

**DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA ANALISIS Y
DISEÑO A FLEXION DE VIGAS DE ACERO POR EL METODO DE DISEÑO
POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E
IMPLEMENTACION DE LA INTERFAZ DE USUARIO**

**LUIS FELIPE DÍAZ TANCO
SERGIO HERRERA SERRANO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

**DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA ANALISIS Y
DISEÑO A FLEXION DE VIGAS DE ACERO POR EL METODO DE DISEÑO
POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E
IMPLEMENTACION DE LA INTERFAZ DE USUARIO**

**LUIS FELIPE DÍAZ TANCO
SERGIO HERRERA SERRANO**

**Proyecto de grado para optar el titulo de
Ingeniero civil**

**Director
ALVARO REY SOTO
Ingeniero civil**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-MECANICAS
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL
BUCARAMANGA
2010**

DEDICATORIA

**A MIS PADRES, MIS HERMANOS, FAMILIARES Y AMIGOS POR QUE ES
OTRO PELDAÑO EN LA FORMACION DE TODA UNA VIDA.**

Luis Felipe D.

**A MIS PADRES Y MIS HERMANAS QUE HAN HECHO POSIBLE
ALCANZAR ESTA NUEVA META.
A MI ABUELA ALICIA V. (QEPD)**

Sergio H.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos a:

ALVARO REY SOTO, Ingeniero Civil, docente de la Universidad Industrial de Santander y Director de proyecto de Grado.

JAIRO ALONSO CARDENAS ALMEIDA, NICOLAS ANTONIO VERA MACIAS, Ingenieros Civiles, egresados de la Universidad Industrial de Santander.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. OBJETIVOS.	3
2. METODOLOGIA.	6
3. TEORIA DE ESTRUCTURAS METALICAS	7
3.2 PERFILES LAMINADOS USADOS COMO VIGAS.	7
3.3 DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD).	8
3.3.1 Factores de carga.	11
3.3.2 Factores de resistencia.	11
3.3.3 Análisis de fuerzas y cargas.	12
3.4 DISEÑO A FLEXIÓN	15
3.4.1 Análisis de primer orden.	17
3.4.2 Articulación plástica.	17
3.4.3 Mecanismos de falla.	18
3.4.4 Método de energía.	18
3.4.5. Diseño de vigas por estados limites. (Momentos).	21
3.5 VIGAS METALICAS ENSAMBLADAS.	26
3.5.1 Diseño de vigas ensambladas.	27
4. APLICACION VIGA WEB	31
4.1 DESCRIPCIÓN.	31
4.2 ALCANCE.	31
4.3 METODOLOGIA.	32
4.4 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.	32
4.5 ENTORNO VISUAL	32
4.6 PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS.	33
4.6.2 Viga cajón	44
4.6.3 vigas I ensambladas.	54
5. MANUAL DE AYUDA VIGA WEB.	80
5.1 PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN VIGA WEB.	80

5.1.1 Selección del tipo de viga.	80
5.1.2 Selección del procedimiento diseño o análisis de la viga.	81
5.1.3 Descripción de los datos de entrada.	81
5.1.5 Descripción de los mensajes informativos.	83
5.1.6 Selección del manual de ayuda VIGA WEB.	83
5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.	84
5.2.1 elección de la norma de diseño.	84
5.2.2 Datos generales de la viga a diseñar.	85
5.2.3 Selección del perfil de diseño.	85
5.2.4 Calculo de la zona de comportamiento de la viga.	86
5.2.5 Calculo del momento nominal último de la viga diseñada.	87
5.2.6 Calculo de Lpd y observación para momento de diseño.	88
5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.	89
5.3.1 Datos generales de la viga a analizar.	90
5.3.2 Calculo de la zona de comportamiento de la viga.	91
5.3.3. Calculo del momento nominal último de la viga analizada.	92
5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS DE PERFIL I ENSAMBLADO	93
5.4.1 Elección de la norma de diseño.	93
5.4.2 Datos generales a la viga a diseñar.	93
5.4.3 Selección del Alma.	94
5.4.4 Rigidizadores.	94
5.4.4. Pre dimensionamiento de los patines.	96
5.4.5 Estado Limite torsional Lateral.	97
5.4.6 Estado Limite pandeo de la aleta.	98
5.4.7 Chequeo del Lpd.	99
5.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE VIGAS DE PERFIL I ENSAMBLADO.	100
5.5.1 Elección de la norma de diseño.	100
5.5.2 Seleccionamos las dimensiones del perfil.	101

5.5.3 Rigidizadores.	101
5.5.4 Estado Limite torsional Lateral	104
5.5.5 Estado Limite pandeo de la aleta.	105
5.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS TIPO CAJÓN.	106
5.6.1 Elección de la norma de diseño y datos generales de la sección.	106
5.6.2 Chequeo de la deflexión máxima de la viga.	107
5.6.3 Calculo de la zona de comportamiento de la viga cajón.	108
5.6.4 Calculo de Cb para la viga diseñada.	109
5.6.5 Calculo del momento nominal último de la viga diseñada	109
5.6.6 Calculo de Lpd y observación para momento de diseño.	110
5.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.	112
5.7.1 Datos generales de la viga a analizar.	112
5.7.2 Calculo de la zona de comportamiento de la viga.	113
5.7.3 Calculo del momento nominal último del análisis de la viga cajón.	113
6. INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN VIGAWEB	116
CONCLUSIONES	129
BIBLIOGRAFIA.	131

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Perfiles laminados.	8
Figura 2. Estado Elástico.	16
Figura 3. Estado elastoplastico.	16
Figura 4 Análisis elástico.	17
Figura 5. Articulación plástica.	18
Figura 6. Mecanismo de falla.	18
Figura 7-a Método de energía-doble empotramiento y carga puntual.	19
Figura 7-b Método de energía-doble empotramiento y carga distribuida.	19
Figura 8. Pandeo por radio de giro (Y).	21
Figura 9. Zonas de pandeo de una viga.	22
Figura 10. Diagrama de momentos para cálculo de C_b .	24
Figura 11. Valores de C_b para diferentes tipos de viga.	25
Figura 12. Vigas metálicas ensambladas.	26
Figura 13. Tipos de Rigidizadores.	27
Figura 14. Vigas ensambladas de alma esbelta.	27
Figura 15. Rigidizador de apoyo.	27
Figura 16. Dimensionamiento de aletas.	28
Figura 17. Secciones homogéneas.	28
Figura 18. Descripción hc según las condiciones de la viga.	29
Figura 19. Descripción AT en análisis de pandeo por torsión lateral.	30
Figura 20. Diagrama general de la aplicación VIGA WEB.	33
Figura 21. Diagrama general de diseño vigas I laminadas.	34
Figura 22. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 1.	36
Figura 23. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 2.	37
Figura 24. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 3.	39
Figura 25. Diagrama general de análisis de vigas I laminadas.	41
Figura 26. Diagrama de análisis de vigas I laminadas, zona 1,2 y 3	42
Figura 27. Diagrama general de diseño viga cajón.	45

Figura 28. Diagrama de diseño viga cajón zona 1.	46
Figura 29. Diagrama de diseño viga cajón zona 2.	48
Figura 30. Diagrama de diseño viga cajón zona 3	50
Figura 31. Diagrama general de análisis viga cajón.	52
Figura 32. Diagrama de chequeo viga cajón zonas 1,2 y 3.	53
Figura 33. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte a.	55
Figura 34. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte b.	56
Figura 35. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte c.	60
Figura 36. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte d.	61
Figura 37. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte e.	65
Figura 38. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte f.	67
Figura 39. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte a.	69
Figura 40. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte b.	72
Figura 41. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte c.	73
Figura 42. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte d.	76
Figura 43. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte e.	79
Figura 44. Presentación general VIGA WEB.	80
Figura 45. Selección del tipo de viga.	81
Figura 46. Selección del procedimiento diseño o análisis de la viga.	81
Figura 47. Descripción de los datos de entrada.	82
Figura 48. Descripción de las alertas de error.	82
Figura 49. Descripción de mensajes informativos.	83
Figura 50. Manual de ayuda VIGA WEB.	84
Figura 51. Elección de la norma de diseño.	84
Figura 52. Ingreso de W_u , L_b , M_u , V_u de la viga a diseñar.	85
Figura 53. Selección del perfil de diseño.	85
Figura 54. Características del perfil seleccionado.	86
Figura 56. Valor C_b y diagrama de cálculo de este valor.	87
Figura 57. Evaluación de la sollicitación de la viga.	88
Figura 58. Elección de la condición de apoyo y de sección de la viga.	88
Figura 59. Elección del tipo de curvatura de la viga.	89
Figura 60. Evaluación de L_{pd} .	89

Figura 61. Selección de la norma para realizar el análisis de la viga.	90
Figura 62. Selección de perfil a analizar.	90
Figura 63. Características del perfil de análisis.	91
Figura 64. Zona de comportamiento de la viga de perfil I laminado analizada.	91
Figura 65. Valor C_b y diagrama de cálculo de este valor para análisis perfil I laminado.	92
Figura 66. Momento nominal último de la viga analizada.	92
Figura 67. Elección de la norma de diseño, diseño Viga I ensamblada.	93
Figura 68. Ingreso de W_u , L_b , M_u , V_u de la viga a diseñar, diseño Viga I ensamblada.	93
Figura 69. Ingreso del h_w del alma, diseño Viga I ensamblada	94
Figura 70. Escogencia del Rigidizador, diseño Viga I ensamblada.	94
Figura 72. Chequeo para Campo Tensionado, diseño Viga I ensamblada.	96
Figura 73. Selección del t_w , diseño Viga I ensamblada.	96
Figura 74. Selección del t_f y del b_f , diseño Viga I ensamblada.	97
Figura 75. Calculo del C_b , diseño Viga I ensamblada.	97
Figura 76. Resultados del estado limite, diseño Viga I ensamblada.	98
Figura 77. Calculo del C_b , diseño Viga I ensamblada.	98
Figura 78. Resumen de resultados de los estados, diseño Viga I ensamblada.	99
Figura 79. Chequeo del L_{pd} , diseño Viga I ensamblada.	100
Figura 80. Elección de la norma de diseño, análisis Viga I ensamblada.	100
5.5.2 Seleccionamos las dimensiones del perfil.	101
Figura 81. Elección de las dimensiones de la viga, análisis Viga I ensamblada.	101
Figura 82. Elección del rigidizador, análisis Viga I ensamblada.	101
Figura 83. Chaqueo de a y el cortante, análisis Viga I ensamblada.	102
Figura 84. Chequeo del a_1 y del cortante, análisis Viga I ensamblada.	103
Figura 85. Comprobación sin Rigidizador, análisis Viga I ensamblada.	103
Figura 86. Calculo del C_b , análisis Viga I ensamblada.	104
Figura 87. Resultados del estado limite, análisis Viga I ensamblada.	104

Figura 88. Calculo del Cb, análisis Viga I ensamblada.	105
Figura 89. Resultados del estado limite, análisis Viga I ensamblada.	105
Figura 90. Resumen de resultados de los estados, análisis Viga I ensamblada.	106
Figura 91. Datos generales de diseño de la viga tipo cajón.	106
Figura 92. Cálculo y chequeo de la deflexión máxima de la viga cajón.	107
Figura 93. Redimensionamiento de la sección cajón.	107
Figura 94. Chequeo de la deflexión dela viga.	108
Figura 96. Valor Cb y diagrama de cálculo de este valor.	109
Figura 97. Momento nominal ultimo viga cajón.	110
Figura 98. Elección de la condición de apoyo y de sección de la viga.	110
Figura 99. Elección del tipo de curvatura de la viga.	111
Figura 100. Evaluación de Lpd.	111
Figura 101. Ingreso de datos generales para el análisis de una viga cajón.	112
Figura 103. Zona de comportamiento del análisis de una viga cajón.	113
Figura 104. Valor de Cb previamente calculados.	114
Figura 105. Valor Cb y diagrama de cálculo de este valor para análisis viga cajón.	114
Figura 106. Momento nominal ultimo de la sección tipo cajón.	115
Figura 107. Guía de instalación 1	116
Figura 108. Guía de instalación 2	117
Figura 109. Guía de instalación 3	117
Figura 110. Guía de instalación 4	118
Figura 111. Guía de instalación 5	118
Figura 112. Guía de instalación 6	119
Figura 113. Guía de instalación 7	120
Figura 114. Guía de instalación 8	121
Figura 115. Guía de instalación 9	121
Figura 116. Guía de instalación 10	122
Figura 117. Guía de instalación 11	122
Figura 118. Guía de instalación 12	123
Figura 119. Guía de instalación 13	123

Figura 120. Guía de instalación 14	124
Figura 121. Guía de instalación 15	124
Figura 122. Guía de instalación 16	125

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Factores de Resistencia característicos	11
Tabla 2. Valores mínimos de las densidades de masa reales de algunos materiales para el cálculo de las cargas muertas, según la NSR-98.	13

RESUMEN

TÍTULO

DESARROLLO COMPUTACIONAL DEL ALGORITMO PARA ANALISIS Y DISEÑO A FLEXION DE VIGAS DE ACERO POR EL METODO DE DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD) E IMPLEMENTACION DE LA INTERFAZ DE USUARIO*

AUTORES

LUIS FELIPE DIAZ TANCO, SERGIO HERRERA SERRANO**.

PALABRAS CLAVES.

DESARROLLO, ALGORITMO, HTML, VIGAWEB, NSR-98.

DESCRIPCION.

El desarrollo de nuevas técnicas constructivas a permitido que el diseño de estructuras de acero se halla incrementado en Latinoamérica, generando la necesidad de profundizar el conocimiento en esta área de la ingeniería civil y el desarrollo de metodologías de diseño ágiles y eficientes, motivo por el cual hemos creado la aplicación VIGAWEB a través del lenguaje HTML, la cual tiene por objeto afianzar los conocimientos en el diseño de vigas metálicas a flexión, desarrollada bajo el algoritmo propio para este tipo de estructuras, el cual se basa en los conocimientos adquiridos en las asignatura de Diseño de Estructuras Metálicas y la norma NSR-98. A continuación se describen cuatro bloques que componen este trabajo, entre ellos el contenido de la asignatura de Diseño de Estructuras Metálicas, el algoritmo de diseño a flexión de vigas metálicas, el manual de ayuda de VIGAWEB y la guía de instalación de la aplicación.

VIGAWEB, es una aplicación enfocada hacia los estudiantes de pregrado, como una herramienta de acompañamiento durante el desarrollo de la asignatura de Estructuras Metálicas, la cual guiará a los estudiantes en el proceso de diseño de vigas, resolviendo eficientemente los cálculos necesarios durante todo el proceso e igualmente permitiéndole al usuario visualizar todos los chequeos y análisis necesarios.

* Proyecto de grado.

** Facultad de Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería Civil. Director. Ing. Álvaro Rey Soto.

ABSTRACT

TITLE. DEVELOPMENT OF COMPUTATIONAL ALGORITHM FOR ANALYSIS AND DESIGN TO FLEXION OF STEEL BEAMS FOR THE METHOD OF DESIGN BY LOAD FACTORS AND RESISTANCE (LRFD) E IMPLEMENTACION OF THE USER INTERFACE*

AUTHOR: LUIS FELIPE DIAZ TANCO, SERGIO HERRERA SERRANO**.

KEY WORDS. DEVELOPMENT, ALGORITHM, HTML, VIGAWEB, NSR-98.

DESCRIPTION.

The development of new construction techniques to allowed the design of steel structures It is increased in Latin America, Creating a need to deepen the knowledge in this area of civil engineering and the development of design methodologies fast and efficient, why we have created the application VIGAWEB through language HTML, which aims to strengthen the knowledge in the design of metal beams to flections, developed under the algorithm own for this type of structures, which is based on knowledge acquired in the subject of Design of Metal Structures and the rule NSR-98. The following are four blocks that make up this work, among them the content of the subject of Design of Metal Structures, The algorithm of design to bending metal beams, the manual to help VIGAWEB and the installation guide of the implementation.

VIGAWEB, It is an application focused Undergraduate, as a tool of accompaniment during the development of the subject of Metallic Structures, Which guided to students in the process of designing beams, resolving efficiently the calculations required during the whole process and also allowing the user to view all checkups and analysis necessary.

* Work Degree

** Faculty of Fisico mechanic. School of Civil Engineering. Directress. Ing. Álvaro Rey Soto.

INTRODUCCIÓN

La ingeniería Civil está compuesta por una amplia variedad de áreas de desempeño profesional, las cuales están enfocadas a cubrir con todos los aspectos de diseño y construcción de todo tipo de obras civiles y la protección del medio ambiente, dentro de estas áreas se encuentra la estructural, la cual a su vez está subdividida en dos grupos generales que permite clasificar rápidamente los componentes principales de una estructura, como lo son el Hormigón Armado y las Estructuras Metálicas, siendo este último parte del objeto de estudio y desarrollo de este proyecto. En la actualidad las estructuras metálicas han venido aumentando su aplicación en la construcción de edificaciones, bodegas y otras obras de gran importancia para el desarrollo de nuestra economía, teniendo en cuenta que son estructuras que desarrollan un comportamiento similar al hormigón armado, el cual ha sido pionero en el desarrollo de obras civiles durante varias décadas, pero es ahora el momento en que el desarrollo de nuevas técnicas constructivas ha permitido que los elementos metálicos sean acogidos con gran expectativa en el mercado, teniendo en cuenta que ofrecen una construcción mucho más rápida y limpia que otros materiales.

Muchos de los detalles que tenían las estructuras metálicas en un segundo orden a la hora de realizar obras civiles estaban enfocados a la falta de herramientas rápidas, ágiles y de confiabilidad para su diseño, ya que exigían el estudio de variables adicionales propias de cada uno de los elementos que conformaban este tipo de estructuras, pero la actualidad nos ofrece la implementación de herramientas computacionales que han resuelto gran parte de este problema, ya que por medio de ellas se han logrado optimizar los procesos mediante la agilidad, eficacia y precisión de los cálculos y procedimientos. Esta es la razón que demuestra la necesidad de implementar las herramientas computacionales a la par del progreso en la ingeniería civil.

Uno de los aspectos que conforman el diseño de estructuras metálicas es el diseño de vigas. En él, son muy pocos los programas que se han desarrollado y que estén al alcance de los estudiantes, y es precisamente por esta razón que hemos optado por desarrollar un programa de diseño a flexión para este tipo de elementos, el cual está en capacidad de servir como una guía permanente durante el desarrollo de la asignatura de estructuras metálicas en el programa de pregrado de Ingeniería Civil, convirtiéndose en un material de acompañamiento enfocado a resolver las dudas que se pueden generar a la hora de diseñar estos elementos.

Así, se ha propuesto por medio de este proyecto de grado la creación, el diseño, el desarrollo y la programación de una aplicación para el diseño de vigas a flexión. Se ha optado por la implementación del método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia, debido a su aplicación en el desarrollo de la asignatura de estructuras metálicas y el cumplimiento de nuestro propósito al ofrecer una herramienta de acompañamiento para la misma.

En los capítulos siguientes se incluye la Teoría de Estructuras Metálicas enfocada al diseño de vigas a flexión y el manual (VIGA WEB), en el cual se ofrecen y explican todos los aspectos relacionados a la aplicación objeto de este proyecto.

1. OBJETIVOS.

1.1 OBJETIVO GENERAL.

Desarrollo computacional del algoritmo para el análisis y diseño a flexión de vigas metálicas de acero, ensambladas y perfiles I, por el método de Diseño de Factores de Carga y Resistencia (LRFD), basado en los conceptos teóricos vistos en la asignatura de Estructuras Metálicas y la norma NSR-98.

Aclaración de conceptos:

- a) Entiéndase por *algoritmo* como “Conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema.”(extraído de la biblioteca Encarta Online)”. Para nuestro caso el algoritmo estará enfocado a resolver el problema específico del Análisis Y Diseño de vigas metálicas sometidas a flexión.

- b) Según el concepto anterior, entiéndase *desarrollo computacional del algoritmo* como la implementación del algoritmo mediante el programa de lenguaje de programación HTML, teniendo en cuenta que esta herramienta nos permite incluir una interfaz de usuario de fácil interpretación para el estudiante y nos ofrece el alcance necesario para la ejecución del programa objeto de este proyecto.

- c) Entiéndase por *Vigas Metálicas de Acero* como miembros que soportan cargas transversales, los cuales se usan generalmente en posición horizontal y quedan sujetos a cargas por gravedad o verticales, los cuales están fabricados en acero y cuentan con las propiedades asociadas directamente con este material metálico.

1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Elaborar una guía virtual de usuario para el manejo del programa como herramienta básica de acompañamiento en el análisis y diseño de vigas ensambladas con elementos metálicos.

- a. La guía virtual estará siempre disponible al usuario como una herramienta que acompañara al estudiante a través de todos los procedimientos para el diseño y análisis de la viga metálica. Esta guía virtual mostrará los pasos que debe seguir el estudiante, las diferentes opciones que tiene a través de los procesos, los cálculos que se realizan y los resultados finales.

