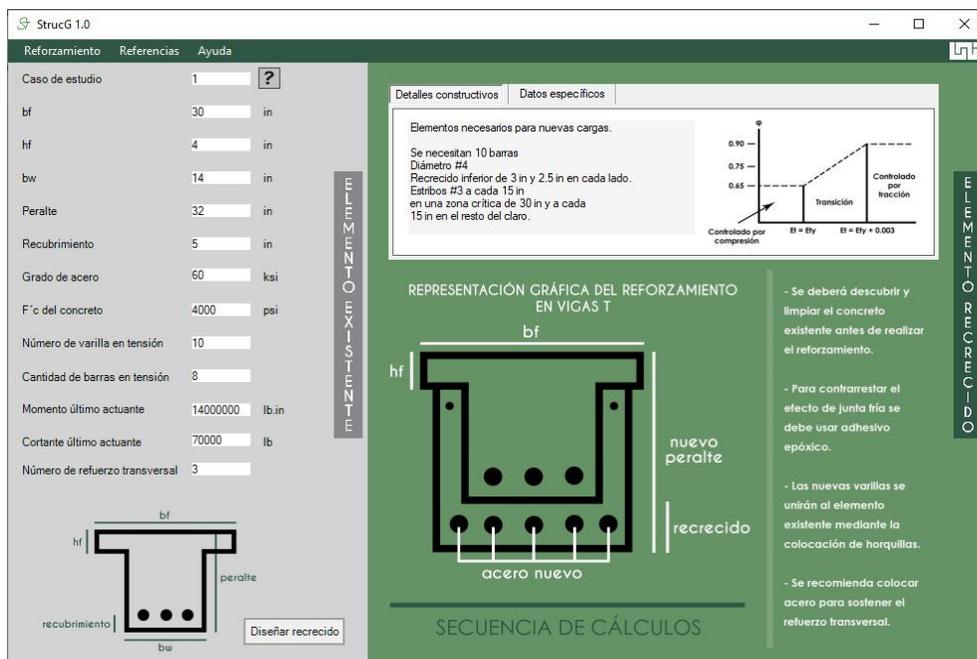


Ilustración 6-21 - Salida de datos para vigas T

## 6.5. Menú reforzamiento convencional - columnas

En la opción de columnas se desplegarán cuatro tipos de elementos sometidos a cargas axiales. El procedimiento realizado en la opción de vigas se repite en este ítem.



Ilustración 6-22 - Menú de reforzamiento para columnas

### ➤ Entrada de datos columna a compresión

Al igual que la sección de vigas, el programa solicita datos correspondientes al elemento existente con algunas variaciones de propiedades.

En todos los tipos de columnas que el programa diseña se encuentra un botón de ayuda en la parte derecha del cuadro de texto “caso de estudio” y otro en el cuadro de texto “comportamiento de la curva”.



Ilustración 6-23 - Caso de estudio columna convencional

Al dar click sobre este botón:



Ilustración 6-24 - Botón de ayuda caso de estudio columna convencional

Se mostrará una ventana emergente en donde se especifica a través de una ilustración la interpretación del caso de estudio; en este caso haciendo referencia a la distribución del acero en las caras de la columna. En donde se ingresará el valor 1 para el “caso 1”, valor 2 para el “caso 2”, y así sucesivamente al elegir la sección a recrecer.

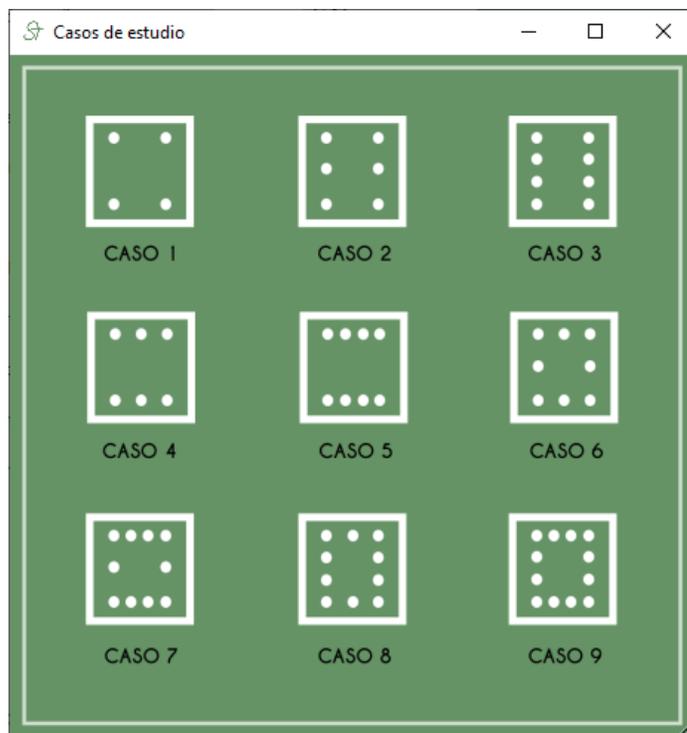


Ilustración 6-25 - Continuación casos de estudio columna convencional

Visualizando la entrada de datos “Comportamiento de la curva”:

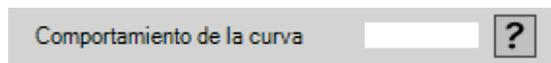


Ilustración 6-26 - Comportamiento de la curva columna convencional

Al dar click sobre este botón:



Ilustración 6-27 - Botón de ayuda, comportamiento de la curva columna convencional

Se mostrará otra ventana emergente en donde se explica a través de una ilustración el comportamiento de la curva en una columna. En donde el valor a elegir, se recomienda utilizar SAP 2,000 para determinar dichos parámetros, en donde el usuario debe de modelar la edificación en el software antes mencionado para así saber el comporta la columna.

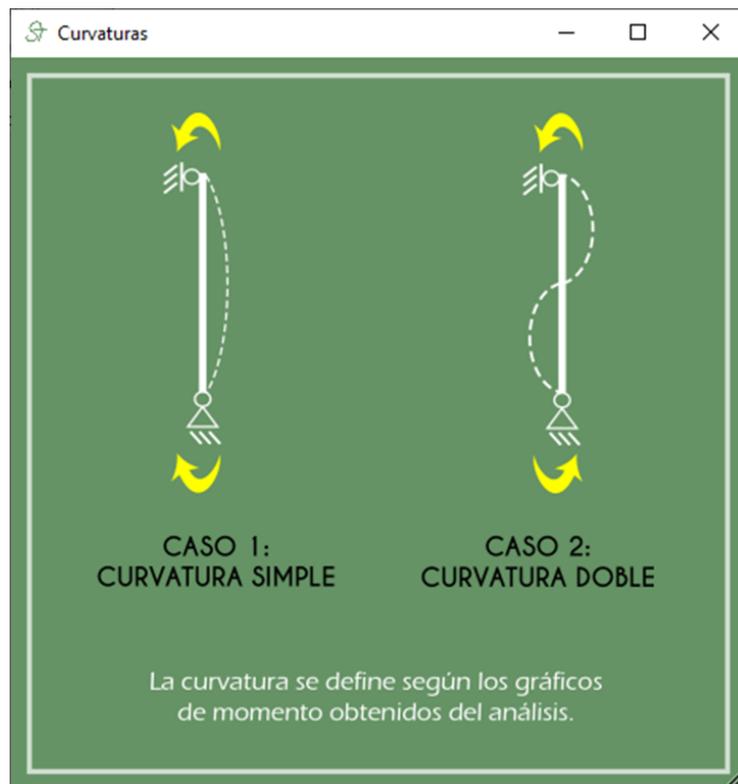


Ilustración 6-28 - Continuación, comportamiento de la curva columna, convencional