Incluir dentro del programa los perfiles comerciales *para secciones I, secciones tipo cajón y secciones ensambladas* con el propósito de ofrecer al usuario la posibilidad de diseñar estructuras garantizando su ejecución en obra.

- a. El desarrollo computacional dispondrá de una biblioteca de perfiles metálicos comerciales en el departamento de Santander, con el propósito de diseñar vigas que puedan ser construidas a partir de los materiales ofrecidos por los distribuidores locales de estos elementos.

Establecer parámetros claros y definidos en el diseño de vigas con *secciones I, secciones tipo cajon y secciones ensambladas* que permitan al estudiante un mayor afianzamiento de los conocimientos de esta área de la Ingeniería.

- a. El desarrollo computacional presentará las definiciones básicas de los parámetros incluidos en los elementos metálicos que conforman la viga y su incidencia en el diseño de la misma.

Implementación de la interfaz de usuario, la cual permite visualizar e incorporar los parámetros necesarios para el diseño de vigas metálicas en un entorno fácil

de interpretar y de igual forma ofrecer al usuario la posibilidad de visualizar gráficos durante el proceso de diseño y análisis.

Aclaración de conceptos:

- a. Entiéndase *interfaz de usuario* como un entorno a través de computadora que permite la entrada y salida de datos tanto textuales como gráficos, lo cual conlleva a la ejecución del algoritmo desarrollado y a la interacción con el usuario, hemos escogido HTML debido a que brinda facilidades para la interpretación visual.

Publicar y ofrecer de forma gratuita el programa de ejecución del algoritmo de diseño a flexión de vigas metálicas a los estudiantes de ingeniería civil como una herramienta moderna, efectiva y práctica para afianzar los conocimientos propios en esta área.

2. METODOLOGIA.

Para la elaboración del algoritmo y la implementación del programa para el diseño de vigas tomaremos la teoría vista en la asignatura de Estructuras Metálicas basado en el método de Diseño de Factores de Carga y Resistencia (LRFD), como también del apoyo de la Norma NSR-98.

El diseño de las vigas se sustentará en lo visto en la materia de Estructuras Metálicas y el NSR-98 con el fin de seguir el cronograma y la metodología de la misma.

La programación se efectuara por medio de la aplicación HTML, el cual nos permite la elaboración de entornos gráficos y textuales que son necesarios para el diseño y aprendizaje del mismo y a su vez nos permite el ingreso y salida de datos, para la compresión de los diseños.

3. TEORIA DE ESTRUCTURAS METALICAS

El alcance de las estructuras metálicas es bastante amplio y así mismo los tipos de estructuras que se pueden configurar con este tipo de elementos, entre ellos las vigas metálicas y la teoría que describe su diseño se muestra a continuación.

3.1 VIGAS METALICAS¹.

Las vigas son miembros que soportan cargas transversales. Se usan generalmente en posición horizontal y quedan sujetas a cargas por gravedad o verticales, sin embargo, existen excepciones, por ejemplo el caso de los cabios.

Entre los muchos tipos de vigas cabe mencionar las siguientes: viguetas, dinteles, vigas de fachada, largueros de puentes, y vigas de piso. Las viguetas son vigas estrechamente dispuestas para soportar los techos y pisos de edificios, los dinteles se colocan sobre aberturas en muros de mampostería como puertas y ventanas, las vigas de fachada soportan los muros exteriores de edificios y también parte de las cargas de los pisos y corredores, los largueros de puente son las vigas en los pisos de puente que corren paralelas a la superficie de rodamiento, en tanto que las vigas de piso son las vigas que en muchos pisos de puentes van perpendiculares a la superficie de rodamiento y se usan para transferir las cargas del piso, de los largueros de puente a las armaduras sustentables.

3.2 PERFILES LAMINADOS USADOS COMO VIGAS.

Los perfiles W generalmente resultan las secciones más económicas al usarse como vigas y han reemplazado en esta aplicación casi por completo a las canales y las secciones S, las canales se usan a veces como largueros cuando las cargas son pequeñas y en lugares donde se requieren patines estrechos. Estas tienen muy poca resistencia a fuerzas laterales y requieren soporte lateral, los perfiles W tienen un mayor porcentaje de acero concentrado en sus patines que las vigas S por lo que poseen mayores momentos de inercia y momentos resistentes para un mismo peso. Estos son relativamente anchos y tienen una rigidez lateral apreciable.

Los miembros a tensión de armaduras para techos pueden consistir en ángulos simples, un miembro más satisfactorio se construye con dos ángulos, espalda con espalda, con separación suficiente para permitir la inserción de placas de conexión. Las estructuras T resultan muy satisfactorias como cuerdas de armaduras soldadas, los miembros en puentes pueden consistir como ya se

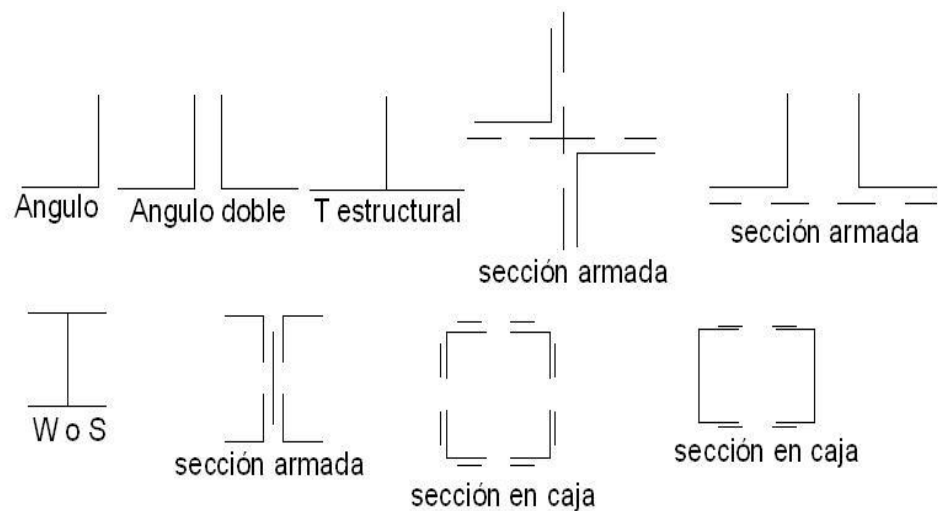
¹ MC. CORMAC Jack C.. Diseño de Estructuras de Acero: Método LRFD 2ª ed. México D.F: Alfaomega Grupo Editorial, S.A., 2004 217p

dijo anteriormente en canales, secciones W o S o en secciones armadas a base de ángulos, canales y placas.

Aunque los perfiles estructurales simples son un poco más económicos que las secciones armadas, estas se usan ocasionalmente cuando el proyectista no obtiene suficiente área o rigidez con las formas simples, cuando se usan secciones armadas es importante recordar que se tendrán que usar conexiones de campo y aplicar una o varias capas de pintura.

Las placas de unión localizadas regularmente, o bien, las cubreplacas perforadas, sirven para mantener las diversas secciones en sus posiciones correctas, estas placas sirven también para corregir cualquier distribución desigual de carga entre las diversas secciones, sirven para mantener las relaciones de esbeltez de las partes individuales dentro de ciertos límites y facilitar el manejo de los miembros armados. Los miembros individuales muy largos tales como los perfiles angulares resultan de difícil manejo debido a su alta flexibilidad, pero cuando se unen cuatro ángulos formando un solo miembro este adquiere considerable rigidez.

Figura 1. Perfiles laminados.



3.3 DISEÑO POR FACTORES DE CARGA Y RESISTENCIA (LRFD)².

El diseño de estructuras metálicas se basa en el comportamiento elástico y/o plástico del acero. Durante muchos años se han diseñado estructuras con especificaciones que se basan en el comportamiento elástico, llamando cargas de servicio o de trabajo a las cargas que actuarán sobre la estructura y diseñando los elementos de la estructura con esfuerzos llamados admisibles,

² CÁRDENAS, Jairo Alonso y Vera, Nicolás Antonio. Desarrollo computacional del algoritmo para el diseño y análisis de cubiertas metálicas por el método de diseño por factor de cargas y resistencia (LRFD) e implementación de la interfaz de usuario. Trabajo de grado. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánicas, 2006. 31p.

los cuales mantienen el acero en el rango elástico ante la sollicitación de esas cargas.

Diversos estudios han demostrado que un diseño basado en métodos plásticos podría ser más válido debido a que el esfuerzo de fluencia del acero está considerablemente muy por debajo de su esfuerzo último o esfuerzo de colapso, es decir, el acero puede soportar un gran esfuerzo aún después de haber alcanzado su esfuerzo de fluencia.

En el diseño a través de métodos plásticos, las cargas de servicio son multiplicadas por un factor de carga o sobrecapacidad, y los esfuerzos de diseño estarán muy cercanos al esfuerzo de colapso o resistencia última.

La normatividad colombiana para el diseño y construcción, la NSR-98, contempla dos métodos de diseño estructural:

- a. El método de Diseño por Esfuerzos Permisibles (ASD, *Allowable Stress Design*).
- b. El método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD, *Load and Resistance Factor Design*) ó Diseño para Estados Límites como es llamado en la NSR-98.

El método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia se basa en los *estados límite*, los cuales son los estados en que la estructura o parte de ella alcanza la falla o cuando el servicio para el que fue construida ya no puede ser dado. Así, se pueden diferenciar dos estados límite:

- a. Estado límite de Resistencia: se basa en la seguridad o capacidad de carga teniendo en cuenta las resistencias plásticas y los fenómenos de pandeo, fractura, fatiga, etc.
- b. Estado límite de Servicio: se basa en el comportamiento de la estructura bajo la sollicitación de cargas de servicio teniendo en cuenta las deflexiones excesivas, deslizamientos, vibraciones, agrietamientos y demás aspectos que tengan que ver con el uso y la ocupación de la estructura.

Este método contempla que una estructura se diseñará para que no colapse ante la máxima sollicitación de carga esperada pero, que también cumpla en todo momento y adecuadamente con el servicio que presta ante las cargas de servicio comunes. Así, una cubierta metálica podrá presentar algunos daños menores en el momento en que se presente la máxima tormenta esperada en su vida útil, pero deberá cumplir con todas las funciones para las cuales se diseñó sin sobresaltos en la estructura misma ante la sollicitación de las demás cargas en todo momento. Otro ejemplo puede ser el de una viga bajo la que existe una puerta, la cual se diseñará para que además de soportar cargas permita que sus deflexiones no impidan el movimiento de la puerta; pero

llegado el caso en que la viga sea sobrecargada con un evento máximo, no llegue al colapso o permita la reparación de la estructura.

El método LRFD tiene como prioridad los estados límite de resistencia debido a que la seguridad pública no se deja a consideración del diseñador, y permite un poco de libertad al diseño respecto a los estados límite de servicio pero siempre teniéndolos en cuenta.

Para el diseño de un elemento en particular, el método LRFD contempla una variación de los efectos de las cargas (aumento por lo general) y de la resistencia del elemento (comúnmente reducción), así:

$$\sum \lambda_i * Q_i \leq \phi * R_n$$

Donde,

λ_i : Factor de carga o sobrecapacidad.

Q_i : Efecto de las cargas.

ϕ : Factor de resistencia.

R_n : Resistencia nominal.

El método LRFD basa parte de su teoría en el análisis estadístico de una muestra muy significativa de estructuras metálicas diseñadas con diferentes especificaciones del AISC, *American Institute of Steel Construction*. A partir de este análisis estadístico, se decidieron determinados porcentajes de confiabilidad para diferentes situaciones acerca del diseño y la construcción de las estructuras metálicas. Y finalmente se calcularon los factores de resistencia que conllevan a obtener esos porcentajes de confiabilidad. Por ejemplo, si del análisis estadístico de la muestra de estructuras metálicas se llegó a la conclusión que un adecuado porcentaje de confiabilidad para determinado aspecto del diseño como puede ser el diseño por tensión, podría ser 99.7 %, entonces se calculó el factor de resistencia que lleva a que el 99.7 % de las estructuras diseñadas por tensión con este factor sean confiables, lo que significa que el comportamiento de estas estructuras está por debajo de los estados límite y sólo un 0.3 % de ellas alcanzan o superan los estados límite sin significar necesariamente que alcanzan la falla.

La ventaja principal del método LRFD es la contemplación más realista de los fenómenos que afectan a las estructuras metálicas (como la variabilidad de la aplicación de diferentes tipos de cargas, ya que probablemente no todas actúan al mismo tiempo) y del comportamiento y capacidad de carga de las mismas estructuras, conllevando en algunas circunstancias a diseños más económicos, sin ser la economía el objetivo principal.

3.3.1 Factores de carga. Los factores de carga son coeficientes que tienen en cuenta la desviación que existe entre las cargas nominales con respecto a las cargas reales a las que se encuentra sometido un elemento estructural, y su función es incrementarlas teniendo en cuenta la incertidumbre que existe al calcular las magnitudes tanto de las cargas vivas como de las cargas muertas y su transformación en los efectos internos de los elementos. Las magnitudes de los factores de carga varían según el tipo de combinación y generalmente son mayores que 1.0.

3.3.2 Factores de resistencia³. Los factores de resistencia, también llamados coeficientes de reducción de resistencia, tienen en cuenta la desviación que existe entre la resistencia real y la resistencia nominal del elemento estructural, además de la incertidumbre en las dimensiones y en la mano de obra.

Los coeficientes de resistencia varían dependiendo de la forma y consecuencia según el tipo de falla y sus valores son generalmente menores que 1.0.

Para hallar la resistencia de diseño, la resistencia nominal del elemento estructural se multiplica por un factor de resistencia ϕ ; los valores de los coeficientes para columnas son 0.85, para miembros a tensión son 0.75 o 0.90 y para la flexión o el corte de vigas 0.90. A continuación se muestran los valores de los factores de resistencia característicos.

Tabla 1. Factores de Resistencia característicos

Factores de Resistencia (ϕ)	Situaciones
1	Aplicación en áreas proyectantes de pasadores, fluencia del alma bajo cargas concentradas, cortante en tornillos junta tipo fricción.
0,9	Vigas sometidas a flexión y corte, filetes de soldadura con esfuerzos paralelos al eje de la soldadura, soldaduras de ranura en el metal base, fluencia de la sección total de miembros a tensión.
0,85	Columnas, aplastamiento del alma, distancias al borde y capacidad de aplastamiento en agujeros.
0,8	Cortante en el área efectiva de soldaduras de ranura con penetración completa, tensión normal al área efectiva de soldaduras de ranura con penetración parcial.
0,75	Tornillos a tensión, soldaduras de tapón o muesca, fractura en la sección neta de miembros sometidos a tensión.
0,65	Aplastamiento en tornillos (diferentes al tipo A307).
0,6	Aplastamiento en cimentaciones de concreto.

³ Ibid. p. 35

3.3.3 Análisis de fuerzas y cargas. Para realizar el diseño de una estructura es importante conocer con precisión las cargas y las fuerzas a las cuales va a estar sometida durante su vida útil o rango de diseño.

Hacen parte del conjunto de cargas y fuerzas todas aquellas solicitaciones tales como el peso propio de la estructura, el peso de sus ocupantes, los efectos ambientales como la lluvia, el viento, el sismo, etc.; que para fines del diseño se clasifican en *cargas muertas*, *cargas vivas* y *fuerzas ambientales*. Después de calcular las magnitudes de las cargas y de las fuerzas es necesario evaluar las diferentes combinaciones de cargas con el fin de obtener la más desfavorable que finalmente es la tenida en cuenta para el diseño de la estructura.

3.3.3.1 Carga muerta⁴. La carga muerta es aquella que para efectos de análisis y diseño estructural permanece fija y cuya magnitud es constante, además es una carga gravitacional cuya línea de acción es vertical; la carga muerta se compone del peso propio de la estructura y demás cargas que hacen parte de ella permanentemente.

Teniendo en cuenta el criterio anterior, para el diseño de una viga es necesario evaluar las cargas a las que se vera sometida según el área aferente a ella, teniendo en cuenta la presencia de todos los elementos no estructurales que deberá soportar y que igualmente estarán incluidos en este tipo de carga. Para estimar la magnitud de la carga muerta es necesario hacer un estudio de los materiales y de las dimensiones que conforman la estructura; de este modo, es necesario tener en cuenta el tipo de acero u otro material con su respectiva densidad, el área de la sección transversal y demás dimensiones que permitan acercar el cálculo de las cargas a un valor real con el objetivo de lograr un diseño satisfactorio.

En la tabla 2. se dan algunos valores mínimos de densidades para el cálculo de la carga muerta. Para el uso de esta tabla debe tenerse en cuenta que dentro del Sistema de Unidades Internacional (SI), el kg (kilogramo) es una unidad de masa, por lo tanto, para calcular la carga muerta debida a los efectos gravitacionales que actúan sobre la masa de los materiales, la densidad presentada en la tabla debe multiplicarse por la aceleración debida a la gravedad

($g = 9.8 \text{ m/s}^2 \approx 10 \text{ m/s}^2$) para obtener pesos específicos en N/m^3 (Newton por metro cúbico).

⁴ Ibid, p. 37

Tabla 2. Valores mínimos de las densidades de masa reales de algunos materiales para el cálculo de las cargas muertas, según la NSR-98.

MATERIAL	DENSIDAD	MATERIAL	DENSIDAD
Acero	7800 kg/m ³	Madera, densa, seca	750 kg/m ³
Agua dulce	1000 kg/m ³	Madera, densidad baja, seca	450 kg/m ³
Agua marina	1030 kg/m ³	Madera, densidad media, seca	600 kg/m ³
Aluminio	2700 kg/m ³	Mampostería de ladrillo hueco	1300 kg/m ³
Asfalto	1300 kg/m ³	Mampostería de ladrillo macizo	1800 kg/m ³
Baldosín cerámico	2400 kg/m ³	Mampostería de piedra	2200 kg/m ³
Cal, hidratada, compacta	730 kg/m ³	Mampostería de concreto	2150 kg/m ³
Cal, hidratada, suelta	500 kg/m ³	Mortero de inyección para mampostería	2250 kg/m ³
Carbón (apilado)	800 kg/m ³	Mortero de pega para mampostería	2100 kg/m ³
Cobre	9000 kg/m ³	Plomo	11400 kg/m ³
Concreto reforzado	2400 kg/m ³	Tierra: Arcilla y grava, seca	1600 kg/m ³
Concreto simple	2300 kg/m ³	Tierra: Arcilla, húmeda	1750 kg/m ³
Enchape Arenisca	1350 kg/m ³	Tierra: Arcilla, seca	1000 kg/m ³
Enchape Granito	1550 kg/m ³	Tierra: Arena y grava, húmeda	1900 kg/m ³
Escoria	1550 kg/m ³	Tierra: Arena y grava, seca, suelta	1600 kg/m ³
Hielo	920 kg/m ³	Tierra: Limo, húmedo, apisonado	1550 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción baja	2000 kg/m ³	Tierra: Limo, húmedo, suelto	1250 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción media	1850 kg/m ³	Vidrio	2560 kg/m ³
Ladrillo de arcilla, absorción alta	1600 kg/m ³	Yeso suelto	1150 kg/m ³
Madera, laminada	600 kg/m ³	Yeso, tablero para muros	800 kg/m ³

3.3.3.2 Carga viva. La carga viva es gravitacional y a diferencia de la carga muerta, varía espacialmente y su magnitud no es constante, además es debida al uso, ocupación o mantenimiento de la estructura.