“Sentido de la carga axial”:

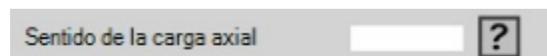


Ilustración 6-29 - Sentido de la carga axial, columna convencional

Al dar click sobre este botón:



Ilustración 6-30 - Sentido de la carga axial, columna convencional

Así mismo se mostrará otra ventana emergente en donde se explica a través de una ilustración el comportamiento de la carga axial si está a compresión o tracción. En donde el valor a elegir, se recomienda utilizar SAP 2,000 para determinar dichos parámetros, en donde el usuario debe de modelar la edificación en el software antes mencionado para así saber el comporta la columna.



Ilustración 6-31 - Continuación, Sentido de la carga axial, columna convencional



Ilustración 6-32 - Entrada de datos para columna a compresión

Así mismo, como se explica en la sección 6.4.1 y 6.4.2 del presente capítulo, se hace la sugerencia de realizar el procedimiento “Extracción de núcleo de concreto” y “Determinación de la resistencia a la compresión de probetas cilíndricas”, para obtener el valor de la fuerza de compresión existente en la edificación como también utilizar SAP 2,000 para determinar sus nueva carga axial a través del incremento de cargas, de esta forma sabrá que valores utilizar en StrucG.

➤ Salida de datos columna a compresión

La información generada luego de dar click al botón de “diseñar recrecido”, se obtiene pautas de la realización del método y una representación hipotética del elemento aplicándole el método, donde el “recrecido” representa el incremento de sección por lado de la columna, por lo tanto el nuevo dimensionamiento será de 22 in de base y 22 in de alto tomando en consideración los resultados de “Ilustración 6 31 - Salida de datos para columnas a compresión”

De igual manera, se encontrará el “Diámetro” el cual será el número del refuerzo transversal que se colocará a la nueva sección, finalizando con su separación determinada por el código ACI 318-19.

The screenshot displays the StrucG 1.0 software interface. On the left, a list of input parameters is shown:

- Caso de estudio: 2
- Base: 16 in
- Peralte: 16 in
- Recubrimiento: 2.5 in
- Grado de acero: 60 ksi
- F'c del concreto: 4000 psi
- Número de varilla: 6
- Carga axial actuante: 1250000 lb
- Sentido de la carga axial: 2
- Número de refuerzo transversal: 3
- Cortante último actuante: 50000 lb

In the center, a diagram titled "REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNAS" shows a square column cross-section with a central "nueva base" (new base) and an outer "nuevo peralte" (new height). The diagram includes labels for "recrecido" (retained concrete), "acero nuevo" (new steel), and "peralte" (height). A "Diseñar recrecido" button is located below the diagram.

On the right, a graph titled "Elementos necesarios para nuevas cargas" shows a load-moment interaction curve. The y-axis represents load (0.65, 0.75, 0.90) and the x-axis represents moment (EI = Ety, EI = Ety + 0.003). The graph is divided into regions: "Controlado por compresión", "Transición", and "Controlado por tracción".

Below the graph, a list of instructions is provided:

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Ilustración 6-33 - Salida de datos para columnas a compresión

➤ Entrada de datos columna flexo compresión corta

Ingresar valores y pautas explicadas en la sección 6.5.1, el cual hace mención de la secuencia de sugerencias el cual utiliza StrucG.



Ilustración 6-34 - Entrada de datos para columna flexo compresión corta

➤ Salida de datos columna flexo compresión corta

La obtención de resultados se determinará a través de dar click en el botón “diseñar recrecido”, el cual se explica en la sección 6.5.2.

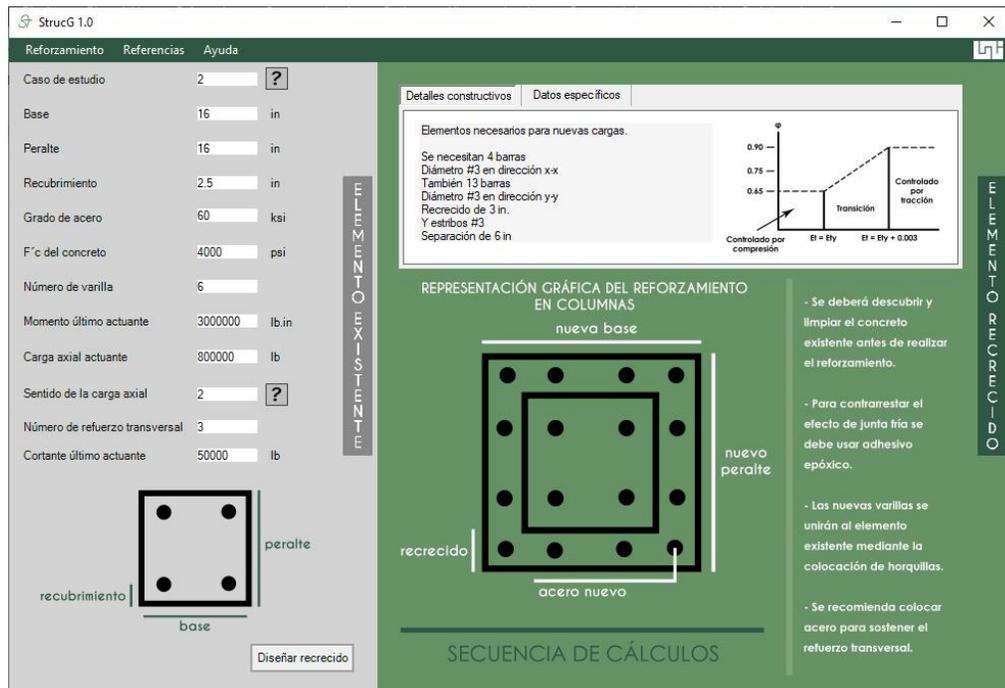


Ilustración 6-35 - Salida de datos columna flexo compresión corta

- Entrada de datos columna flexo compresión esbelta

La entrada de datos se basa a través de la sección 6.5.1, se sugiere seguir estas pautas para el correcto funcionamiento del software.



Ilustración 6-36 - Entrada de datos para columna flexo compresión esbelta

- Salida de datos columna flexo compresión esbelta

Resultado generado a través de dar click en "diseñar recrecido", la interpretación de resultados la podemos obtener en la sección 6.5.2 del presente capítulo.

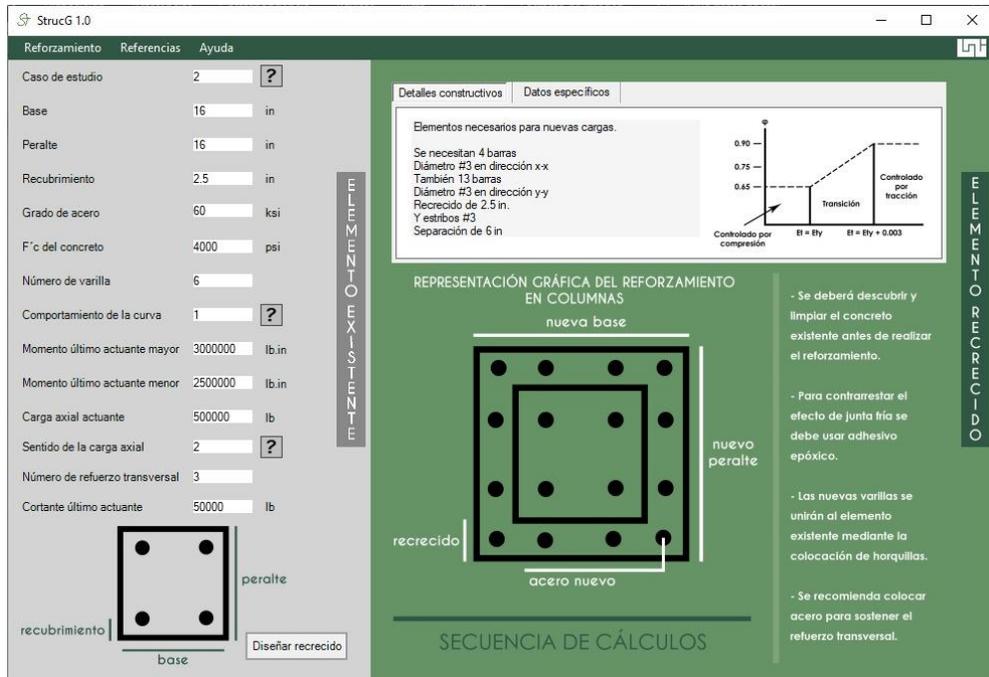


Ilustración 6-37 - Salida de datos para columna flexo compresión esbelta

➤ Entrada de datos columna flexo compresión biaxial

La entrada de datos se hará de la misma forma que toda la sección de columnas que se ha venido abordando a partir de 6.5.1.



Ilustración 6-38 - Entrada de datos para columna flexo compresión biaxial

➤ Salida de datos columna flexo compresión biaxial

La entrada de datos se hará de la misma forma que toda la sección de columnas que se ha venido abordando a partir de 6.5.2.

The screenshot shows the StrucG 1.0 software interface. On the left, there is a 'Reforzamiento' (Reinforcement) panel with various input fields for design parameters. The main area is divided into 'Detalles constructivos' (Construction details) and 'Datos específicos' (Specific data). The 'Datos específicos' section includes a list of required reinforcement elements and a stress-strain graph. The graph shows a yield point at  $EI = Ely$  and a peak at  $EI = Ely + 0.003$ , with regions labeled 'Controlado por compresión' (Compression controlled) and 'Controlado por tracción' (Tension controlled). Below the graph is a 'REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNAS' (Graphical representation of reinforcement in columns) showing a square column cross-section with a central 'nueva base' (new base) and an outer 'nuevo peralte' (new height) section. The diagram labels 'recricido' (existing) and 'acero nuevo' (new steel). To the right of the diagram is a list of instructions for the construction process. At the bottom, it says 'SECUENCIA DE CÁLCULOS' (Calculation sequence).

**Reforzamiento**

Caso de estudio	2	?
Base	16	in
Peralte	16	in
Recubrimiento	2.5	in
Grado de acero	60	ksi
F'c del concreto	4000	psi
Número de varilla	6	
Momento último actuante en X	3000000	lb.in
Momento último actuante en Y	2500000	lb.in
Carga axial actuante	800000	lb
Sentido de la carga axial	2	?
Número de refuerzo transversal	3	
Cortante último actuante	50000	lb

**Detalles constructivos**

Elementos necesarios para nuevas cargas.

- Se necesitan 3 barras
- Diámetro #8 en dirección x-x
- También 3 barras
- Diámetro #8 en dirección y-y
- Recricido de 3 in.
- Y estribos #3
- Separación de 16 in

**Controlado por compresión**  $EI = Ely$  **Transición**  $EI = Ely + 0.003$  **Controlado por tracción**

**REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNAS**

nueva base

nuevo peralte

recricido

acero nuevo

**SECUENCIA DE CÁLCULOS**

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.
- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.
- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.
- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Ilustración 6-39 - Salida de datos para columna flexo compresión biaxial

## 6.6. Menú reforzamiento convencional – losa unidireccional

El diseño en losas unidireccionales está basado en el procedimiento realizado en vigas simplemente reforzadas.

➤ Entrada de datos losa unidireccional

La entrada de datos, botón de ayuda, valores de nuevos momentos y  $f'c$ , está en de la sección 6.4.1. y 6.4.2.



Ilustración 6-40 - Entrada de datos para reforzamiento en losa

➤ Salida de datos losa unidireccional

Una vez ingresado los datos que el programa solicita y luego de dar click al botón “diseñar recrecido”, se generará una serie de información sobre el elemento reforzado en la parte derecha. Se generará un panel con dos pestañas en donde contendrá detalles constructivos y datos específicos, se mostrará una ilustración hipotética correspondiente al detalle del reforzamiento, un gráfico iterativo y una serie de pautas a tomar en cuenta en el diseño.

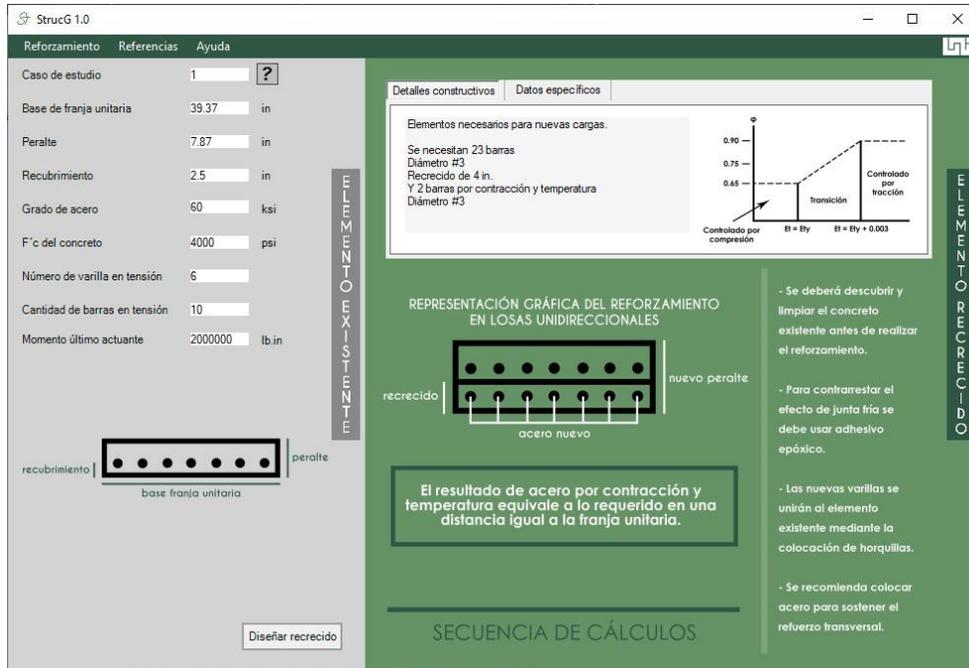


Ilustración 6-41 - Salida de datos de losa unidireccional

## 6.7. Menú reforzamiento sísmico

Al seleccionar esta opción se tendrá la oportunidad de elegir el elemento y su tipo, el cual se diseñará el reforzamiento por el método sísmico. Los elementos que aparecen son: vigas y columnas.