La Norma NSR-98 estipula valores mínimos según el uso de la estructura

Vivienda	1.80
kN/m ² (180 kgf/m ²)	
Oficinas.....	2.00
kN/m ² (200 kgf/m ²)	
Escaleras en oficinas y vivienda.....	3.00
kN/m ² (300 kgf/m ²)	
Salones de Reunión	
- Con asientos fijos (anclados al piso).....	3.00
kN/m ² (300 kgf/m ²)	
- Sin asientos fijos.....	5.00
kN/m ² (500 kgf/m ²)	
Hospitales	
- Cuartos.....	2.00
kN/m ² (200 kgf/m ²)	
- Salas de operaciones.....	4.00
kN/m ² (400 kgf/m ²)	
Coliseos y Estadios	
- Graderías.....	4.00
kN/m ² (400 kgf/m ²)	
- Escaleras.....	5.00 kN/m ²
(500 kgf/m ²)	
Garajes	
- Automóviles.....	2.50 kN/m ²
(250 kgf/m ²)	
- Vehículos pesados.....	Según uso
Hoteles.....	2.00
kN/m ² (200 kgf/m ²)	
Escuelas, Colegios y Universidades.....	2.00
kN/m ² (200 kgf/m ²)	
Bibliotecas	
- Salas de lectura.....	2.00 kN/m ²
(200 kgf/m ²)	
- Depósitos de libros.....	5.00 kN/m ²
(500 kgf/m ²)	
Cubiertas, Azoteas y Terrazas.....	la misma
del resto de la edificación	
Cubiertas inclinadas de estructuras metálicas y de madera con imposibilidad física de verse sometidas a cargas superiores a la acá estipulada:	
- si la pendiente es mayor del 20%.....	0.35
kN/m ² (35 kgf/m ²)	
- si la pendiente es menor del 20%.....	0.50
kN/m ² (50 kgf/m ²)	

Fábricas	
- Livianas.....	5.00 kN/m2
(500 kgf/m2)	
- Pesadas.....	10.00 kN/m2
(1000 kgf/m2)	
Depósitos	
- Livianos.....	5.00
kN/m2 (500 kgf/m2)	
- Pesados.....	10.00 kN/m2
(1000 kgf/m2)	
Almacenes	
- Detal.....	3.50 kN/m2
(350 kgf/m2)	
- Por Mayor.....	5.00
kN/m2 (500 kgf/m2)	

3.4 DISEÑO A FLEXIÓN

En el desarrollo del diseño a flexión de vigas metálicas consideraremos los estados límites según el método LRFD, como lo son:

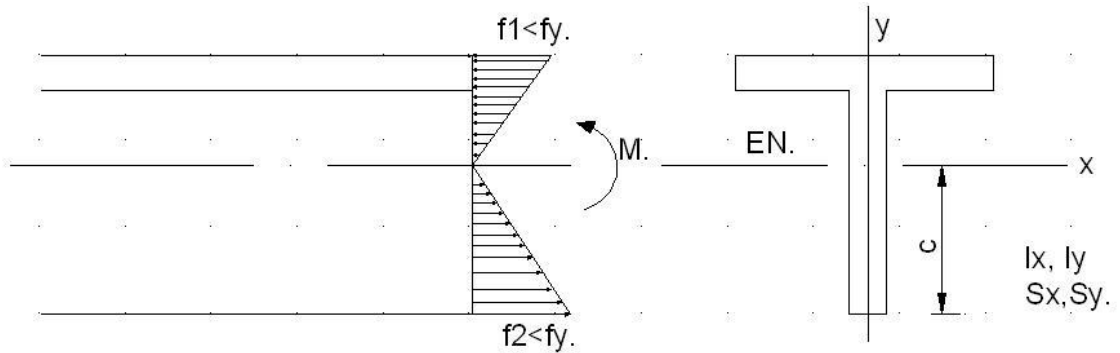
Por resistencia:

- Estado límite de esfuerzo normal
- Estado límite por cortante.

Por servicio:

- Control de deflexión.

Teniendo en cuenta el siguiente diagrama de esfuerzos de una viga de sección T, para estudiar los esfuerzos de flexión, si dicha viga está sujeta a momento flexionante, el esfuerzo en cualquier punto puede calcularse con la fórmula de flexión: $fb = M^c/I$, recordando que esta aplicación solo es aplicable cuando el máximo esfuerzo calculado en la viga es menor que el límite elástico. La fórmula se basa en las hipótesis elásticas usuales: el esfuerzo es proporcional a la deformación unitaria, una sección plana antes de la flexión permanece plana después de la aplicación de la carga, etc. El valor I/c es una constante para una sección específica y se denomina *modulo de sección (S)*. la fórmula de flexión puede escribirse entonces de la manera siguiente: $fb = \frac{M}{S}$



EN: eje centroidal bajo comportamiento elástico.

$$fb = Mc/I = M/S$$

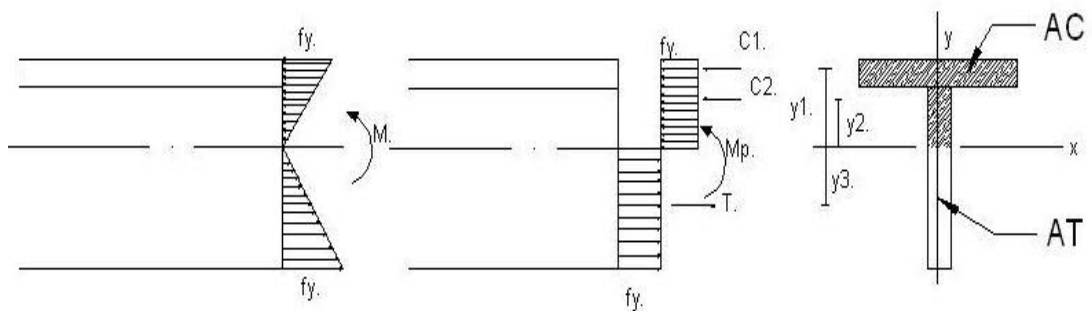
$S = \frac{I}{c}$, modulo se sección. Mc = momento centroidal. M = momento. I = inercia.

c = centroide lx, ly, Sx, Sy

Figura 2. Estado Elástico.

Cuando la distribución de esfuerzos ha alcanzado la distribución plástica total, se dice que se ha formado una *articulación plástica*, porque no puede resistirse en esta sección ningún momento adicional. Cualquier momento adicional aplicado en la sección causará una rotación en la viga con poco incremento de esfuerzo.

El *momento plástico* es el momento que producirá una plastificación total en una sección transversal del miembro creándose ahí mismo una articulación plástica, la relación del momento plástico Mp y el momento de fluencia My , se denomina factor de forma. Los factores de forma son iguales a 1.5 en las secciones rectangulares y están entre 1.10 y 1.20 en las secciones laminadas estándar.



My = momento de fluencia. MP = momento plástico. AC = Área a compresión.

AT = Área a tracción.

$$\sum F = 0, T = C1 + C2, fyAT = fyAC, AT = AC$$

AC

$$Mp = Ty3 + C1y1 + C2y2$$

$$Mp = fy Z, Z = \text{modulo se sección plástica.}$$

Figura 3. Estado elastoplastico.

3.4.1 Análisis de primer orden.

3.4.1.1. Análisis elástico. Anteriormente las vigas se diseñaban con base en la teoría elástica, la carga máxima que una estructura podía soportar se suponía igual a la carga que primero generaba un esfuerzo igual a la fluencia del material, los miembros se diseñaban de manera que los esfuerzos de flexión calculados para cargas de servicio no excedieran el esfuerzo de fluencia dividido entre el factor de seguridad (1.5 a 2), Estas estructuras han tenido a la fecha resultados satisfactorios, pero los proyectistas deben saber que los materiales tienen mayores márgenes de seguridad contra la falla que lo que parece indicar la teoría elástica. A continuación la grafica (4) nos permite visualizar el *análisis elástico*.

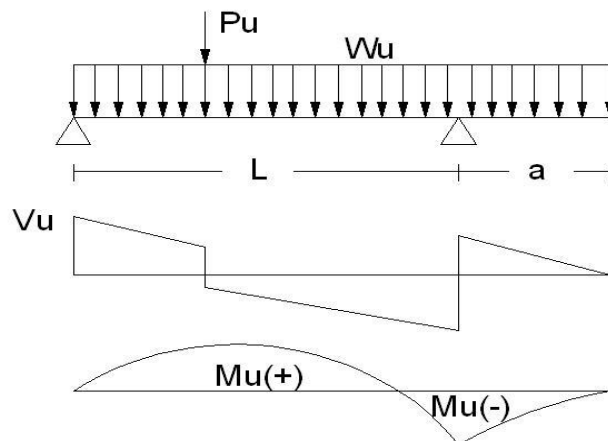


Figura 4 Análisis elástico.

3.4.1.2. Análisis plástico. La teoría plástica tiene que ver con la distribución de los esfuerzos en una estructura, después de que en algunos puntos de esta se ha alcanzado el esfuerzo de fluencia, según la teoría plástica aquellos puntos donde se ha alcanzado el esfuerzo de fluencia no pueden resistir esfuerzos adicionales, y en cambio estas partes fluirán la cantidad necesaria para permitir que estos esfuerzos adicionales o la carga sea transferida a otros puntos que aun están por debajo del límite de fluencia del material, se puede resumir que la plasticidad permite igualar los esfuerzos en caso de sobrecarga. Este análisis plástico se puede realizar en vigas hiperestáticas, vigas de sección compacta y por requisito de diseño cuando así lo exija la normatividad.

3.4.2 Articulación plástica⁵. Siempre que una viga alcanza el momento plástico, se presentará una articulación plástica, la carga que se le aplica a la viga crece en magnitud hasta que alcanza el momento de fluencia con las fibras extremas sometidas al esfuerzo F_y ; la magnitud de la carga continua incrementándose y las fibras extremas empiezan a fluir, la plastificación se extiende hacia otras fibras fuera de la sección de momento máximo como indica la figura a continuación, La longitud donde se presenta esta plastificación hacia ambos lados de la sección considerada, depende de las condiciones de

⁵ Op. Cit. MC. CORMAC Jack C. 220 p.

carga y de la sección transversal del miembro. Para una carga aplicada en el centro de la luz de una viga simplemente apoyada de sección rectangular se extenderá sobre 1/3 de la luz, en un perfil W en condiciones similares se extenderá hasta 1/8 de la luz. Para efectos de análisis se supone que la articulación plástica está concentrada en una sola sección.

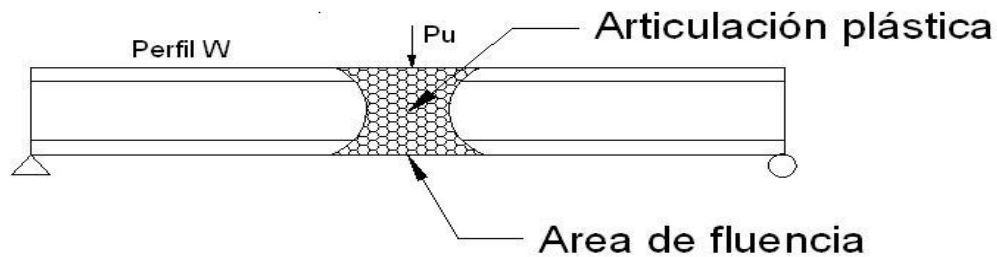


Figura 5. Articulación plástica.

3.4.3 Mecanismos de falla. Una viga estáticamente determinada falla si se desarrolla en ella una articulación plástica, la viga al ser solicitada por una carga concentrada en la mitad de la luz la cual se incrementa hasta producir una articulación plástica en el punto de momento máximo, haría a esta estructura inestable, cualquier incremento adicional en esta carga ocasionaría la falla. P_n representa la carga máxima nominal que la viga puede soportar. Para que una estructura estáticamente indeterminada falle es necesario que se forme más de una articulación plástica, variando en número de acuerdo al tipo de restricción al movimiento que tenga la misma. Se llama mecanismo de falla a la disposición de articulaciones plásticas y quizás las articulaciones reales que permiten la falla de la estructura.

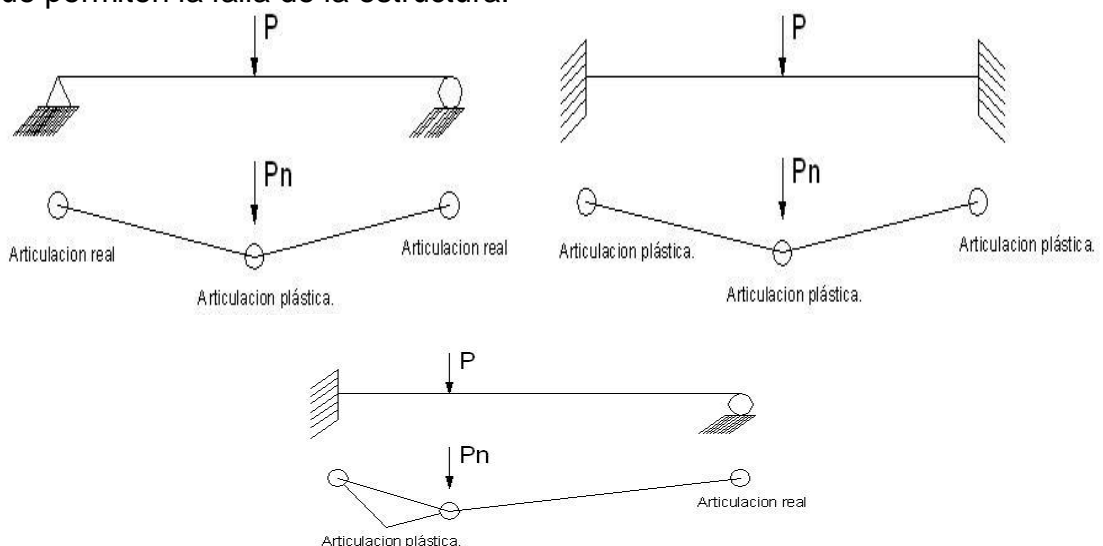


Figura 6. Mecanismo de falla.

3.4.4 Método de energía. Este método supone que la estructura considerada está cargada a su capacidad nominal M_n y que luego se deflexiona con un desplazamiento pequeño adicional después de que se alcanza la carga última,

El trabajo realizado por las cargas externas durante este desplazamiento se igualara al trabajo interno absorbido por las articulaciones. Para resolver satisfactoriamente el análisis y asimismo encontrar los valores de M_p según las diferentes condiciones de apoyo de la viga se aplica en teorema del seno en ángulos pequeños.

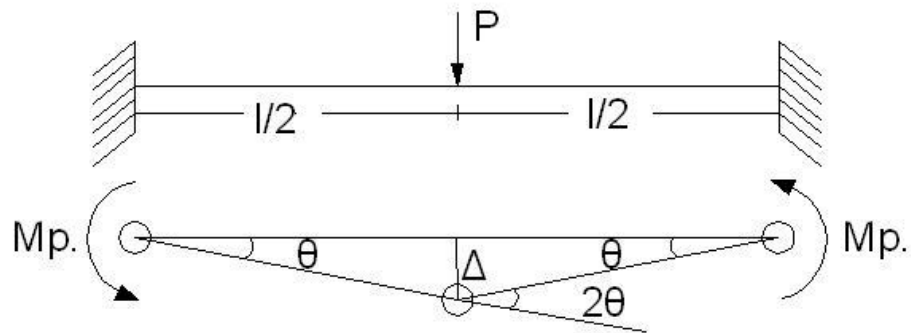


Figura 7-a Método de energía-doble empotramiento y carga puntual.

$$Pu\Delta = Mp\theta + Mp(2\theta) + Mp\theta$$

$$Pu\Delta = 4Mp\theta$$

$$\Delta = \left(\frac{l}{2}\right)\theta, \quad \left[\frac{l}{2}\theta\right] Pu = 4Mp\theta$$

$$Mp = \frac{Pu * L}{8}$$

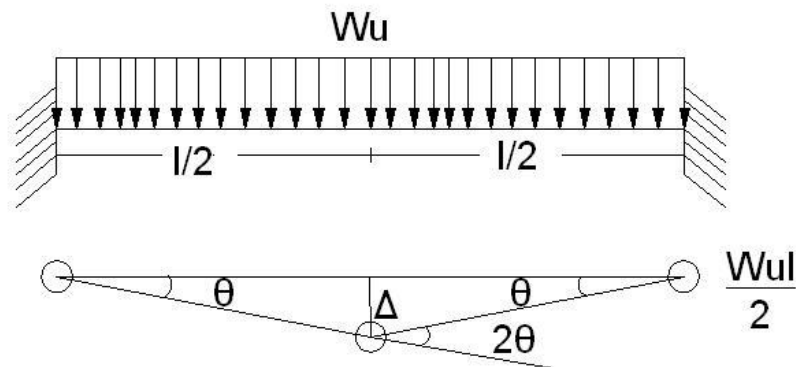


Figura 7-b Método de energía-doble empotramiento y carga distribuida.

$$We = \left(\frac{Wu * l}{2}\right) * \left[\frac{l}{2}\theta\right], \quad Wi = Mp(\theta) + Mp(2\theta) + Mp(\theta)$$

$$\frac{Wul^2}{4}\theta = 4\theta Mp \rightarrow Mp = \frac{Wul^2}{16}$$

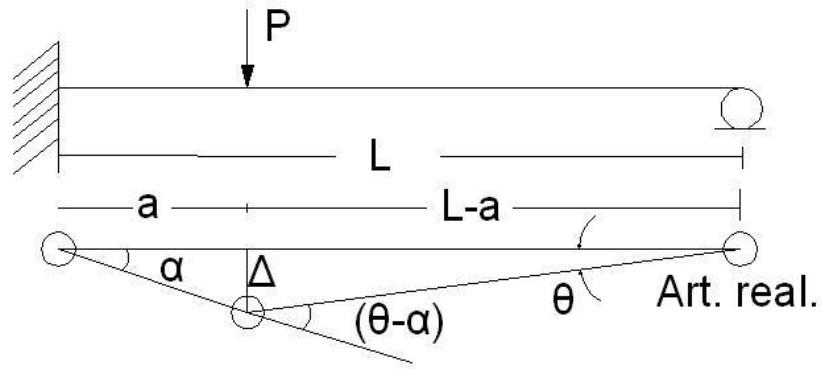


Figura 7-c Método de energía, carga puntual excéntrica.

$$W_e = Pu\Delta, \quad \Delta = (l - a)\theta \quad \Delta = a * \alpha$$

$$W_e = Pu(l - a)\theta \quad \alpha = \theta \left(\frac{l - a}{a} \right)$$

$$W_i = Mp\alpha + Mp(\alpha + \theta)$$

$$W_i = Mp\theta \left(\frac{l - a}{a} \right) + Mp \left[\theta \left(\frac{l - a}{a} \right) + \theta \right]$$

$$Pu(l - a)\theta = Mp \left[\frac{l - a}{a} + \frac{l - a}{a} + 1 \right]$$

$$Mp = \frac{Pu(a)(l - a)}{2l - a}$$

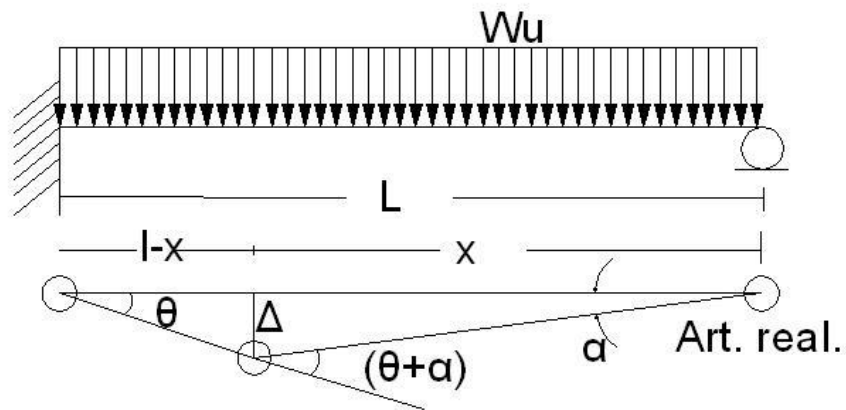


Figura 7-d Método de energía, carga distribuida con semi-empotramiento.

$$W_e = \frac{wl}{2}(\Delta), \quad \Delta = (l - x)\theta = x\alpha \quad \alpha = \left(\frac{l - x}{x} \right) \theta$$

$$W_i = Mp(2\theta + \alpha) = Mp(\theta) \left(\frac{x + l}{x} \right)$$

$$\frac{Wul}{2}(l - x)\theta = Mp(\theta) \left(\frac{x + l}{x} \right)$$

$$M_p = \frac{W_u l}{2} \left(\frac{x(l-x)}{l+x} \right)$$

$$\frac{dM_p}{dx} = 0 \rightarrow (x = 0.414l)$$

$$M_p = 0.085W_u * l^2$$

3.4.5. Diseño de vigas por estados limites. (Momentos)⁶. Si se aplican cargas de gravedad a una viga simplemente apoyada de gran longitud, la viga se flexionará hacia abajo y su parte superior estará en compresión y se comportará como un miembro a compresión, La sección transversal de esta, consistirá en una fracción de la sección transversal de esta viga arriba del eje neutro , para la viga usual, la fracción tendrá un momento de inercia mucho menor respecto a su eje *y* o *eje vertical* , que respecto a su eje *x* , Si no se hace nada para arriostrarla perpendicularmente al eje *y* , la viga se **PANDEARÁ** lateralmente bajo una carga mucho menor que la que requeriría para producir una falla vertical.

El pandeo va a depender del radio de giro (Y). Este fenómeno de pandeo no ocurrirá si el patín de compresión de un miembro se soporta lateralmente a intervalos frecuentes. En la figura 8 se puede evidenciar este radio de giro (Y).

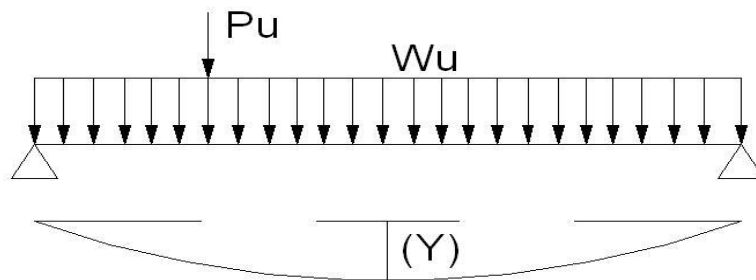


Figura 8. Pandeo por radio de giro (Y).