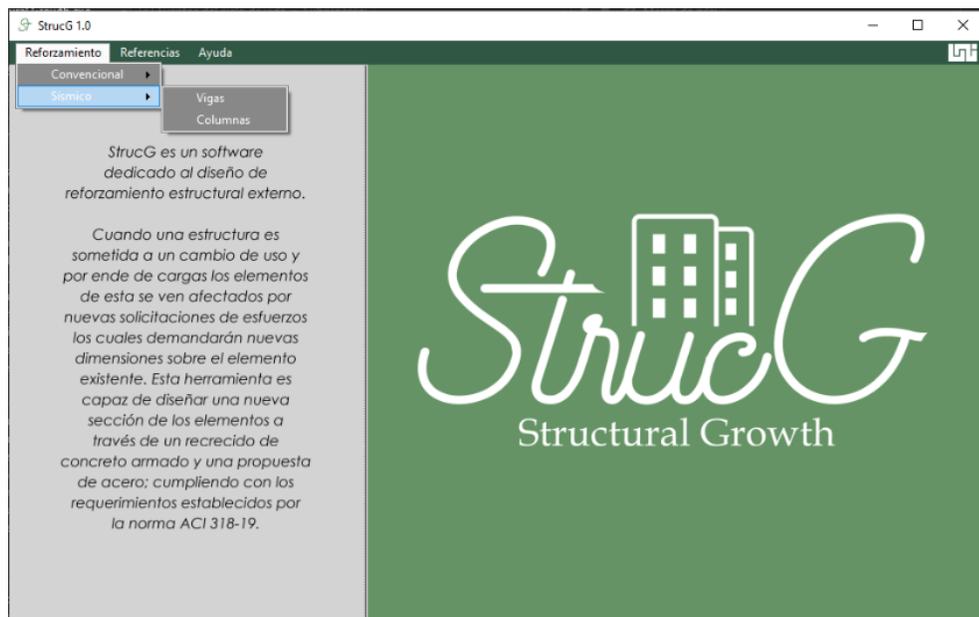


Ilustración 6-42 - Menú para el reforzamiento sísmico

➤ Entrada de datos viga

De la misma manera que en las opciones anteriores el programa genera una serie de espacios donde se deben ingresar los valores solicitados que corresponden a las propiedades del elemento y resultados previos del análisis. El cual datos de ingreso para nuevos momentos,  $f'c$ , son abordados en la sección 6.4.1.



Ilustración 6-43 - Entrada de datos para el reforzamiento sísmico en viga

➤ Salida de datos viga

Presionando el botón de “Diseñar recrecido” se presentará una lista de datos correspondientes al resultado y algunas ilustraciones que ofrecen una base sobre los detalles del reforzamiento. Se sigue la misma secuencia lógica explicativa de la sección 6.4.2.

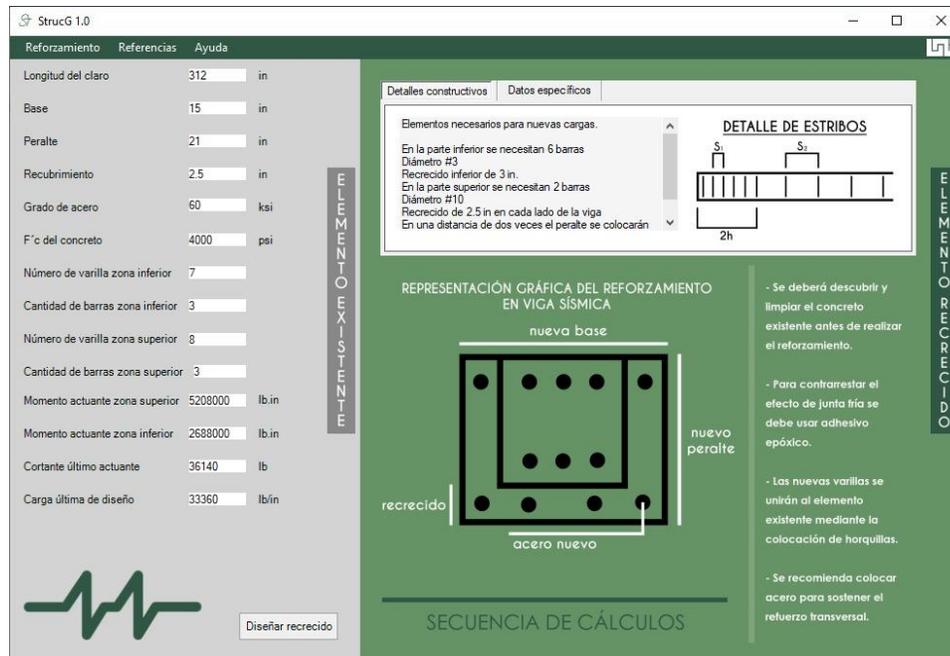


Ilustración 6-44 - Salida de datos para el reforzamiento sísmico en vigas

➤ Entrada de datos columna

Así mismo, como se aborda en la sección 6.5.1 del presente capítulo, en donde se hace recomendaciones de obtener  $f'c$ , momentos, para ingresarlos en la entrada de datos de StrucG, se seguirá en el presente menú.

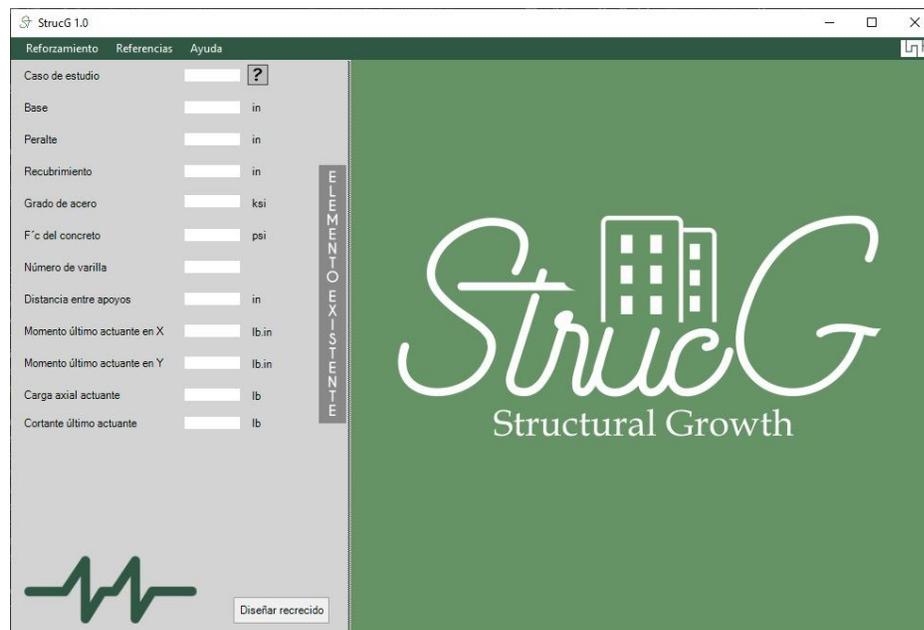


Ilustración 6-45 - Entrada de datos para el reforzamiento sísmico en columna

➤ Salida de datos columna

Resultados generados a través de dar click en el botón “diseñar recrecido”.

The screenshot displays the StrucG 1.0 software interface. On the left, a list of parameters is shown with their values: Caso de estudio (1), Base (16 in), Peralte (16 in), Recubrimiento (2.5 in), Grado de acero (60 ksi), F'c del concreto (4000 psi), Número de varilla (7), Distancia entre apoyos (120 in), Momento último actuante en X (3000000 lb.in), Momento último actuante en Y (2500000 lb.in), Carga axial actuante (800000 lb), and Cortante último actuante (50000 lb). A 'Diseñar recrecido' button is at the bottom left. The main area is titled 'ELEMENTO RECRECIDO' and contains a 'DETALLE DE ESTRIBOS' diagram showing a vertical column section with stirrups labeled S1 and S2. Below this is a 'REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNA SÍSMICA' diagram showing a square cross-section with 'nueva base' (new base), 'nuevo peralte' (new overhang), and 'acero nuevo' (new steel) labels. A 'recrecido' label points to the inner square. The 'SECUENCIA DE CÁLCULOS' section includes instructions: '- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.', '- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.', '- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.', and '- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.'

Ilustración 6-46 - Salida de datos para el reforzamiento sísmico en columna

## 6.8. Referencias

Al desplegar esta pestaña del menú podemos tener acceso a dos opciones correspondientes a referencias bibliográficas: normas y libros.

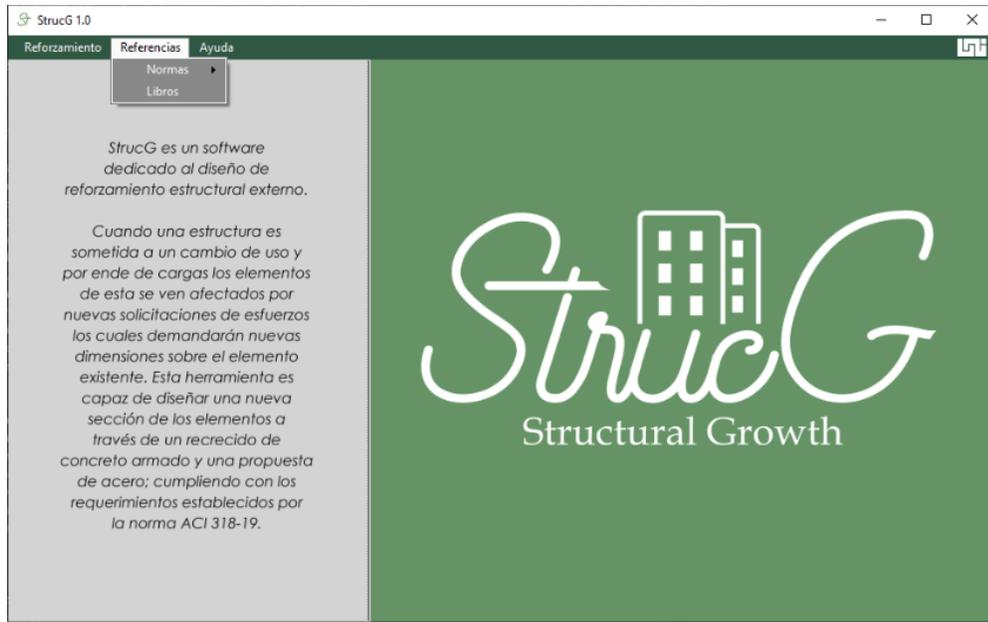


Ilustración 6-47 - Opción para visualización de referencias

## 6.9. Normas

En esta opción se puede acceder al archivo pdf de las normas.

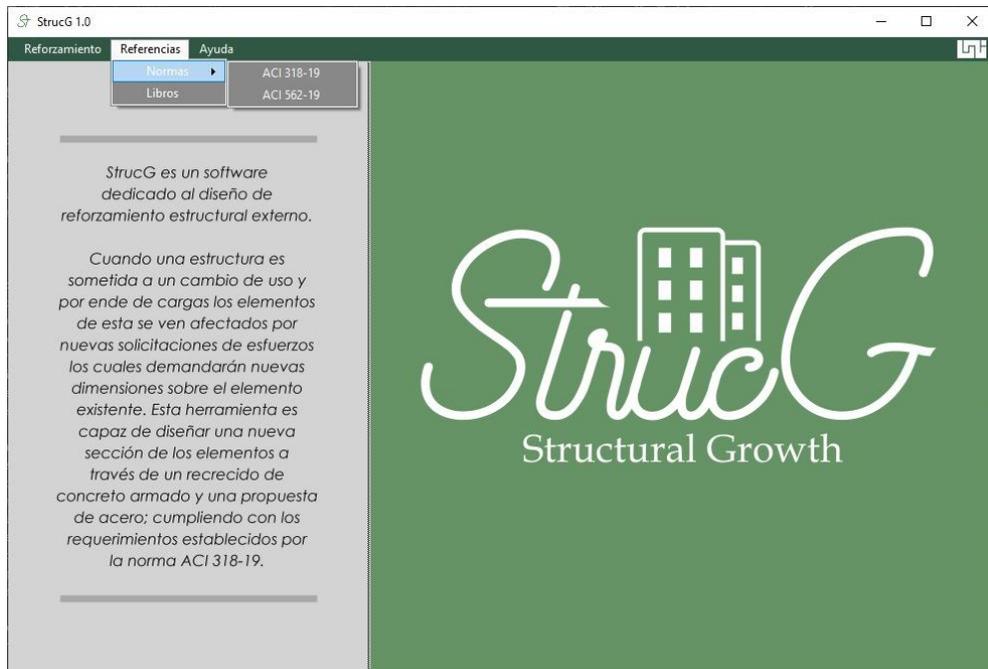


Ilustración 6-48 - Normativas de diseño

## 6.10. Libros

Al seleccionar esta opción se abrirá una ventana emergente en donde tendremos una serie de libros los cuales podemos abrir.