En la figura 9, se muestra la curva típica con los momentos resistentes nominales o momentos de pandeo de una viga en función de la longitudes variables no soportadas lateralmente, evidenciando la existencia de tres zonas de pandeo, dependiendo de sus condiciones de soporte lateral. Si se tiene un soporte lateral continuo o estrechamente espaciado, las vigas se pandearan plásticamente y quedarán en lo que se ha clasificado como zona 1 de pandeo. Conforme se incrementa la separación entre los soportes laterales, las vigas empezarán a fallar inelásticamente bajo momentos menores y quedarán en la zona 2. Finalmente, con longitudes aun mayores sin soporte lateral, las vigas fallarán elásticamente y quedarán en la zona 3.

⁶ Op. Cit. MC. CORMAC Jack C. 242 p.

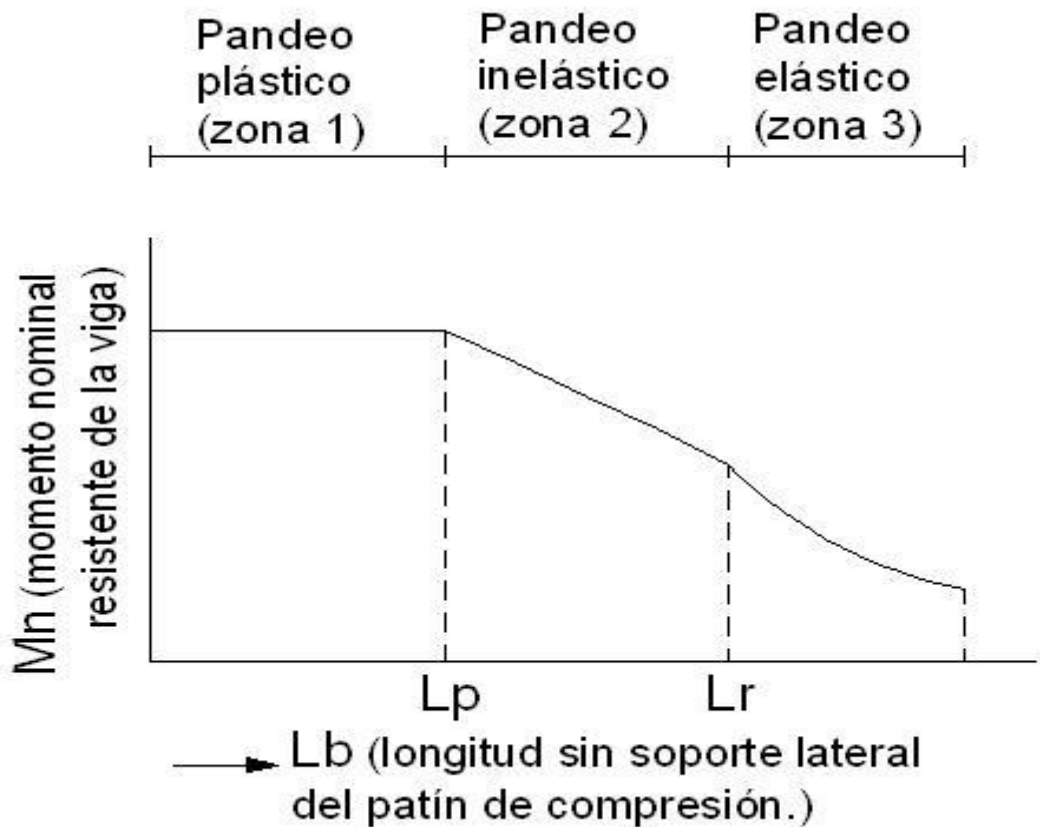


Figura 9. Zonas de pandeo de una viga.

La mayoría de las vigas fallan en la zona 1, el valor L_p depende de las dimensiones de la sección transversal de la viga y de su esfuerzo de fluencia, mientras el valor L_r se denota como la longitud máxima sin soporte lateral con la que aun se puede alcanzar F_y , este depende de las propiedades de la sección transversal de la viga, del esfuerzo de fluencia del material y de los esfuerzos residuales presentes en la viga.

3.4.5.1. Estado limite: Pandeo plástico. Zona 1. Cuando una sección de acero tiene un gran factor de forma, pueden ocurrir deformaciones inelásticas apreciable bajo cargas de servicio si la sección se diseña de manera que M_p se alcance bajo la condición de carga factorizada, por esto se limita la cantidad de tal deformación para las secciones con factores de forma mayores a 1.5, esto se logra limitando el valor de M_p a un valor máximo de $1.5M_y$.

Si la longitud sin soporte lateral L_b , del patín de compresión de un perfil compacto I o C, incluyendo los miembros híbridos, no excede a L_p , (si se usa análisis elástico), o a L_{pd} (si se usa análisis plástico), entonces la resistencia a la flexión del miembro respecto a su eje mayor puede determinarse como sigue:

Para perfiles I doblemente simétricas ó perfiles C cargados en el plano del alma.

$$M_n = M_p \leq 1.5M_y$$

$$M_u = \phi_b M_n, \quad \phi_b = 0.9$$

$$L_p = \frac{790r_y}{\sqrt{f_y}}$$

Para barras rectangulares y secciones tipo cajón

$$L_p = \frac{26000r_y}{M_p} \sqrt{J \cdot A}, \text{ donde } A = \text{area de las seccion transversal}$$

$$J = \text{constante de torsion}$$

Para perfiles I con simetría doble o sencilla y perfiles C

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)}{F_y} \right) r_y$$

Para barras rectangulares sólidas y secciones tipo cajón.

$$L_{pd} = \left(\frac{34500 + 26700 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)}{F_y} \right) r_y$$

$M_1 =$ momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

M_2

$=$ momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M_1}{M_2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M_1}{M_2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple

3.4.5.2. Estado limite: Pandeo torsional (inelástico). Zona 2⁷. Si se proporciona soporte lateral intermitente al patín de compresión de una viga tal que el miembro pueda flexionarse hasta que alcance la deformación de fluencia en algunos, pero no en todos sus elementos a compresión antes de que ocurra el pandeo lateral, tendremos un pandeo inelástico.

Solo se aplica a vigas sometidas a flexión con respecto a su eje de mayor resistencia.

$$L_p < L_b \leq L_r$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right] \leq M_p$$

$C_b =$ coeficiente de modificación del diagrama de momentos.

⁷ Op. Cit. MC. CORMAC Jack C. 252 p.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

En la figura 10, se observa como determinar los momentos en la viga para el cálculo del C_b respectivo.

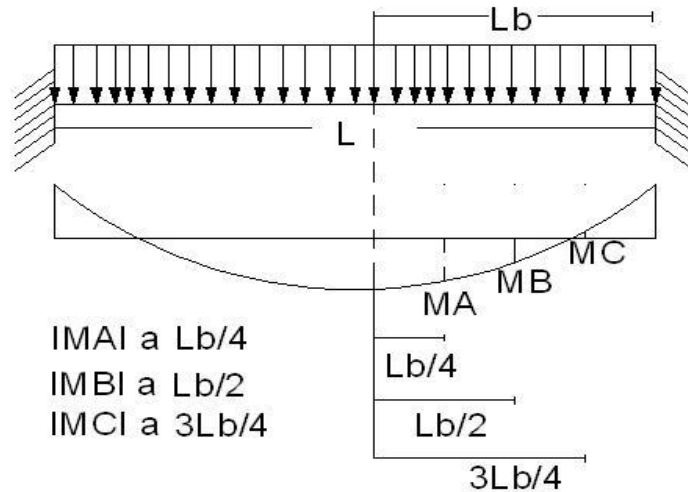


Figura 10. Diagrama de momentos para cálculo de C_b .

Al usar valores de C_b , el proyectista debe entender claramente que la capacidad del momento obtenida al multiplicar M_n por C_b , puede ser no mayor que el M_n Plástico de la zona 1, que es igual a $F_y Z$.

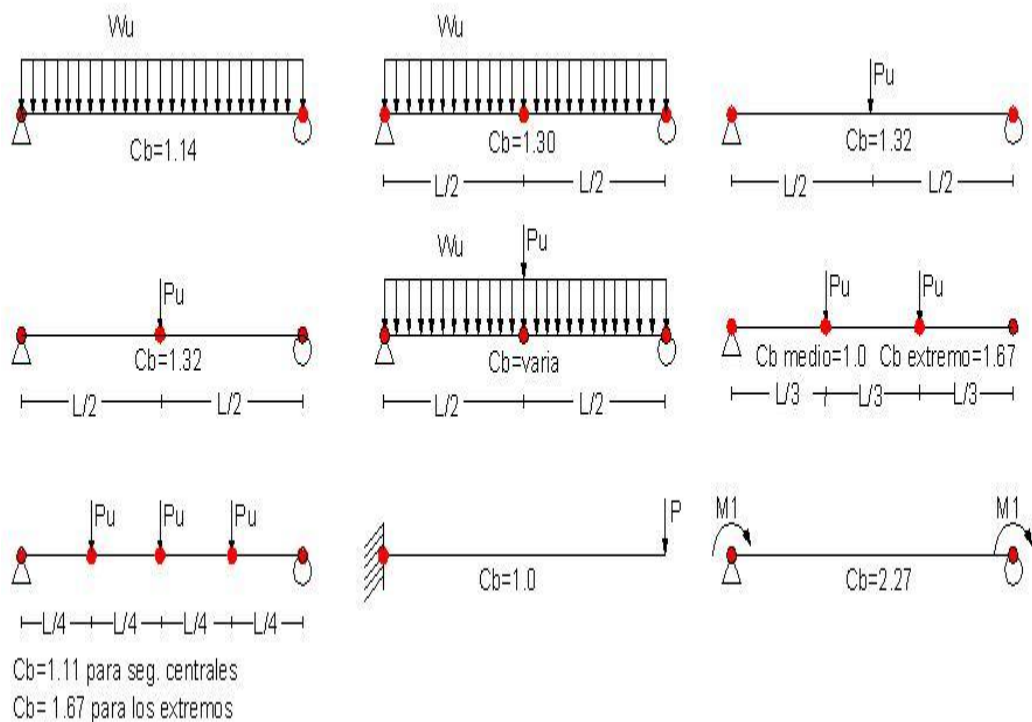


Figura 11. Valores de C_b para diferentes tipos de viga.

C_b es igual a 1.0 para voladizos donde el extremo libre no está soportado lateralmente. Algunos valores típicos de C_b calculados por la ecuación anterior se muestran en la figura 11 para varios casos de vigas y momentos.

Calculo de L_r . Para perfiles I, con simetría doble y perfiles C.

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{X_2 F L^2}} \quad M_r = S_x \cdot F_L, \quad F_L: \text{menor valor entre } (F_{yf} - F_{yr}) \text{ y } F_{yw}$$

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{E G J A}{2}} \quad F_{yr} = \text{esfuerzo residual} = 70 \text{MPa.}$$

$$X_2 = \frac{4 C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{J G} \right)^2 \quad F_{yf} = \text{esfuerzo de fluencia del patín en compresión}$$

Para barras rectangulares solidas y secciones tipo cajón.

$$L_r = \frac{400000 r_y \sqrt{J A}}{M_r}, \quad M_r = F_{yf} S_x$$

3.4.5.3. Estado limite: Pandeo elástico. Zona 3. El momento critico o momento flexotorsionante M_{cr} en una viga estará formado por la resistencia torsionante (llamada comúnmente torsión de St. Venant) mas la resistencia al alabeo de la sección. Estas se combinan como sigue:

$$M_{cr} = \sqrt{\left(\text{resistencia}_{\text{torsionante}} \right)^2 + \left(\text{resistencia}_{\text{al alabeo}} \right)^2}$$

Si la longitud sin soporte lateral del patín de compresión de una viga es mayor que L_r , ésta se pandeará elásticamente antes de que se alcance el esfuerzo de fluencia en cualquier punto de la sección.

Suponemos que $L_b > L_r$, confirmando que estamos en la zona 3

$M_n = M_{cr} \leq M_p$.

Para perfiles I doblemente simétricos y perfiles C.

$$M_{cr} = \frac{C_b \pi}{L_b} \sqrt{E I_x J G + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w} \quad \text{o} \quad M_{cr} = \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{(L_b / r_y)} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2^2}{2 (L_b / r_y)^2}}$$

Si se calculan los dos se diseña con el de mayor magnitud.

Para barras rectas solidas y secciones tipo cajón.

$$M_{cr} = \frac{400000 C_b \sqrt{J A}}{(L_b / r_y)}$$

Para secciones T y ángulos dobles.

$$M_n = M_{cr} = \frac{\pi \sqrt{E I_y J G}}{L_b} \left[B + \sqrt{1 + B^2} \right]$$

$M_n \leq 1.5 M_y$ cuando la aleta está en tracción.

$M_n \leq M_y$ cuando la aleta está en compresión.

$$B = \pm 2.3 \frac{d}{Lb} \sqrt{\frac{I_y}{J}}, (+) \text{ aleta en tracción, } (-) \text{ aleta en compresión.}$$

3.5 VIGAS METÁLICAS ENSAMBLADAS.

Cuando Para una luz dada, las cargas previstas son demasiado grandes para que las resista el mayor perfil W disponible, se puede recurrir a varias alternativas. Tal vez la solución más económica sea usar una sección W de acero de alta resistencia. Si esto no es factible podemos utilizar una de las soluciones siguientes: 1) Utilizar dos o mas perfiles W ,lado a lado, 2) una viga con cubreplacas refiriéndose a un perfil soportado por placas en sus patines., 3) una sección armada de patín ancho, 4) una sección esbelta o (trabe), 5) una armadura de acero. Cada una de estas soluciones tendrá una relación de costo diferente y será objeto del proyectista determinar cual de estas opciones es la que mejor se ajusta a las necesidades y solicitaciones requeridas en la estructura.

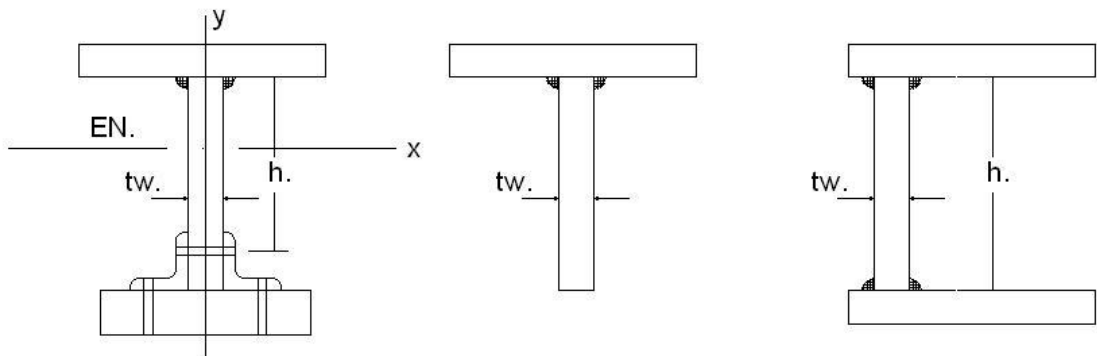


Figura 12. Vigas metálicas ensambladas.

Respecto al diseño de este tipo de vigas, podemos evidenciar que el diseño a flexión esta enfocado al dimensionamiento de las aletas de la viga, mientras el diseño a cortante esta enfocado al dimensionamiento del alma de las misma.

En el diseño de este tipo de vigas se hace necesaria la implementación de rigidizadores con el propósito de contrarrestar los efectos de pandeo que se pueden generar en este tipo de elementos.

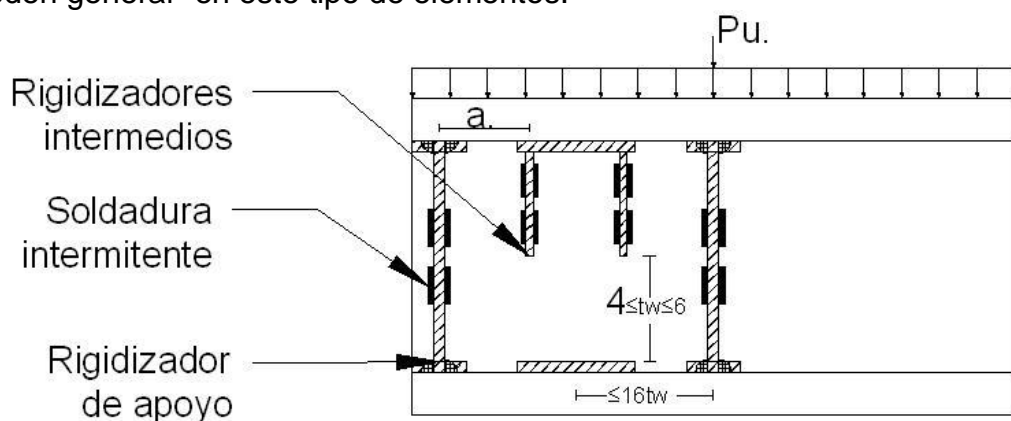


Figura 13. Tipos de Rigidizadores.

Los rigidizadores intermedios se pueden permitir siempre que estén conectados solo a la aleta en compresión.

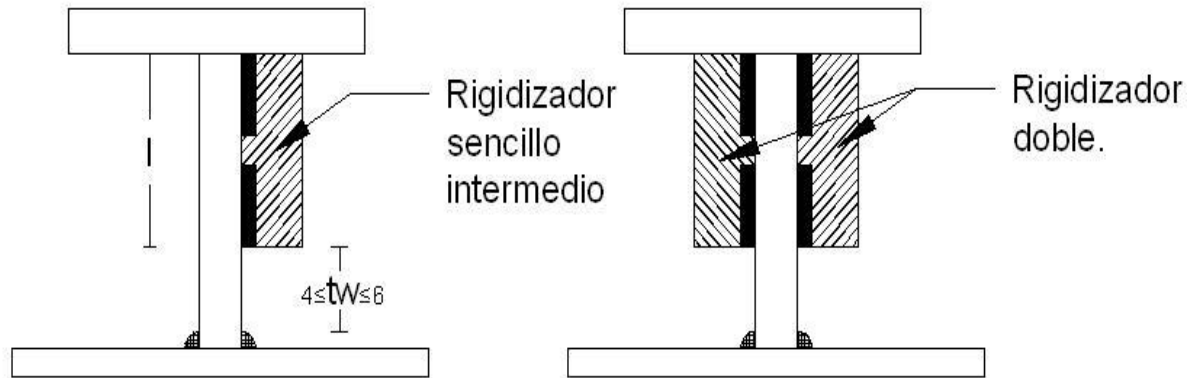


Figura 14. Vigas ensambladas de alma esbelta.

Los rigidizadores cerca de los apoyos van a ubicarse más cercanos entre sí, y su separación aumenta a medida que vamos hacia la mitad de la luz.

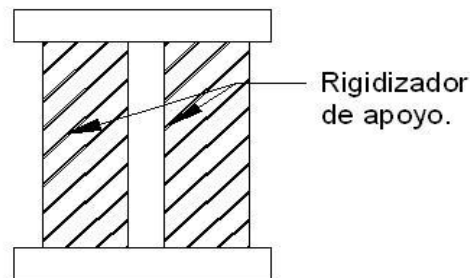


Figura 15. Rigidizador de apoyo.

3.5.1 Diseño de vigas ensambladas.

3.5.1.1 Limitaciones en el dimensionamiento.

a) cuando $\frac{a}{h} \leq 1.5$

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{5200}{\sqrt{Fyf}}, \quad Fyf = \text{esfuerzo de fluencia del patin en compresión.}$$

b) cuando $\frac{a}{h} > 1.5$

$$\frac{h}{tw} \leq \frac{96000}{\sqrt{Fyf(Fyf + 115)}}$$

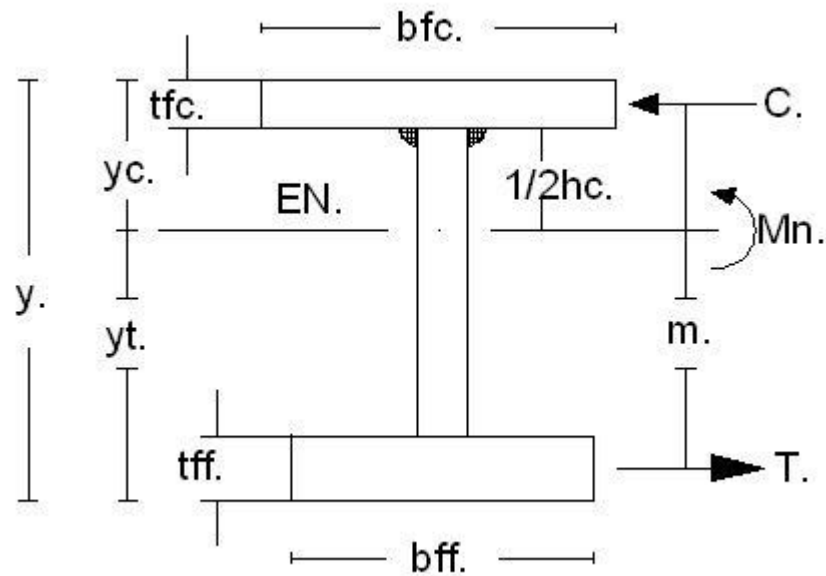


Figura 16. Dimensionamiento de aletas.