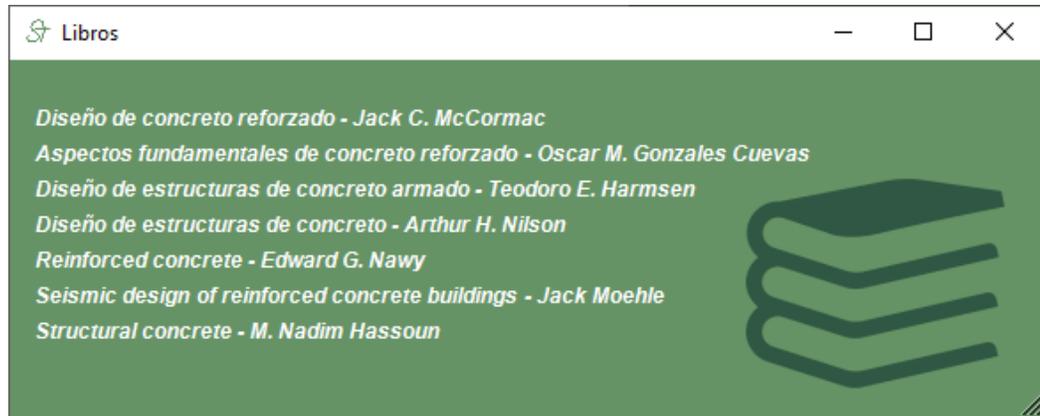


Ilustración 6-49 - Libros del diseño de concreto armado

## 6.11. Ayuda

En esta pestaña desplegable tendremos acceso al manual de usuario del programa.

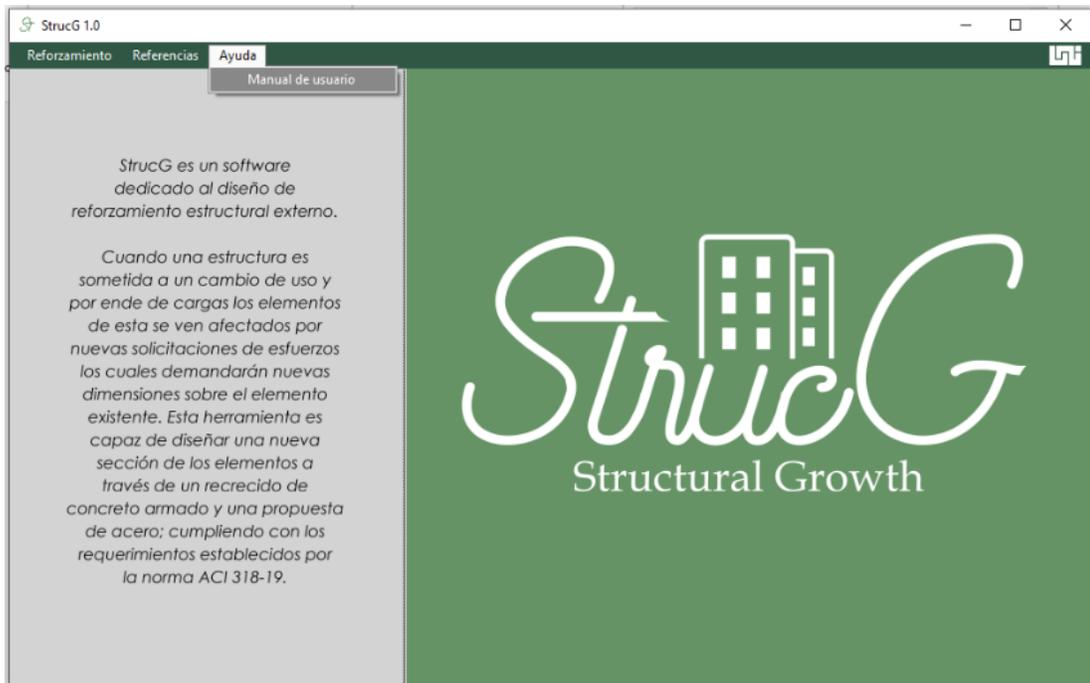


Ilustración 6-50 - Ayuda para el usuario

**CAPITULO VII: *CONCLUSIONES Y  
RECOMENDACIONES***

## 7.1. Conclusiones

Durante el desarrollo de cada capítulo y posteriormente evaluando cada uno de los objetivos planteados, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- A través de la recopilación y descripción de los fundamentos teóricos y requerimientos constructivos del método recrecido de hormigón en el reforzamiento estructural en vigas, columnas y losas en una dirección se adquirieron los conocimientos necesarios para entender y realizar casos de estudio y ejemplos manuales respectivamente. Se comprendió paso a paso las exigencias y pautas de los códigos de diseño cuando se aplica el recrecido a elementos que necesiten un refuerzo, siendo así, la objetividad principal del método rediseñar la sección del mismo para la nueva funcionalidad o rehabilitación que necesite la edificación.
- La ejemplificación manual del método aplicado a vigas, columnas y losas unidireccionales, sometidos a diseño convencional y sísmico, permitió conocer la correcta distribución de refuerzo aumentando porcentajes de acero a criterio, el cual fue colocado tanto en flexión como a cortante. Así mismo, obtener el diseño de la sección a través del incremento de sus dimensiones donde se realizan iteraciones usando ecuaciones para obtener la resistencia que necesita el elemento.
- En el desarrollo de diferentes pseudocódigos utilizando el lenguaje de programación C++, se determinó la complejidad comparando con otros lenguajes como Visual Basic, Java y C#; esto como consecuencia por la sintaxis y librerías, no obstante, se logra dominar la programación para la codificación de diferentes algoritmos, y asimismo la interfaz de StrucG, donde cuenta con diferentes alternativas de refuerzo:

- ✓ Reforzamiento con diseño convencional: Esta opción cuenta con la capacidad de realizar el recrecido brindando la cantidad de acero tanto longitudinal como transversal que se le debe distribuir a vigas con sección rectangular y vigas T. Así mismo, columnas con sección rectangular soportando solicitaciones a compresión, flexo compresión uniaxial y flexo compresión biaxial. Finalizando con la alternativa de diseño del reforzamiento de losa unidireccional.
  
- ✓ Reforzamiento con diseño sísmico: Esta alternativa de reforzamiento que presenta el software puede aplicarse a vigas con sección rectangular y así mismo a columnas con comportamiento a flexo compresión biaxial en donde como se realiza el diseño sísmico. También en esta opción se brinda la cantidad de acero longitudinal y transversal que se le debe distribuir de forma longitudinal y transversal.
  
- Con la validación se conoció la veracidad y efectividad del software a través de la ejecución de diferentes casos de recrecido en vigas, columnas y losas unidireccionales. Se comparan resultados entre el software programado y SAP2000; para modelar la nueva sección se utilizó la herramienta disponible en SAP2000 llamada "Section Designer", donde se obtuvo lo siguiente:
  - ✓ Diseño convencional: Realizando diferentes ejemplos de vigas, columnas y losa unidireccional, la diferencia de resultados entre StrucG y SAP 2000, son menores al uno por ciento de diferencia.
  
  - ✓ Diseño sísmico: Realizando diferentes ejemplificaciones de vigas y columnas en StrucG y luego comparando estos cálculos con SAP 2000, los resultados obtenidos de estos son menores al uno por ciento de diferencia.

De esta manera utilizando SAP2000 y comparando los resultados con StrucG, se logra concluir que los datos del Software programado tienen veracidad dado que la diferencia entre estos es menor al uno por ciento, obteniendo así la validación del programa.

- El manual de usuario aborda la instalación y manejo del software, brindando la secuencia en la utilización y también la obtención de datos que necesita StrucG para ejecutar un diseño de recrecido, donde se recomienda utilizar la herramienta SAP2000 para la obtención de dichos valores, asimismo los aspectos técnicos que debe tener el ordenador para la correcta funcionalidad en el sistema operativo.

## **7.2. Recomendaciones**

Una vez finalizada la monografía se determina las siguientes recomendaciones:

- Desarrollar un software para el reforzamiento estructural con fibra de carbono “FRP” a elementos estructurales el cual se les pueda implementar este método, donde aborde pautas constructivas para el correcto desempeño al incremento de nuevas solicitaciones, cambio de normativa o así mismo para rehabilitaciones.
- Retomar el método recrecido de hormigón e implementarlo para la creación de nuevos softwares, enfocados en el reforzamiento de losa bidireccional, uniones, zapatas y muros, esto hará mucho más completo y contundente la aplicación del recrecido en elementos estructurales.

## **CAPITULO VIII: *BIBLIOGRAFÍA***

- A. Torres, A. R.-C.-S.-D. (2016). Comportamiento mecánico de juntas frías lisas de concreto. *Revista Ingeniería de Construcción*, 31(3), 161.
- ACI Committee 318. (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)*. Texas: American Concrete Institute.
- ACI Committee 562. (2013). *Code Requirements for Evaluation, Repair, and Rehabilitation of Concrete Buildings (ACI 562M-13) and Commentary*. Texas: American Concrete Institute.
- ACI Committee 562. (2019). *Code Requirements for Assessment, Repair, and Rehabilitation of Existing Concrete Structures (ACI 562-19) and Commentary*. Texas: American Concrete Institute.
- Ahijón, L. L. (2016). *Intervención de refuerzo a estructurales en edificios existentes*. Madrid: ETSAM.
- Aldo de Jesus Guillermo La Torre, S. S. (2019). *Evaluación y diseño de dos propuestas de reforzamiento para vigas y columnas de concreto armado en una edificación de hotel*. Lima, Peru: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Bronson, G. J. (2007). *C++ para ingenierías y ciencias*. México D.F: Cengage Learning Editores, S.A.
- Brown, J. C. (2011). *Diseño de Concreto Reforzado*. México D.F.: Alfaomega.
- Bueno, A. d. (2008). *Patología, reparación y refuerzo de estructuras de hormigón armado de edificación*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Garcia O, C. N. (2012). *Propuesta metodológica constructiva de rehabilitación estructural de edificios aporticados de concreto armado*. Valencia : Univerzidad de carabobo, Valencia.

- Garzon Guzman, L. R. (2017). *Manual de técnicas para rehabilitación y reforzamiento en columnas y vigas de hormigón armado deterioradas por agentes mecánicos*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Harmsen, T. E. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Izquierdo, J. A. (2015). *Guía Práctica de refuerzo de sistemas estructurales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Jack C. McCormac, R. H. (2018). *Diseño de concreto reforzado* (Vol. X). México: AlfaOmega.
- Julie Ayala, M. (2018). *Estudio del método de recrecido en concreto armado para el refuerzo de vigas y columnas de una edificación*. Bogotá D.C: Universidad Distrital, Francisco José de Caldas.
- Kenalieva, V. S. (2011). *Refuerzo de vigas de hormigón mediante recrecido de hormigón armado en un ático de vivienda*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- M. Nadim Hassoun, A. A.-M. (2020). *Structural Concrete* (Vol. VII). New Jersey, EE.UU: John Wiley & Sons, Inc.
- Mapei. (2019). *Manual de refuerzo estructural*. Valencia: Mapei.
- Moehle, J. (2015). *Seismic Design of Reinforced Concrete Buildings*. New York: McGraw - Hill Education.
- Morales, R. M. (s.f.). *Diseño en Concreto Armado*. ICG.
- N., G. O. (2012). *Propuesta metodológica constructiva de rehabilitación estructural de edificios apertados de concreto armado*. Departamento de Estructuras. Valencia: Universidad de Carabobo.
- Nilson, A. H. (1999). *Diseño de Estructuras de Concreto*. Santa Fe de Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- Oliag, S. T. (1995). *Curso de programación en C++*. Valencia: EUI (UPV).

- Sika Colombia. (2015). *Software de diseño Sika a®CarboDur® Basado en ACI 440.2R-8*. Bogotá: Sika Colombia.
- Sika Nicaragua. (Octubre de 2020). *Sikadur 32 gel, puente de adherencia epóxico*. Managua: Sika Nicaragua, Sociedad Anónima.
- Sika, Nic. (2020). *Sikadur 31, adhesivo epoxico* . Managua: Sika, Nicaragua.
- Soto, E. N. (2008). *Rehabilitación de estructuras de concreto*. Estado de México: Universidad Nacional Autónoma de México .
- Subcomité C09.61 ASTM. (2020). *Método de prueba estándar para obtener y probar núcleos perforados y vigas aserradas de concreto*. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos: ASTM Internacional.
- Subcomité C09.61 ASTM. (2021). *Método de prueba estándar para resistencia a la compresión de probetas cilíndricas de hormigón*. West Conshohocken, Pensilvania, Estados Unidos: ASTM Internacional.
- Tuk, E. R. (2010). *Estructuras construidas de concreto que presentan deficiencias estructurales*. Cartago: Icotec.
- Villegas, Ó. M. (2005). *Aspectos Fundamentales del Concreto Reforzado* . México D.F.: Limusa.

## **CAPITULO XIX: *ANEXOS***



## **ANEXO A**

*TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS ENTRE "StrucG" Y SAP 2000,  
APLICANDO EL MÉTODO RECRECIDO DE HORMIGÓN A VIGAS,  
COLUMNAS Y LOSAS UNIDIRECCIONAL*

# Ejemplos realizados en "StrucG" y comprobados en SAP2000

- Ejemplo 1 – Salida de satos strucG

**Reforzamiento** Referencias Ayuda

Caso de estudio 1 ?

Base 15 in

Peralte 18 in

Recubrimiento 2.5 in

Grado de acero 60 ksi

F'c del concreto 4000 psi

Número de varilla en tensión 6

Cantidad de barras en tensión 4

Momento último actuante 3100000 lb.in

Cortante último actuante 50000 lb

Número de refuerzo transversal 3

**ELEMENTO EXISTENTE**

Detalles constructivos Datos específicos

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
Se necesitan 9 barras  
Diámetro #4  
Recrecido inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
Estribos #3 a cada 8 in en una zona crítica de 17 in y a cada 8 in en el resto del claro.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS SIMPLEMENTE REFORZADAS

nuevo peralte

recrecido

acero nuevo

SECUENCIA DE CÁLCULOS

Controlado por compresión  $EI = EI_y$  Transición  $EI = EI_y + 0.003$  Controlado por tracción

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

- Ejemplo 2 – Salida de satos strucG

**Reforzamiento** Referencias Ayuda

Caso de estudio 2 ?