Cuando las aletas no son iguales en dimensiones hay que diseñar así:

Diseño en flexión a compresión

Diseño en flexión a tracción.

$$Mn = \vec{C} * m = \vec{T} * m$$

$$\vec{C} = fcr * Ac, \quad \vec{T} = fy * At$$

$$Fyfc \neq Fyft$$

Para secciones homogéneas, suponemos un pre dimensionamiento y no consideramos al alma de la viga.

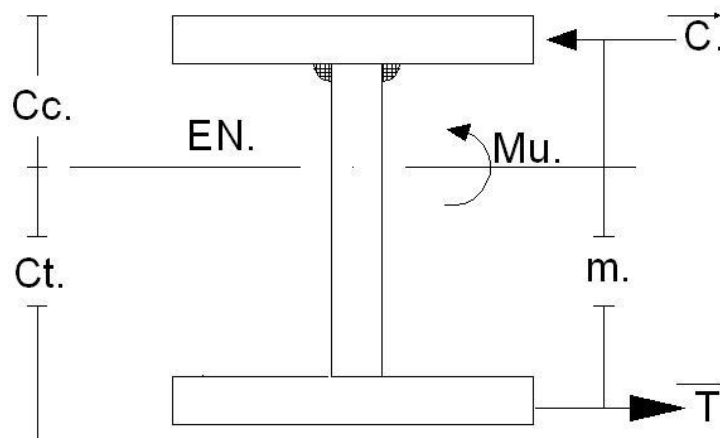


Figura 17. Secciones homogéneas.

Espesores nominales.

1/4", 5/16", 3/8", 7/16", 1/2", 5/8", 3/4", 7/8", 1"

$$M_u = \phi \vec{C} * m$$

$$\vec{C} = F_y(b_f * t_f)$$

$$S_{xc} = \frac{I_{xx}}{C_c}; S_{xt} = \frac{I_{xx}}{C_t}$$

3.5.1.2 Resistencia de diseño a flexión

$$\phi M_n, \phi = 0.9$$

3.5.1.2.1 Plastificación de la aleta en tensión.

$M_n = S_{xt} * Re * F_{yt}$, si la viga es homogénea (no híbrida), $Re = 1$

Si la viga es híbrida $Re = \frac{12 + ar(3m - m^2)}{12 + 2ar}$,

$ar = \text{area del alma} / \text{area de las aletas en compresión}$.

$$m = \frac{F_{yw}}{F_{yf}} = 1 \text{ (si la viga es homogénea)}$$

F_{yw} = esfuerzo fluencia alma, F_{yt} = esfuerzo de la aleta.

3.5.2.1.2 Pandeo de la aleta en compresión.

$$M_n = S_{xc} * R_{PG} * Re * F_{cr}$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{ar}{1200 + 300ar} * \left[\frac{hc}{t_w} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right] \leq 1.0$$

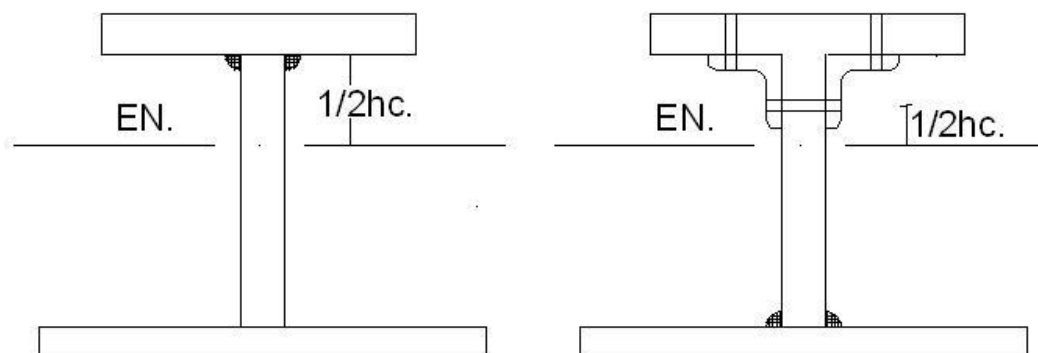


Figura 18. Descripción hc según las condiciones de la viga.

3.5.1.3 Parámetros de esbeltez.

3.5.1.3.1 Estado límite: Pandeo por torsión lateral.

$$\lambda = \frac{Lb}{rt}, \quad \lambda_p = \frac{790}{\sqrt{Fyf}}, \quad \lambda_r = \frac{1985}{\sqrt{Fyf}}, \quad C_{PG} = 1.97 * 10^6 Cb$$

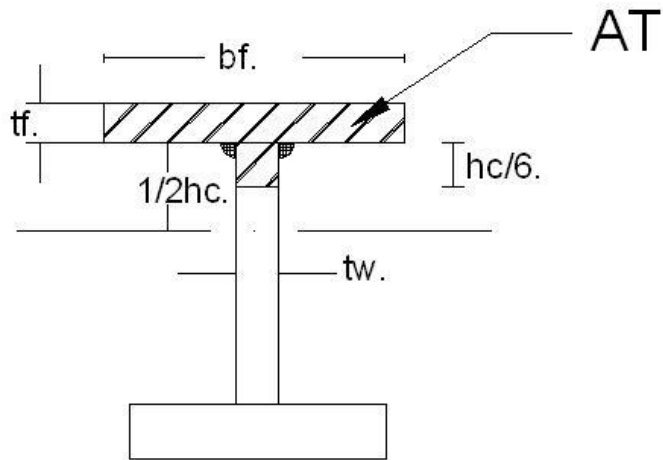


Figura 19. Descripción AT en análisis de pandeo por torsión lateral.

$$AT = bf * tf + \left(\frac{hc}{6}\right) * tw$$

$$I_{YT} = \frac{1}{12} tf * bf^3 + \frac{1}{12} \left(\frac{hc}{6}\right) * tw^2$$

$$r_T = \sqrt{\frac{I_{YT}}{AT}}$$

3.5.1.3.2 Estado limite: pandeo local dela aleta.

$$\lambda = \frac{bf}{2tf}, \quad \lambda_p = \frac{170}{\sqrt{Fyf}}, \quad \lambda_r = \frac{600}{\sqrt{\frac{Fyf}{Fc}}}, \quad C_{PG} = 180700 * kc, \quad Cb = 1$$

$$Kc = \frac{4}{\sqrt{h/tw}}, \quad 0.35 \leq Kc \leq 0.763$$

3.5.1.4 Calculo de Fcr.

Si $\lambda \leq \lambda_p$, $Fcr = Fyf$,

si $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, $Fcr = Cb * Fuf \left[1 - 0.5 \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq Fyf$

Si $\lambda > \lambda_r \rightarrow Fcr = \frac{C_{PG}}{\lambda^2}$

4. APLICACION VIGA WEB

A continuación se expone toda la información respecto a la aplicación VIGA WEB: Alcance, metodología, entorno visual, procedimientos, cálculos, ayudas e instalación de la aplicación en el sistema operativo.

4.1 DESCRIPCIÓN.

VIGA WEB, es una aplicación creada y diseñada por los estudiantes Luis Felipe Díaz Tanco y Sergio Herrera Serrano, bajo la dirección del Ingeniero Álvaro Rey Soto, para obtener el título de Ingeniero Civil de la Universidad Industrial de Santander.

4.2 ALCANCE.

VIGA WEB, es una aplicación que tiene por objeto el diseño y análisis de una viga metálica con perfiles I laminados, viga tipo cajón y viga tipo I ensamblada no híbrida, basándose en la teoría de estructuras metálicas y el método de Diseño por Factores de Carga y Resistencia (LRFD, *Load and Resistance Factors Design*), cumpliendo con la norma NSR-98 y con la opción de incorporar la norma NSR-10, la cual se espera sea publicada en el 2010, con alcance de los temas vistos en la asignatura de Diseño de Estructuras Metálicas y el procedimiento para el diseño de los tipos de viga metálica propuestos en VIGA WEB.

En VIGA WEB se permite diseñar y chequear vigas metálicas:

- a. Con perfiles I laminados disponibles en los distribuidores locales de este tipo de materiales. Estimados en aproximadamente 500 perfiles diferentes.
- b. Tipo Cajón, mediante el ingreso de los datos correspondientes a las variables propias de este tipo de vigas, permitiendo el análisis de cualquier sección de este tipo.
- c. Tipo I ensambladas no híbridas, mediante el ingreso de los datos correspondientes a las variables propias de este tipo de vigas, permitiendo el diseño y análisis de cualquier sección de estas. Téngase en cuenta que las vigas ensambladas no híbridas hacen referencia a aquellas vigas que tiene longitudes y espesores simétricos en sus patines.

La aplicación VIGA WEB puede ser ejecutada en cualquier ordenador sea de oficina o portátil, mediante la instalación de una programa previo de libre distribución más el paquete propio de la aplicación sin importar el sistema operativo de la maquina en la cual será ejecutada, adicionalmente puede ser ejecutada desde un servidor de internet, permitiendo que sea abierta por los usuarios con disponibilidad del servicio en cualquier parte del planeta, siendo uno de los objetivos de la creación de esta aplicación su publicación en el servidor Albatros de la Universidad Industrial de Santander, para que esta

aplicación pueda ser ejecutada mediante la validación de los usuarios de la pagina web de la Escuela de la Ingeniería Civil.

4.3 METODOLOGIA.

La metodología implementada es el diseño de las vigas a través de la aplicación VIGA WEB, desarrollada en HTML mediante la ejecución de un formulario en cada caso particular, el cual despliega de forma consecutiva una sección donde se ingresan datos, se muestran cálculos, se realizan chequeos previos de cada sección, se presentan graficas y definiciones necesarias para la adecuada interpretación de la información ofrecida en la sección y posteriormente valida el diseño o análisis, para dar continuidad al proceso de diseño creado bajo el algoritmo propio de cada tipo de viga. La disposición secuencial y ordenada de los formularios permite realizar el diseño o análisis de una viga metálica teniendo en cuenta cada uno de los aspectos necesarios para ello, sin dejar pasar por inadvertido ningún detalle de diseño. También esta configuración de los formularios permite regresar a secciones previas para realizar los cambios que el usuario prefiera en el diseño de la viga metálica cuando los análisis indiquen que no se cumple una verificación del procedimiento, los cambios actualizan cálculos propios de la sección donde se ha modificado algún valor, con el propósito de lograr una ejecución total de la aplicación de forma muy ágil y rápida.

4.4 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA.

Soporte mínimo para mozilla firefox o internet Explorer

4.5 ENTORNO VISUAL

Esta aplicación se desarrolla en un entorno HTML de fácil comprensión a nivel visual, contiene un menú ubicado a la izquierda que permite acceder de forma rápida a cada opción ya sea diseño o análisis de cada tipo de viga, mostrando cada formulario luego de hacer click en una opción según sea elegida cargando el formulario en la parte central de la página.

Durante el desarrollo de los procesos necesarios para el diseño de la viga, el formulario dispone de casillas para el ingreso de datos, algunas con solo ubicarse sobre ellas muestran una explicación del dato que se está ingresando a manera de tutor virtual en tiempo real, cada paso es monitoreado por el sistema y corrige al usuario, si es necesario con un mensaje de alerta que indica cual es el error o inconsistencia en los datos que el usuario ingresa a la aplicación, otra forma es el indicar que una condición necesaria para el desarrollo de los cálculos no se cumple, dejando a opción del usuario si continua o realiza cambios en los datos.

Como soporte al usuario se cuenta con un enlace dentro de la página a un manual que se encuentra debajo del menú antes nombrado. Este manual

permite al usuario tener una ayuda durante la ejecución de la aplicación que lo guíara paso a paso.

Una vez Finalizado el diseño o análisis de la viga el usuario podrá visualizar el proceso completo y los resultados obtenidos de forma organizada, simplemente desplazándose a lo largo del formulario ya que este muestra los cálculos que realiza ubicados en tablas cumpliendo el orden de desarrollo del análisis o diseño. Adicionalmente el usuario podrá iniciar un nuevo análisis o diseño, seleccionando en el menú del formulario necesario para este.

4.6 PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS.

La aplicación VIGA WEB está diseñada bajo un esquema que incluye el desarrollo de tres tipos de vigas principalmente entre ellos están las vigas tipo I con perfiles laminados, las vigas tipo cajón y finalmente las vigas tipo I ensambladas no híbridas, para cada uno de estos tipos de vigas se permite el diseño o análisis de la misma, teniendo en cuenta todos los parámetros necesarios para cada uno de estos dos procesos. La figura 20 muestra el diagrama general de la aplicación.

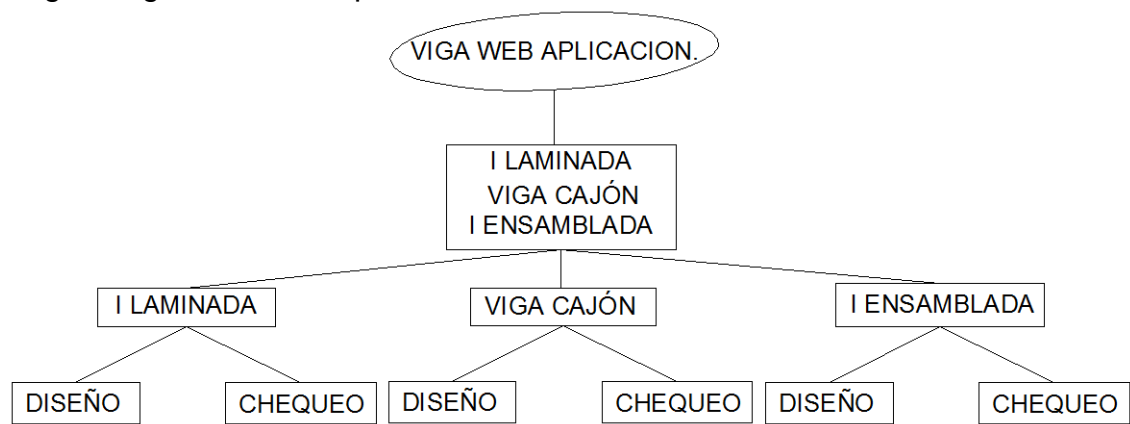


Figura 20. Diagrama general de la aplicación VIGA WEB.

Una vez cargada la aplicación en el ordenador, el usuario podrá elegir que tipo de viga desea diseñar o analizar.

Con el propósito de analizar los procedimientos y cálculos realizados por la aplicación, mostraremos un recorrido completo por cada una de las opciones de diseño y chequeo de VIGA WEB.

4.6.1 Vigas I Laminadas.

4.6.1.1 Diseño de vigas con perfiles I laminados⁸.

⁸ ASOCIACION COLOMBIANA DE INGENIERIA SISMICA. Norma colombiana de diseño y construcción sísmo resistente: Título F- estructuras Metálicas. NSR-98, Santafé de Bogotá D.C: 1998, F-30p.....63

A continuación presentamos un diagrama del algoritmo de diseño de las vigas I laminadas, junto con los cálculos y procedimientos necesarios.

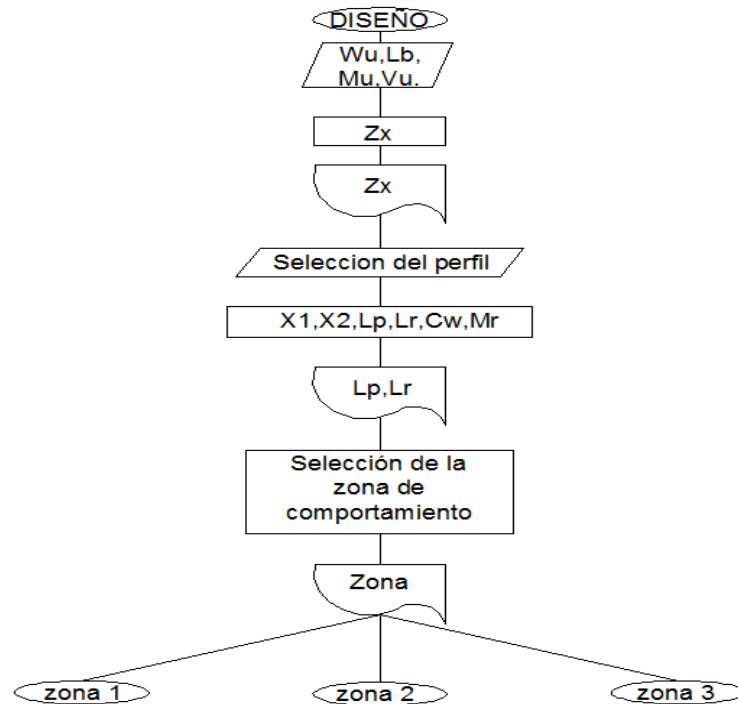


Figura 21. Diagrama general de diseño vigas I laminadas.

Lo primero que debemos tener son los datos de diseños ya calculados que son:

$$Wu, Lb, Mu, Vu.$$

Calculamos el Zx estimado de la sección necesaria para soportar las cargas de diseño.

$$Zx = \frac{Mu}{0.9 \times Fy}$$

Con este Zx entramos a las tablas de los perfiles y seleccionamos un perfil que tenga un Zx mayor al calculado anteriormente.

Teniendo el perfil ya seleccionado procedemos a estimar los valores de las zonas de diseño Lp y Lr

$$Lp = \frac{790 \times ry}{\sqrt{Fy}}$$

A = área de la sección de la Viga, mm² (Valores de la tabla del perfil)

Mu = momento ultimo calculado que debe soportar la Viga, N-mm²

ry = Radio de giro en y, mm (Valores de la tabla del perfil)

J = constante torsional para una sección, mm⁴ (Valores de la tabla del perfil)

Luego calculamos los siguientes valores, necesarios para el cálculo de Lr

$$X1 = \frac{\pi}{Sx} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$C_w = \frac{I_y \times h^2}{4}$$

$$X_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{JG} \right)^2$$

$$M_r = S_x \cdot FL$$

$$L_r = \frac{r_y X_1}{FL} \sqrt{1 + \sqrt{X_2 FL^2}}$$

E = módulo de elasticidad del acero (200000 MPa)

G = módulo cortante, (77000 MPa)

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³ (Valores de la tabla del perfil)

FL = menor valor entre (F_{yf} – F_{yr}) y F_{yw}

I_y = Inercia de la sección con respecto al eje y, mm⁴ (Valores de la tabla del perfil)

h = La altura de la viga, mm (Valores de la tabla del perfil)

Teniendo ya los valores de L_p y de L_r ya podemos saber en qué zona se encuentra el diseño de la viga.

$$L_b \leq L_p, \text{Zona 1}$$

$$L_p \leq L_b \leq L_r, \text{Zona 2}$$

$$L_b \geq L_r, \text{Zona 3}$$

4.6.1.1.1 Zona 1 vigas con perfiles I laminados.

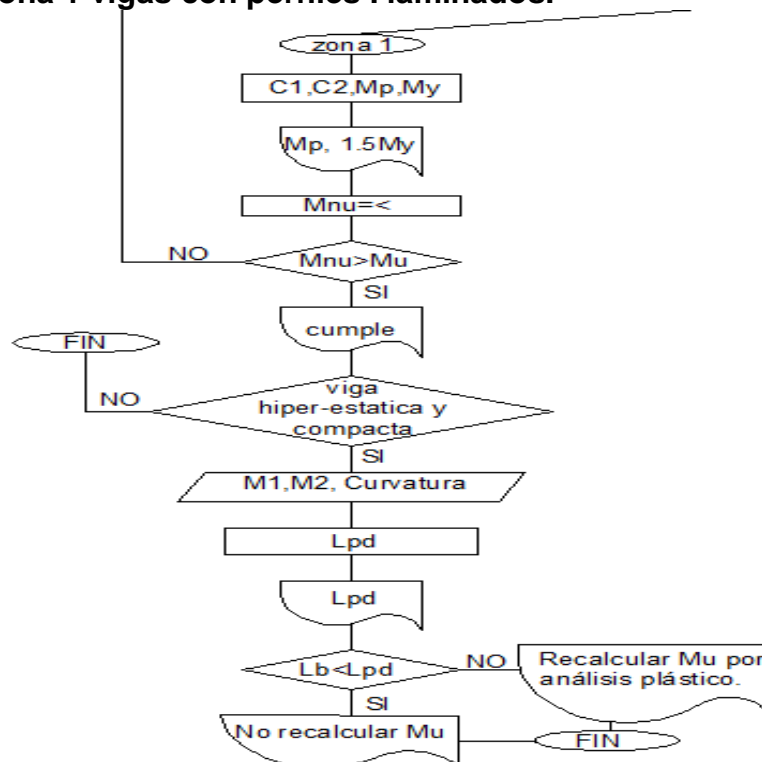


Figura 22. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 1.