Base 14 in

Peralte 16 in

Recubrimiento 3 in

Grado de acero 60 ksi

F'c del concreto 4000 psi

Número de varilla en tensión 6

Cantidad de barras en tensión 4

Número de varilla en compresión 6

Cantidad de barras en compresión 3

Momento último actuante 1700000 lb.in

Cortante último actuante 50000 lb

Número de refuerzo transversal 3

**ELEMENTO EXISTENTE**

Detalles constructivos Datos específicos

Elementos necesarios para nuevas cargas:  
Recrecido inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
Estribos #3 a cada 8 in en una zona crítica de 16 in y a cada 8 in en el resto del claro.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS DOBLEMENTE REFORZADAS

nuevo peralte

recrecido

SECUENCIA DE CÁLCULOS

Controlado por compresión  $EI = EI_y$  Transición  $EI = EI_y + 0.003$  Controlado por tracción

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

- Ejemplo 3 – Salida de satos strucG

**Reforzamiento**    Referencias    Ayuda

Caso de estudio: 1

bf: 30 in  
 hf: 6 in  
 bw: 19 in  
 Peralte: 29 in  
 Recubrimiento: 3 in  
 Grado de acero: 60 ksi  
 F'c del concreto: 5000 psi  
 Número de varilla en tensión: 5  
 Cantidad de barras en tensión: 5  
 Momento último actuante: 6000000 lb.in  
 Cortante último actuante: 100000 lb  
 Número de refuerzo transversal: 3

**Elemento RECRECIDO**

Elementos necesarios para nuevas cargas:  
 Se necesitan 14 barras  
 Diámetro #4  
 Recreido inferior de 4 in y 2.5 in en cada lado.  
 Estribos #3 a cada 14 in en una zona crítica de 28 in y a cada 14 in en el resto del claro.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS T

SECUENCIA DE CÁLCULOS

Controlado por compresión    Transición    Controlado por tracción

Controlado por compresión     $EI = Ely$      $EI = Ely + 0.003$

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

- Ejemplo 4 – Salida de satos strucG

**Reforzamiento**    Referencias    Ayuda

Caso de estudio: 4

Base: 10 in  
 Peralte: 10 in  
 Recubrimiento: 2.5 in  
 Grado de acero: 60 ksi  
 F'c del concreto: 5000 psi  
 Número de varilla: 4  
 Momento último actuante: 2000000 lb.in  
 Carga axial actuante: 500000 lb  
 Sentido de la carga axial: 2  
 Número de refuerzo transversal: 3  
 Cortante último actuante: 60000 lb

**Elemento RECRECIDO**

Elementos necesarios para nuevas cargas:  
 Se necesitan 5 barras  
 Diámetro #3 en dirección xx  
 También 5 barras  
 Diámetro #3 en dirección yy  
 Recreido de 4 in.  
 Y estribos #3  
 Separación de 6 in

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNAS

SECUENCIA DE CÁLCULOS

Controlado por compresión    Transición    Controlado por tracción

Controlado por compresión     $EI = Ely$      $EI = Ely + 0.003$

- Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

- Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

- Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

- Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

- Ejemplo 5 – Salida de satos strucG

- Ejemplo 6 – Salida de satos strucG

- Ejemplo 7 – Salida de satos strucG

StrucG 1.0

Reforzamiento Referencias Ayuda

Caso de estudio 1 ?

bf 30 in

hf 4 in

bw 18 in

Peralte 32 in

Recubrimiento 2.5 in

Grado de acero 60 ksi

F'c del concreto 4000 psi

Número de varilla en tensión 8

Cantidad de barras en tensión 8

Momento último actuante 13000000 lb.in

Cortante último actuante 70000 lb

Número de refuerzo transversal 3

ELEMENTO EXISTENTE

Detalles constructivos Datos específicos

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
Se necesitan 13 barras  
Diámetro #4  
Recrecio inferior de 3 in y 2.5 in en cada lado.  
Estribos #3 a cada 15 in  
en una zona crítica de 31 in y a cada  
15 in en el resto del claro.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN VIGAS T

Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Controlado por compresión  $EI = Ely$   $EI = Ely + 0.003$  Transición Controlado por tracción

SECUENCIA DE CÁLCULOS

- Ejemplo 8 – Salida de satos strucG

StrucG 1.0

Reforzamiento Referencias Ayuda

Caso de estudio 2 ?

Base 18 in

Peralte 18 in

Recubrimiento 2.5 in

Grado de acero 60 ksi

F'c del concreto 4000 psi

Número de varilla 5

Momento último actuante en X 3000000 lb.in

Momento último actuante en Y 1000000 lb.in

Carga axial actuante 650000 lb

Sentido de la carga axial 2 ?

Número de refuerzo transversal 3

Cortante último actuante 70000 lb

ELEMENTO EXISTENTE

Detalles constructivos Datos específicos

Elementos necesarios para nuevas cargas.  
Se necesitan 3 barras  
Diámetro #6 en dirección x-x  
También 3 barras  
Diámetro #6 en dirección y-y  
Recrecio de 3 in.  
Y estribos #3  
Separación de 12 in

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL REFORZAMIENTO EN COLUMNAS

Se deberá descubrir y limpiar el concreto existente antes de realizar el reforzamiento.

Para contrarrestar el efecto de junta fría se debe usar adhesivo epóxico.

Las nuevas varillas se unirán al elemento existente mediante la colocación de horquillas.

Se recomienda colocar acero para sostener el refuerzo transversal.

Controlado por compresión  $EI = Ely$   $EI = Ely + 0.003$  Transición Controlado por tracción

SECUENCIA DE CÁLCULOS

**TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS ENTRE "StucG" Y SAP 2000**

Elemento	Solicitaciones		Resultado StrucG		Resultado SAP2000		Diferencia %	
	Axial lb	Momento lb.in	Axial lb	Momento lb.in	Axial lb	Momento lb.in		
Ejemplo 1	Viga	3100000		3468603		3438099	-0.89	
Ejemplo 2	Viga	1700000		1925614		1924836	-0.04	
Ejemplo 3	Viga T	6000000		7084339		7104432	0.28	
Ejemplo 4	Columna	800000	3000000	800000	3896214	800000	3568070	Dentro de curva
Ejemplo 5	Viga	1750000		1984956		1985083	0.01	
Ejemplo 6	Viga	3000000		3504003		3527945	0.68	
Ejemplo 7	Viga T	13000000		14998866		15136673	0.91	
Ejemplo 8	Columna	650000	3000000, 1000000	871015	871015	3457453, 1776357	Dentro de curva	



## **ANEXO B**

### *PRUEBAS DE CALIDAD Y ADHERENCIA DE CONCRETO*