Estando en esta zona 1 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C1 = T1 = Fy \times (b \times tf)$$

$$C2 = T2 = Fy \times (h/2 \times tw)$$

$$Mp = 2 \left[\left(C1 \times \left(h/2 + tf/2 \right) \right) + \left(C2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$My = Fy \times Sx$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el Mp y 1.5 My y el menor de estos dos valores es el que consideramos Mn Ultimo, y el Mn ultimo lo comparamos con el Mu de diseño si este es mayor la sección cumple en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de Lpd, para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$Lpd = \left(\frac{24800 + 15200(M1/M2)}{Fy} \right) r$$

M1 = momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

M2

= momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M1}{M2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M1}{M2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de Lpd lo comparamos con el Lb, si $Lb < Lpd$, el Mu de diseño de la viga se puede recalculer por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento Mu, en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el Mu queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.1.1.2 Zona 2. vigas con perfiles I laminados.

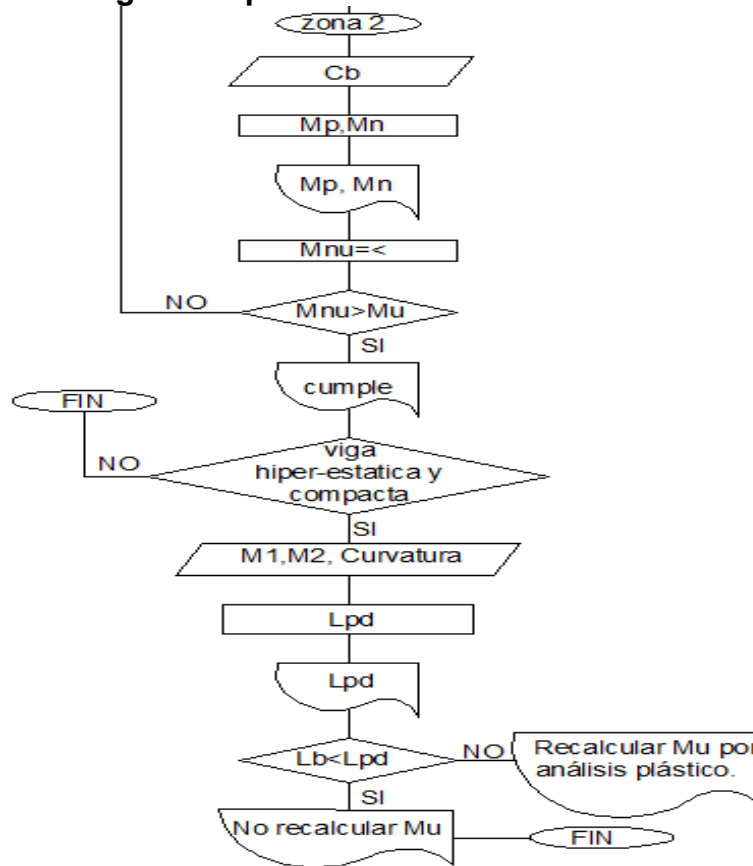


Figura 23. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 2.

Estando en esta zona 2 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$C_1 = T_1 = F_y \times (b \times t_f)$$

$$C_2 = T_2 = F_y \times (h/2 \times t_w)$$

$$M_p = 2 \left[\left(C_1 \times \left(h/2 + t_f/2 \right) \right) + \left(C_2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right] \leq M_p$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p y M_n y el menor de estos dos valores es el que consideramos M_n Ultimo, y el M_n ultimo lo comparamos con el M_u de diseño si este es mayor la sección cumple

en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de L_{pd} , para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)}{F_y} \right) r$$

M_1 = momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

M_2

= momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M_1}{M_2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M_1}{M_2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simp

le.

Ya teniendo el valor de L_{pd} lo comparamos con el L_b , si $L_b < L_{pd}$, el M_u de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento M_u , en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el M_u queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.1.1.3 Zona 3. vigas con perfiles I laminados.

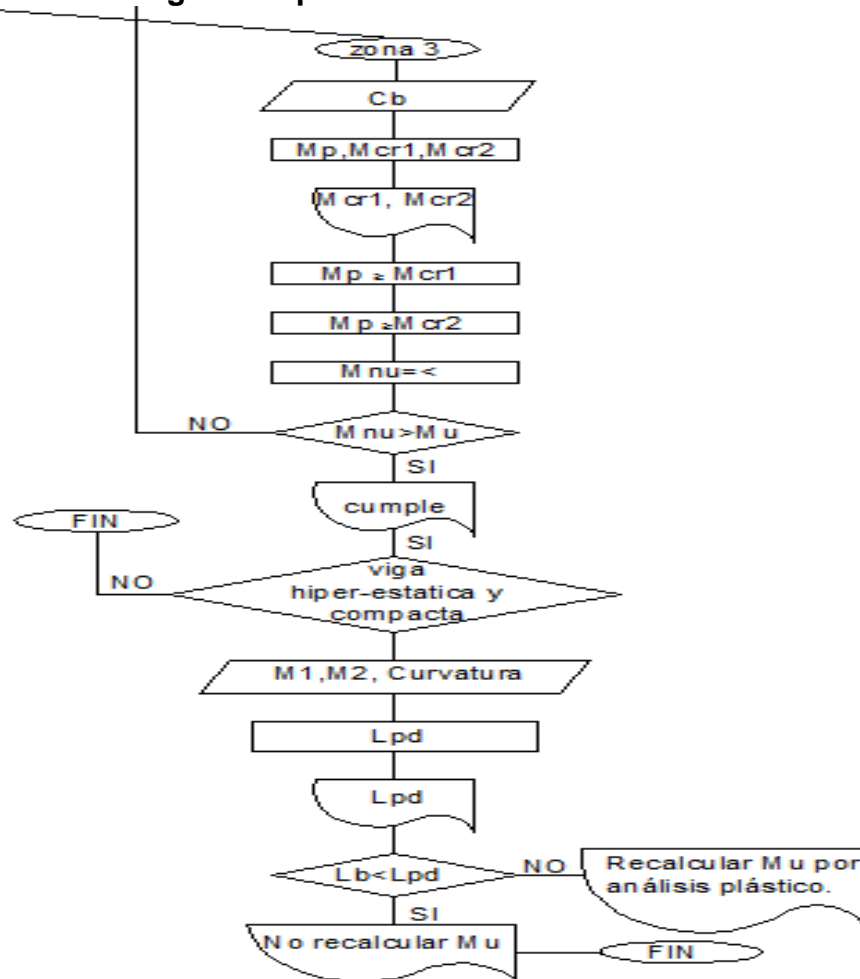


Figura 24. Diagrama de diseño vigas I laminadas zona 3.

Estando en esta zona 3 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$Cb = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$C_1 = T_1 = F_y \times (b \times t_f)$$

$$C_2 = T_2 = F_y \times (h/2 \times t_w)$$

$$M_p = 2 \left[\left(C_1 \times \left(h/2 + t_f/2 \right) \right) + \left(C_2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$M_{cr1} = \frac{C_b \pi}{L_b} \sqrt{EI_x J_G + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w}$$

$$M_{cr2} = \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{(L_b/r_y)} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2^2}{2(L_b/r_y)^2}}$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , M_{cr1} , M_{cr2} y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Ultimo, y el M_n ultimo lo comparamos con el M_u de diseño si este es mayor la sección cumple en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de L_{pd} , para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)}{F_y} \right) r$$

M_1 = momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

M_2

= momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M_1}{M_2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M_1}{M_2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de L_{pd} lo comparamos con el L_b , si $L_b < L_{pd}$, el M_u de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento M_u , en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el M_u queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.1.2 Análisis de vigas con perfiles I laminados. A continuación presentamos un diagrama del algoritmo de chequeo de las vigas I laminadas, junto con los cálculos y procedimientos necesarios.

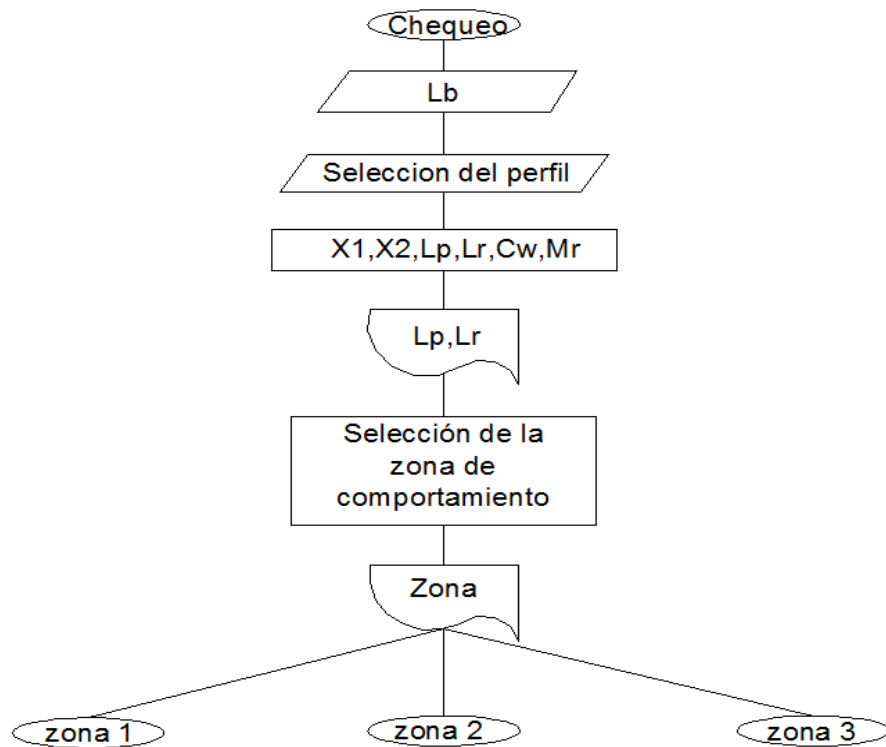


Figura 25. Diagrama general de análisis de vigas I laminadas.

Lo primero que debemos tener es el valor del L_b

Procedemos a seleccionar el perfil teniendo el perfil ya seleccionado procedemos a estimar los valores de las zonas de diseño L_p y L_r

$$L_p = \frac{790 \times r_y}{\sqrt{F_y}}$$

A = área de la sección de la Viga, mm^2 (Valores de la tabla del perfil)

M_u = momento último calculado que debe soportar la Viga, $\text{N}\cdot\text{mm}^2$

r_y = Radio de giro en y , mm (Valores de la tabla del perfil)

J = constante torsional para una sección, mm^4 (Valores de la tabla del perfil)

Luego calculamos los siguientes valores, necesarios para el cálculo de L_r

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}}$$

$$C_w = \frac{I_y \times h^2}{4}$$

$$X_2 = \frac{4C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{JG} \right)^2$$

$$M_r = S_x \cdot F_L$$

$$L_r = \frac{r_y X_1}{F_L} \sqrt{1 + \sqrt{X_2 F_L^2}}$$

E = módulo de elasticidad del acero (200000 MPa)

G = módulo cortante, (77000 MPa)

Sx = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³ (Valores de la tabla del perfil)

FL = menor valor entre (Fyf – Fyr) y Fyw

Iy = Inercia de la sección con respecto al eje y, mm⁴ (Valores de la tabla del perfil)

h = La altura de la viga, mm (Valores de la tabla del perfil)

Teniendo ya los valores de Lp y de Lr ya podemos saber en qué zona se encuentra el chequeo de la viga.

$$Lb \leq Lp, Zona 1$$

$$Lp \leq Lb \leq Lr, Zona 2$$

$$Lb \geq Lr, Zona 3$$

A continuación presentamos en diagrama de chequeo de vigas i laminadas para las tres zonas de comportamiento.

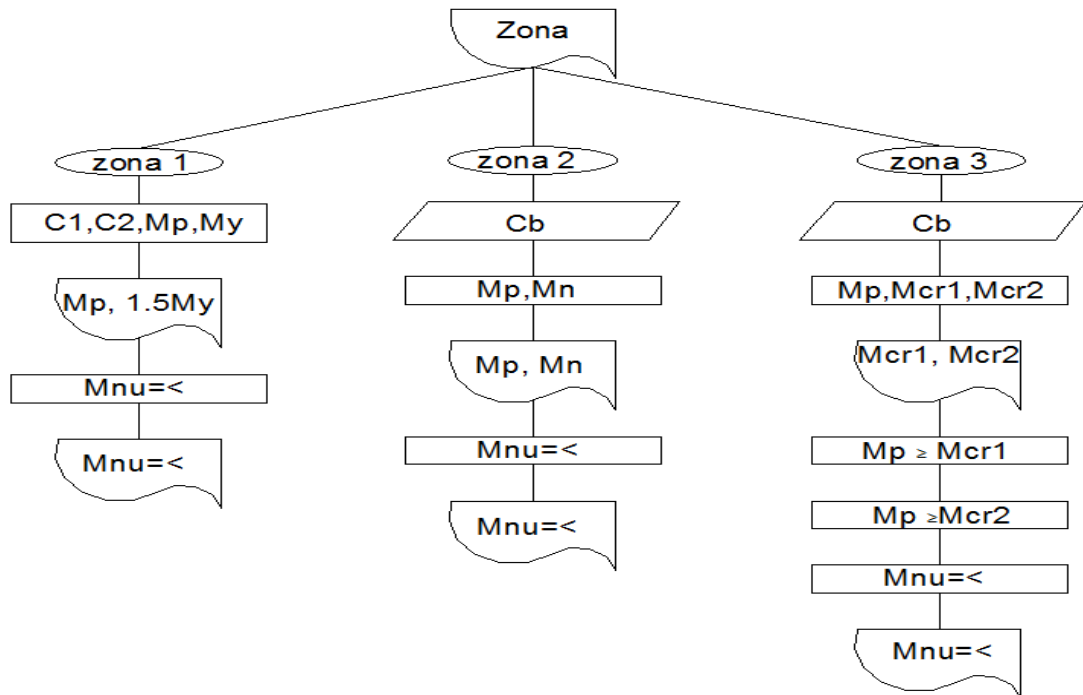


Figura 26. Diagrama de análisis de vigas I laminadas, zona 1, 2 y 3

4.6.1.2.1 Zona 1 vigas con perfiles I laminados.

Estando en esta zona 1 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C1 = T1 = Fy \times (b \times tf)$$

$$C2 = T2 = Fy \times (h/2 \times tw)$$

$$Mp = 2 \left[\left(C1 \times \left(h/2 + tf/2 \right) \right) + \left(C2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$M_y = F_y \times S_x$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p y $1.5 M_y$ y el menor de estos dos valores es el que consideramos M_n Ultimo, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.1.2.2 Zona 2 vigas con perfiles I laminados⁹.

Estando en esta zona 2 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$C_1 = T_1 = F_y \times (b \times t_f)$$

$$C_2 = T_2 = F_y \times (h/2 \times t_w)$$

$$M_p = 2 \left[\left(C_1 \times \left(h/2 + t_f/2 \right) \right) + \left(C_2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right] \leq M_p$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p y M_n y el menor de estos dos valores es el que consideramos M_n Ultimo, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.1.2.3 Zona 3 vigas con perfiles I laminados.

Estando en esta zona 3 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$C_1 = T_1 = F_y \times (b \times t_f)$$

$$C_2 = T_2 = F_y \times (h/2 \times t_w)$$

$$M_p = 2 \left[\left(C_1 \times \left(h/2 + t_f/2 \right) \right) + \left(C_2 \times \frac{h}{4} \right) \right]$$

$$M_{cr1} = \frac{C_b \pi}{L_b} \sqrt{EI_x J G + \left(\frac{\pi E}{L_b} \right)^2 I_y C_w}$$

⁹ Ibid. P, 63

$$M_{cr2} = \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{(Lb/ry)} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2^2}{2(Lb/ry)^2}}$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , M_{cr1} , M_{cr2} y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Último, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.2 Viga cajón

4.6.2.1 Diseño de vigas cajón¹⁰.

Lo primero que debemos tener son los datos de diseños ya calculados que son:

W_u , L_b , M_u , V_u .

Después decidimos cuáles son los valores de la sección cajón:

b , d , t_w , t_f

Luego procedemos hacer los cálculos de los parámetros de la sección.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times b \times d^3 \right) - \left[\frac{1}{12} \times (b - (2 \times t_w)) \times (d - (2 \times t_f))^3 \right]$$

$$y = \frac{W_u \times L_b^4}{384 \times E \times I_x}$$

$$y_{Max} = \frac{L_b}{380}$$

A continuación presentamos el diagrama del algoritmo de diseño de las vigas cajón.

¹⁰ Ibid, p. 72 – 74

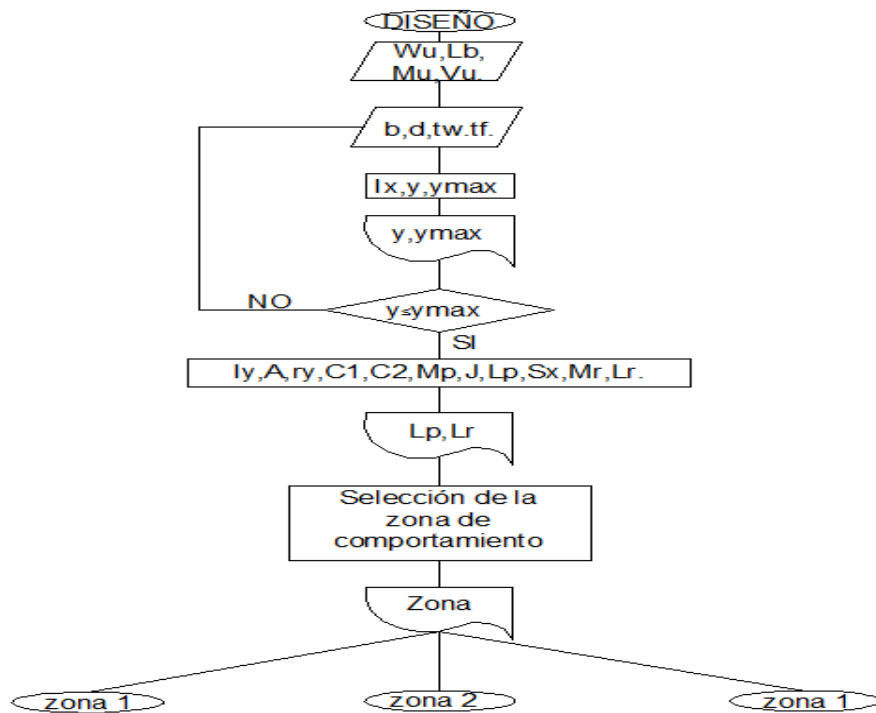


Figura 27. Diagrama general de diseño viga cajón.

Nos cercioramos que el “y” que es la deflexión de la viga no sea superior al “y Max” admisible si esto sucede procedemos a cambiar la sección de la viga pero si cumple este parámetro seguimos con los cálculos de la viga.

$$I_y = \left(\frac{1}{12} \times d \times b^3 \right) - \left[\frac{1}{12} \times (d - (2 \times tf)) \times (b - (2 \times tw))^3 \right]$$

$$A = (2 \times d \times tw) + (2 \times tf \times (b - (2 \times tw)))$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$C1 = T1 = F_y \times (b \times tf)$$

$$C2 = T2 = F_y \times \left(\frac{d - (2 \times tf)}{2} \right) \times tw$$

$$M_p = 2 \left[\left(C1 \times \left(\frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \right) \right) + \left(C2 \times \left(\frac{d - (2 \times tf)}{4} \right) \right) \right]$$

$$J = \frac{2 \times b^2 \times d^2}{\frac{b}{tf} + \frac{d}{tw}}$$

$$L_p = \frac{26000 r_y}{M_u} \sqrt{J \cdot A}$$

$$S_x = \frac{I_x}{d/2}$$

$$M_r = S_x \cdot F_L$$

$$L_p = \frac{400000 \times r_y}{M_r} \sqrt{J \cdot A}$$

I_y = Inercia de la sección con respecto al eje y, mm⁴

A = área de la sección de la Viga, mm²

M_u = momento ultimo calculado que debe soportar la Viga, N-mm²

r_y = Radio de giro en y, mm

J = constante torsional para una sección, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

F_L = menor valor entre ($F_{yf} - F_{yr}$) y F_{yw}

Teniendo ya los valores de L_p y de L_r ya podemos saber en qué zona se encuentra el diseño de la viga.

$$L_b \leq L_p, \text{Zona 1}$$

$$L_p \leq L_b \leq L_r, \text{Zona 2}$$

$$L_b \geq L_r, \text{Zona 3}$$

4.6.2.1.1 Zona 1 viga cajón.

Estando en esta zona 1 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$\phi M_p = 0.9 M_p$$

$$1.5 M_y = 1.5 \times F_y \times S_x$$

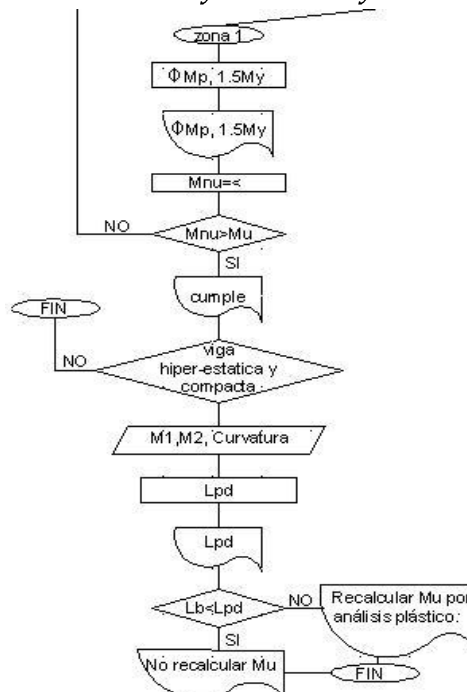


Figura 28. Diagrama de diseño viga cajón zona 1.

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el ϕM_p y $1.5 M_y$ y el menor de estos dos valores es el que consideramos M_n Ultimo, y el M_n

ultimo lo comparamos con el Mu de diseño si este es mayor la sección cumple en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de Lpd, para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M1}{M2} \right)}{F_y} \right) r_y$$

M1 = momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

M2

= momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M1}{M2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M1}{M2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de Lpd lo comparamos con el Lb, si $L_b < L_{pd}$, el Mu de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento Mu, en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el Mu queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.2.1.2 Zona 2 viga cajón.

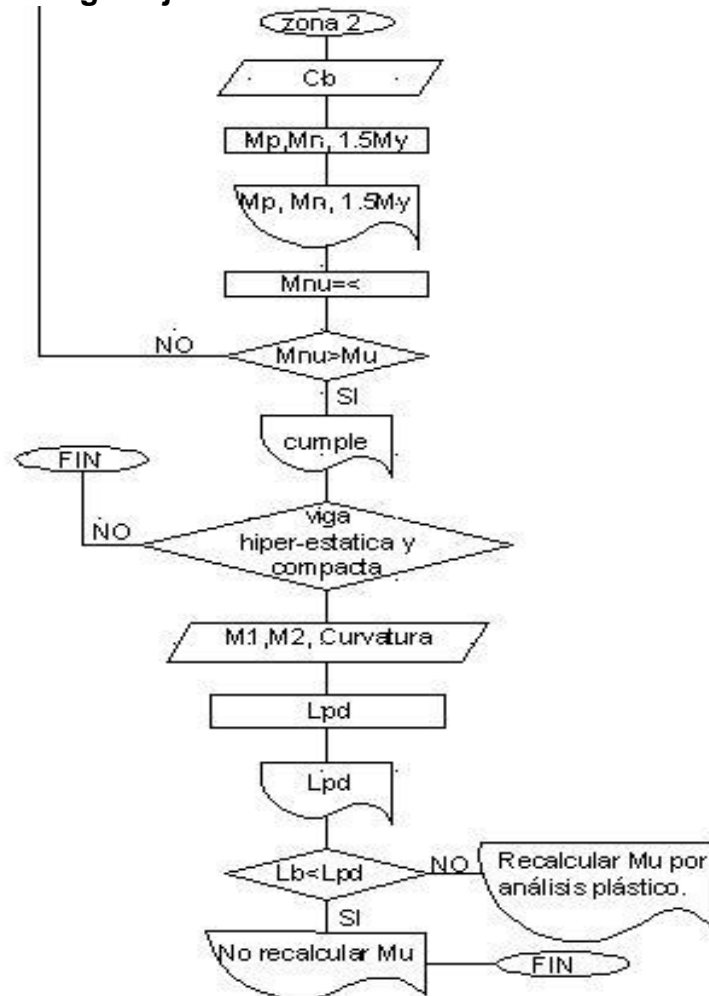


Figura 29. Diagrama de diseño viga cajón zona 2.

Estando en esta zona 2 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$1.5 M_y = 1.5 \times F_y \times S_x$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right] \leq M_p$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , $1.5 M_y$, M_n y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Ultimo, y el M_n ultimo lo comparamos con el M_u de diseño si este es mayor la sección cumple en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de L_{pd} , para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M_1}{M_2} \right)}{F_y} \right) r_y$$

M_1 = momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga
 M_2

= momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga

$\frac{M_1}{M_2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M_1}{M_2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de L_{pd} lo comparamos con el L_b , si $L_b < L_{pd}$, el M_u de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento M_u , en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el M_u queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.2.1.3 Zona 3 viga cajón.

Estando en esta zona 3 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

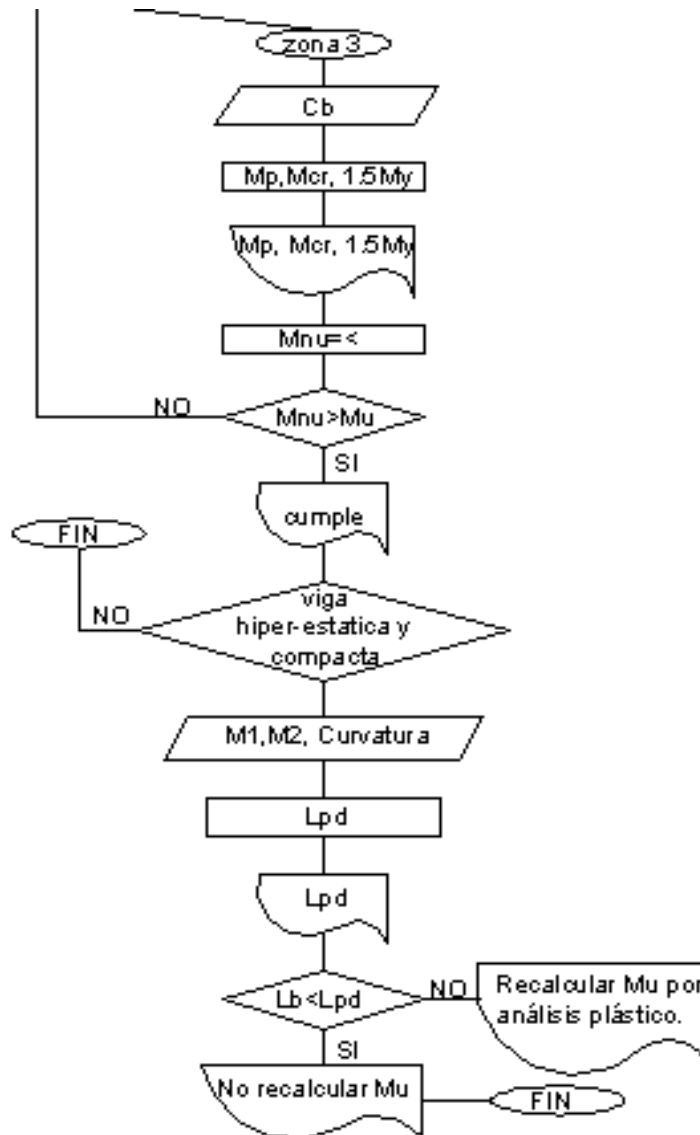


Figura 30. Diagrama de diseño viga cajon zona 3

$$1.5 My = 1.5 \times Fy \times Sx$$

$$Mcr = 400000 \times Cb \times \left[\frac{\sqrt{J \times A}}{Lb/ry} \right]$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , $1.5 My$, M_{cr} y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Ultimo, y el M_n ultimo lo comparamos con el M_u de diseño si este es mayor la sección cumple en el caso contrario se debe volver a seleccionar otro perfil y volvemos a efectuar todo el proceso de cálculo.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de L_{pd} , para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este cheque no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M1}{M2} \right)}{F_y} \right) r_y$$

$M1$ = momento menor en los extremos de la longitud no soportada de la viga

$M2$

= momento mayor en los extremos de la longitud no soportada de la viga

$\frac{M1}{M2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M1}{M2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de L_{pd} lo comparamos con el L_b , si $L_b < L_{pd}$, el M_u de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento M_u , en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el M_u queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.2.2 Análisis de vigas cajón.

A continuación presentamos el algoritmo de chequeo de la viga cajón.

Lo primero que debemos tener es el valor del L_b

Después decidimos cuáles son los valores de la sección cajón:

b , d , t_w , t_f

Luego procedemos hacer los cálculos de los parámetros de la sección.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times b \times d^3 \right) - \left[\frac{1}{12} \times (b - (2 \times t_w)) \times (d - (2 \times t_f))^3 \right]$$

$$y_{Max} = \frac{L_b}{380}$$

El valor del “ y_{Max} ” es un parámetro que toca tener pendiente para cuando ya se tenga el valor del “ y ” de deflexión de la viga para revisar que no sea mayor a este valor.

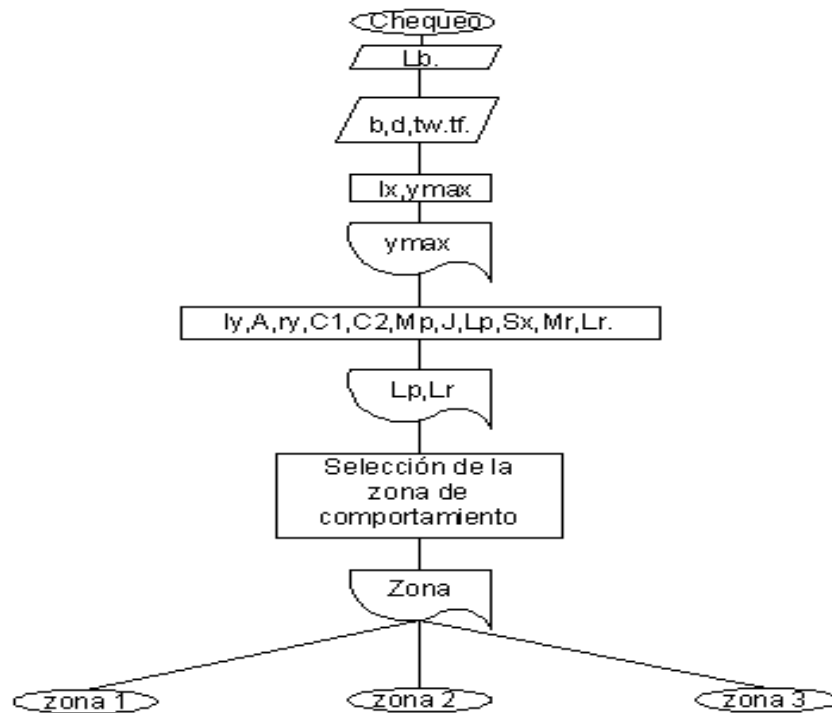


Figura 31. Diagrama general de análisis viga cajón.

$$I_y = \left(\frac{1}{12} \times d \times b^3 \right) - \left[\frac{1}{12} \times (d - (2 \times tf)) \times (b - (2 \times tw))^3 \right]$$

$$A = (2 \times d \times tw) + (2 \times tf \times (b - (2 \times tw)))$$

$$r_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}}$$

$$C1 = T1 = Fy \times (b \times tf)$$

$$C2 = T2 = Fy \times \left(\frac{d - (2 \times tf)}{2} \times tw \right)$$

$$M_p = 2 \left[\left(C1 \times \left(\frac{d}{2} + \frac{tf}{2} \right) \right) + \left(C2 \times \left(\frac{d - (2 \times tf)}{4} \right) \right) \right]$$

$$J = \frac{2 \times b^2 \times d^2}{\frac{b}{tf} + \frac{d}{tw}}$$

$$L_p = \frac{26000 r_y}{M_u} \sqrt{J \cdot A}$$

$$S_x = \frac{I_x}{d/2}$$

$$M_r = S_x \cdot F_L$$

$$L_p = \frac{400000 \times r_y}{M_r} \sqrt{J \cdot A}$$

I_y = Inercia de la sección con respecto al eje y, mm⁴

A = área de la sección de la Viga, mm²

M_u = momento ultimo calculado que debe soportar la Viga, N-mm²

r_y = Radio de giro en y, mm

J = constante torsional para una sección, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

FL = menor valor entre ($F_{yf} - F_{yr}$) y F_{yw}

Teniendo ya los valores de L_p y de L_r ya podemos saber en qué zona se encuentra el diseño de la viga.

$$L_b \leq L_p, \text{Zona 1}$$

$$L_p \leq L_b \leq L_r, \text{Zona 2}$$

$$L_b \geq L_r, \text{Zona 3}$$

A continuación presentamos en diagrama de análisis de viga cajón para las tres zonas de comportamiento.

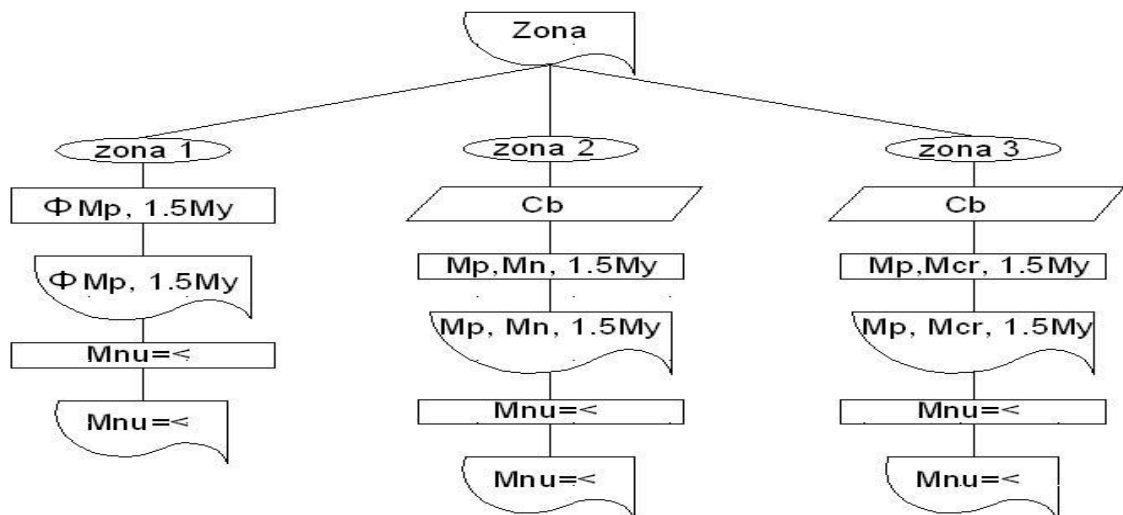


Figura 32. Diagrama de chequeo viga cajón zonas 1,2 y 3.

4.6.2.2.1 Zona 1 viga cajón.

Estando en esta zona 1 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$\phi M_p = 0.9 M_p$$

$$1.5 M_y = 1.5 \times F_y \times S_x$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el ϕM_p y $1.5 M_y$ y el menor de estos dos valores es el que consideramos M_n Ultimo, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.2.2.2 Zona 2 viga cajón.

Estando en esta zona 2 procedemos a calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$1.5 M_y = 1.5 \times F_y \times S_x$$

$$M_n = C_b \left[M_p - (M_p - M_r) \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \right] \leq M_p$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , $1.5 M_y$, M_n y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Ultimo, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.2.2.3 Zona 3 viga cajón.

Estando en esta zona 3 procedemos ha calcular los siguientes valores:

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

$$1.5 M_y = 1.5 \times F_y \times S_x$$

$$M_{cr} = 400000 \times C_b \times \left[\frac{\sqrt{J \times A}}{L_b/r_y} \right]$$

Cuando ya tenemos estos valores hacemos un comparativo entre el M_p , $1.5 M_y$, M_{cr} y el menor de estos tres valores es el que consideramos M_n Ultimo, este ya es el valor máximo que resiste la viga seleccionada.

4.6.3 vigas I ensambladas.

4.6.3.1 Diseño de vigas I ensambladas.

A continuación presentamos el algoritmo de diseño de las vigas I ensamblada.

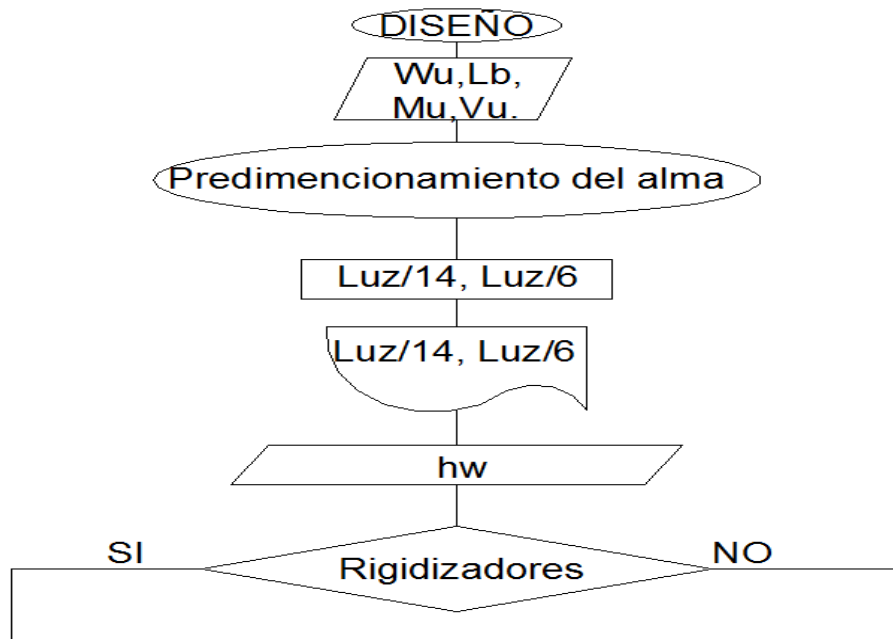


Figura 33. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte a.

Lo primero que debemos tener son los datos de diseños ya calculados que son:

W_u, L_b, M_u, V_u .

4.6.3.1.1 Predimensionamiento del alma

Tenemos que efectuar un pre dimensionamiento de la viga que deseamos diseñar mediante unos parámetros de diseño, comenzamos con el pre dimensionamiento del alma.

$$\frac{L_b}{14} \leq hw \leq \frac{L_b}{6}$$

Se debe efectuar el cálculo de los dos parámetros en los que debe estar la longitud del alma y en base a esos dos datos escoge a gusto el diseñador el valor de hw .

Ahora debemos seleccionar el espesor del alma para esto tenemos dos opciones que es un alma con rigidizadores o sin ellos.

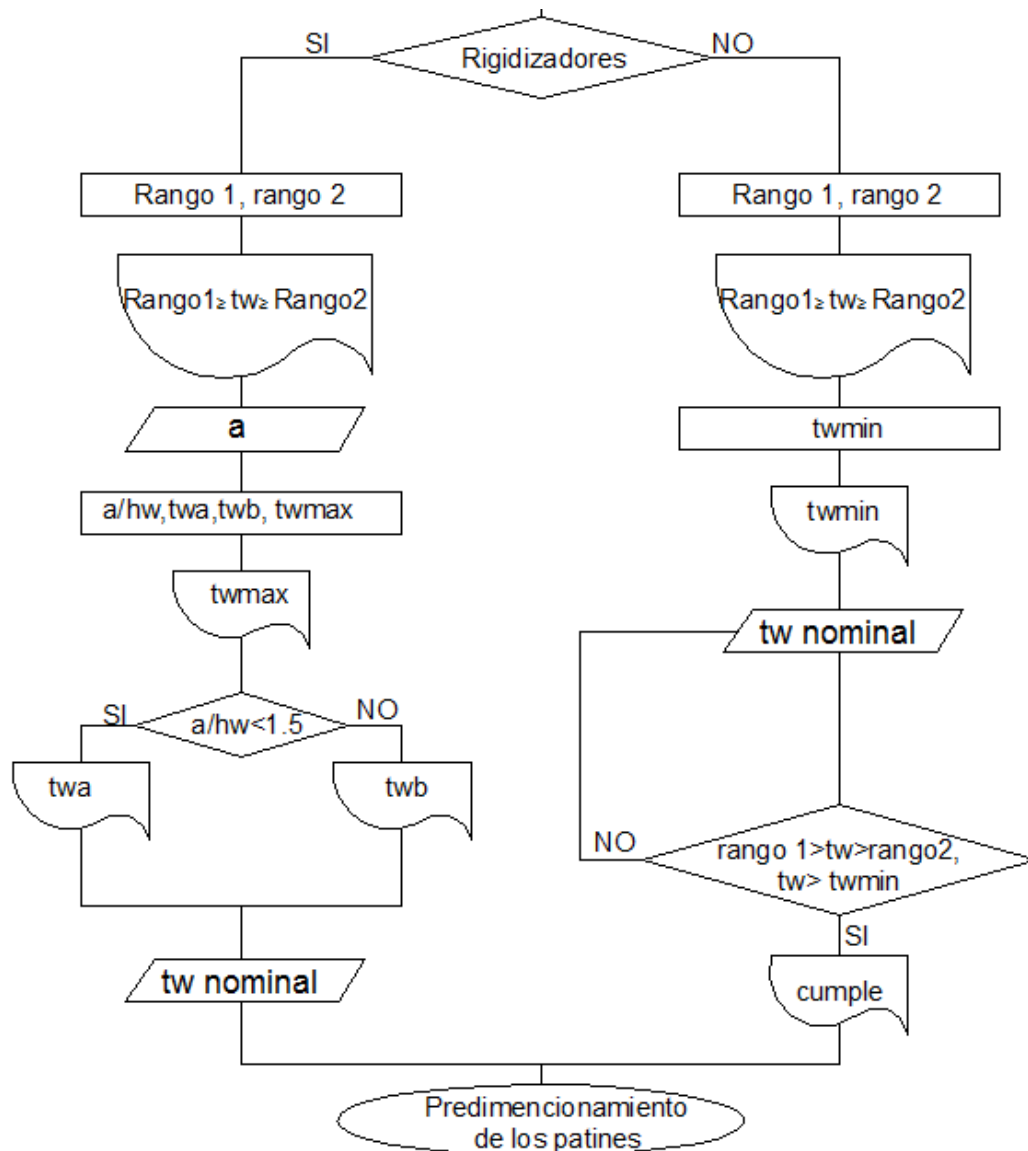


Figura 34. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte b.

4.6.3.1.1.1. Con rigidizadores

Ya sabiendo que deseamos que el alma tenga rigidizadores procedemos a calcular unos parámetros para el espesor del alma.

$$\frac{1700}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{hw}{tw} \leq \frac{2550}{\sqrt{F_y}}$$

Luego procedemos a escoger un valor de “a” este valor es la distancia que hay entre rigidizadores en mm, este valor es a criterio del diseñador, después de esta escogencia seguimos con los chequeos.

$$\frac{a}{hw} > 1.5 ; \frac{hw}{tw} \leq \frac{96000}{\sqrt{(F_y \times (F_y + 115))}}$$

$$\frac{a}{hw} \leq 1.5; \frac{hw}{tw} \leq \frac{5200}{\sqrt{Fy}}$$

Para que podamos decir que necesitamos rigidizadores el alma debe ser esbelta y por ende debe cumplir el siguiente chequeo.

$$\frac{hw}{tw} > 260$$

Ya con estos valores el diseñador puede escoger el espesor del alma tw , teniendo en cuenta que no puede superar el valor para que sea esbelta y debe ser mayor al que le da por el de “ a/hw ”, y la primera comprobación es una recomendación, que dado el caso tw no esté entre esos valores no tiene ningún inconveniente pero si pueden estar es lo ideal.

4.6.3.1.1.1 Por la acción de campo no tensionado¹¹

Esto se hace para calcular que la distancia “ a ” seleccionada cumple con el cortante de diseño, primero que todo calculamos unos parámetros de cálculo.

$$kv = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{hw}\right)^2}$$

Pero dado el caso:

$$kv = 5, \quad \text{si } \frac{a}{hw} > 3 \text{ ó } \frac{a}{hw} > \left(\frac{260 \times tw}{hw}\right)^2$$

kv = Coeficiente de pandeo de la platina del alma.

Luego procedemos a calcular el cortante que resiste a la distancia “ a ” seleccionada mediante los parámetros que vienen a continuación.

$$\text{si } \frac{hw}{tw} \leq 490 \times \sqrt{\frac{kv}{Fyw}}; \text{ entonces; } Vn = 0.6 \times Fyw \times Aw$$

$$\text{si } 490 \times \sqrt{\frac{kv}{Fyw}} \leq \frac{hw}{tw} \leq 614 \times \sqrt{\frac{kv}{Fyw}}; \text{ entonces,}$$

$$Vn = \frac{0.6 \times Fyw \times Aw \times (490 \times \sqrt{(kv/Fyw)})}{\frac{hw}{tw}}$$

$$\text{si } \frac{hw}{tw} \geq 614 \times \sqrt{\frac{kv}{Fyw}}; \text{ entonces, } Vn = \frac{Aw \times (182000 \times kv)}{\left(\frac{hw}{tw}\right)^2}$$

¹¹ Ibid, p. 83

$$\phi V_n = 0.9 V_n$$

F_{yw} = Esfuerzo de fluencia especificado del alma, MPa

A_w = Área del alma, mm²

Ya teniendo el ϕV_n podemos compararlo con el V_u de la viga, si el ϕV_n es mayor que el V_u , quiere decir que el "a" que escogimos de espaciamiento para los rigidizadores de la viga esta correcto de caso contrario tenemos que cambiar el "a".

4.6.3.1.1.2 Por la acción de campo tensionado¹²

Esto se hace para calcular la distancia " a_1 " de los rigidizadores del resto de la viga entonces seleccionamos un " a_1 " a criterio del diseñador al que cree que deberían estar los rigidizadores y el V_u de dicha distancia seleccionada, y luego procedemos a calcular los siguientes parámetros.

$$k_v = 5 + 5/(a_1 / h_w)^2$$

Luego procedemos a calcular el V_n que puede soportar la sección.

$$\frac{h_w}{t_w} < 490 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}; V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw}$$

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 490 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}; V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw} \times \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \times \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h_w}\right)^2}} \right)$$

C_v = relación del esfuerzo "crítico" del alma según la teoría de pandeo lineal y el esfuerzo de fluencia por cortante del material del alma.

k_v = Coeficiente de pandeo de la platina del alma.

F_{yw} = Esfuerzo de fluencia especificado del alma, MPa

A_w = Área del alma, mm²

Para los tableros extremos de vigas ensambladas no híbridas no se permite la acción de campo de tensionando cuando se presenta esta condición.

$$k_v = 5, \quad \text{si } \frac{a_1}{h_w} > 3 \quad \text{ó} \quad \frac{a_1}{h_w} > \left(\frac{260 \times t_w}{h_w} \right)^2$$

En dado caso el V_n es:

¹² Ibid, p. 84.

$$V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw} \times C_v$$

Ahora estimamos el valor de C_v :

$$\frac{hw}{tw} \geq 490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; C_v = kv$$

$$490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}} \leq \frac{hw}{tw} \leq 615 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; C_v = \frac{490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}}{\frac{hw}{tw}}$$

$$\frac{hw}{tw} \geq 615 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; C_v = \frac{304000 \times kv}{\left(\frac{hw}{tw}\right)^2 \times F_{yw}}$$

Ya teniendo todos los cálculos hechos y el valor del V_n hacemos.

$$\phi V_n = 0.9 V_n$$

Este ϕV_n lo comparamos con el V_u que se cálculo de la sección de la viga a la distancia de " a_1 ", si el ϕV_n es mayor que le V_u el valor de " a_1 " cumple.

4.6.3.1.1.2. Sin rigidizadores

Ya sabiendo que deseamos que el alma no tenga rigidizadores procedemos a calcular unos parámetros para el espesor del alma.

$$\frac{1700}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{hw}{tw} \leq \frac{2550}{\sqrt{F_y}}$$

Para que podamos decir que no necesitamos rigidizadores el alma debe ser no esbelta y por ende debe cumplir el siguiente chequeo.

$$\frac{hw}{tw} \leq 260$$

Ya con estos valores el diseñador puede escoger el espesor del alma tw , teniendo en cuenta que debe superar el valor del último chequeo para que no sea esbelta, y la primera comprobación es una recomendación, que dado el caso tw no esté entre eso valores no tiene ningún inconveniente pero si pueden estar es lo ideal.

4.6.3.1.2. Predimensionamiento de los patines

Ahora seguimos con el pre dimensionamiento de los patines para este hacemos un estimado del área necesaria para resistir el momento de diseño por la formula siguiente.

$$A_f = \frac{M_u}{0.9 \times F_y \times h_w}$$

Teniendo este valor podemos decir que el valor de A_f es igual a:

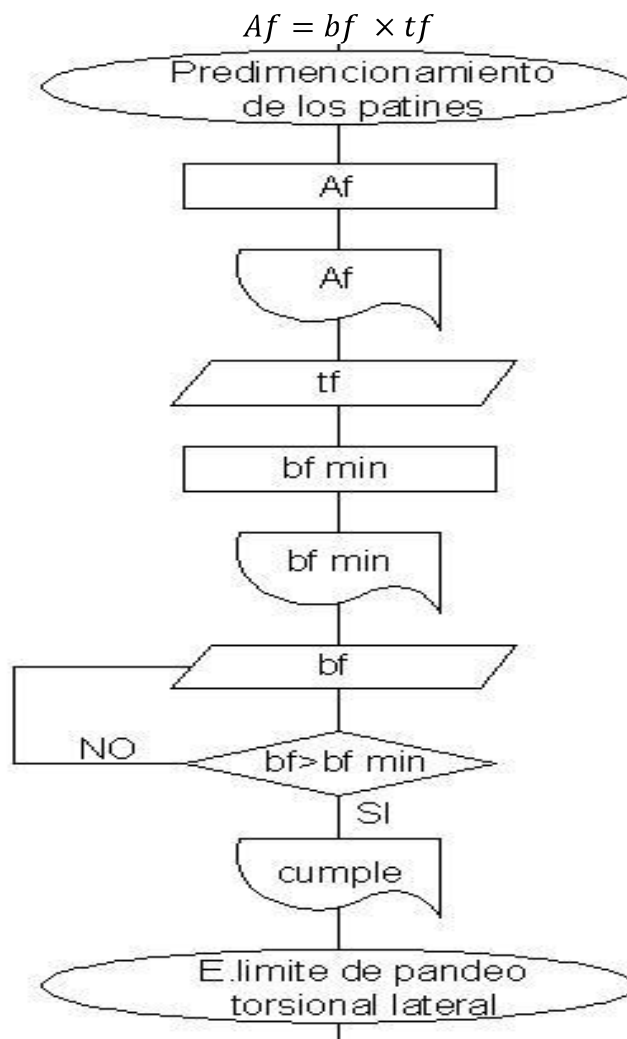


Figura 35. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte c.

Asumimos un valor de t_f a criterio del diseñador en valores nominales, es decir espesores de placas que se puedan conseguir en el mercado, ya podemos estimar el valor del b_f .

$$b_f = \frac{A_f}{t_f}$$

Con esta operación nos da un valor estimado del b_f , pero el diseñador puede escoger el que desee, por supuesto que se a mayor al calculado anteriormente.

Ya teniendo el pre dimensionamiento de la viga es decir los valores de hw, bf, tw, tf podemos proseguir con los estados límites para estimar los momentos nominales de la viga.

4.6.3.1.3. Estado límite de pandeo torsional

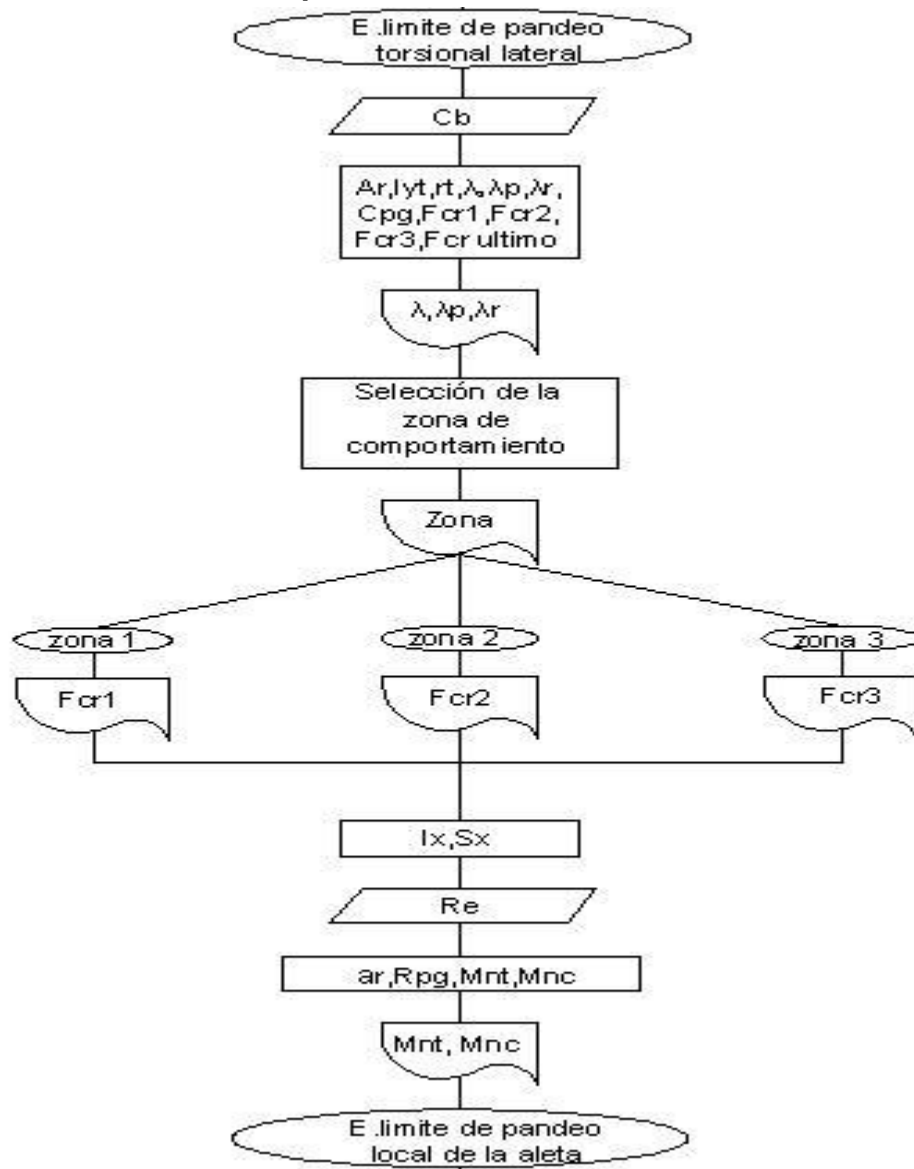


Figura 36. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte d.

Para este estado límite comenzamos con los siguientes cálculos de la sección.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

$$A_r = \left(\frac{hw}{6} \times tw \right) + (bf \times tf)$$

$$I_{yt} = \frac{1}{12} \times bf \times tf^3$$

$$r_t = \sqrt{\frac{I_{yt}}{A_r}}$$

$$C_{PG} = 1970000 \times C_b$$

$$\lambda = \frac{Lb}{r_t}$$

$$\lambda_p = \frac{790}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_r = \frac{1985}{\sqrt{F_y}}$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

A_r = Área de la aleta mas y tercio del alma a partir del eje neutro, mm²

I_{yt} = Inercia de la aleta tensión, mm⁴

r_t = Radio de giro en el eje "y" con respecto a la sección en tensión, mm

C_{PG} = Coeficiente de viga ensamblada de alma llena

λ = Parámetro de esbeltez de la sección

λ_p = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_r = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

Ya teniendo estos valores podemos saber qué tipo de comportamiento tiene la sección y así determinar qué tipo F_{cr} podemos utilizar para el cálculo del momento.

$$\lambda \leq \lambda_p ; F_{cr} = F_y$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r ; F_{cr} = (F_y \times C_b) \times \left(1 - \left(0.5 \times \left[\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right) \right) \leq F_y$$

$$\lambda \geq \lambda_r ; F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\lambda^2}$$

Teniendo en cuenta en que zona quedo la esbeltez de la sección escogemos el F_{cr} y proseguimos a calcular los siguientes datos.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times t_x \times h w^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times b f \times t f^2) + \{ b f \times t f \times (t f/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_x}$$

$$C_x = \frac{h}{2} + t f$$

$$a r = \frac{h w \times t w}{b f \times t f} \leq 1$$

$$R_e = \frac{(12 + a r) \times (3 m - m^3)}{12 + (2 \times a r)} \leq 1$$

$$R_{PG} = 1 - \left[\left(\frac{a r}{1200 + (300 \times a r)} \right) \times \left(\frac{h w}{t w} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right] \leq 1$$

$$M_{nt} = F_y \times S_x \times R_e$$

$$M_{nc} = S_x \times R_{PG} \times R_e \times F_{cr}$$

I_x = Inercia de la sección con respecto al eje x, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

C_x = Distancia de la distancia que hay del eje neutro a la hebra más alejada, mm

$a r$ = Cociente entre el área del alma y el área de la aleta a compresión

R_e = Coeficiente de viga híbrida, $R_e = 1$, para vigas no híbridas (Nuestro caso)

m = Relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta

R_{PG} = Coeficiente de reducción para la resistencia a la flexión de vigas armadas de alma llena

M_{nt} = Momento nominal a tensión

M_{nc} = Momento nominal a compresión

Ya con todos estos cálculos tenemos los momentos posibles de diseño por el estado de pandeo torsional.

4.6.3.1.4. Estado límite de pandeo local de la aleta

Para este estado límite comenzamos con los siguientes cálculos de la sección.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3MA + 4MB + 3MC} \geq 1.0$$

$$\lambda = \frac{bf}{2 \times tf}$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_r = \frac{600}{\sqrt{\frac{F_y}{k_c}}}$$

$$k_c = \frac{4}{hw/t_w} ; 0.35 \leq k_c \leq 0.763$$

$$C_{PG} = 180700 \times k_c$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

C_{PG} = Coeficiente de viga ensamblada de alma llena

K_c = Coeficiente de pandeo de la platina del alma

λ = Parámetro de esbeltez de la sección

λ_p = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_r = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

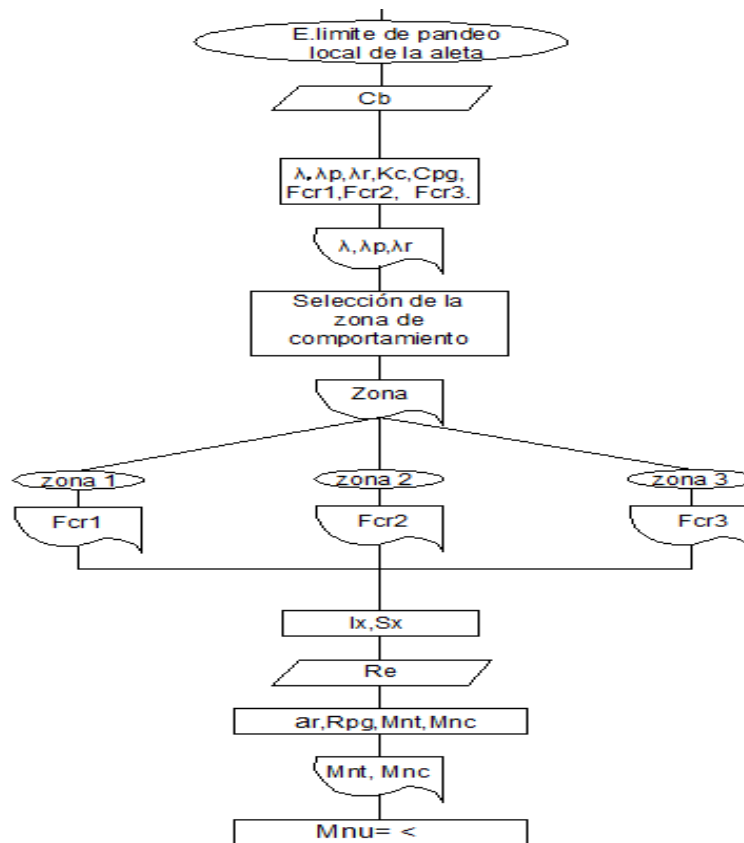


Figura 37. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte e.

Ya teniendo estos valores podemos saber qué tipo de comportamiento tiene la sección y así determinar qué tipo Fcr podemos utilizar para el cálculo del momento.

$$\lambda \leq \lambda_p ; F_{cr} = F_y$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r ; F_{cr} = (F_y \times C_b) \times \left(1 - \left(0.5 \times \left[\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right) \right) \leq F_y$$

$$\lambda \geq \lambda_r ; F_{cr} = \frac{C_{pg}}{\lambda^2}$$

Teniendo en cuenta en que zona quedo la esbeltez de la sección escogemos el Fcr y proseguimos a calcular los siguientes datos.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times t_x \times h w^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times b f \times t f^2) + \{ b f \times t f \times (t f/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_x}$$

$$Cx = \frac{h}{2} + tf$$

$$ar = \frac{hw \times tw}{bf \times tf} \leq 1$$

$$Re = \frac{(12 + ar) \times (3m - m^3)}{12 + (2 \times ar)}$$

$$R_{PG} = 1 - \left[\left(\frac{ar}{1200 + (300 \times ar)} \right) \times \left(\frac{hw}{tw} - \frac{2550}{\sqrt{Fcr}} \right) \right] \leq 1$$

$$Mnt = Fy \times Sx \times Re$$

$$Mnc = Sx \times R_{PG} \times Re \times Fcr$$

I_x = Inercia de la sección con respecto al eje x, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

C_x = Distancia de la distancia que hay del eje neutro a la hebra más alejada, mm

ar = Cociente entre el área del alma y el área de la aleta a compresión

Re = Coeficiente de viga híbrida, $Re = 1$, para vigas no híbridas (Nuestro caso)

m = Relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta

R_{PG} = Coeficiente de reducción para la resistencia a la flexión de vigas armadas de alma llena

Mnt = Momento nominal a tensión

Mnc = Momento nominal a compresión

Con esto ya hemos terminado todos los cálculos necesarios solo falta hacer una pequeña comprobación, el Mn Ultimo es el momento menor entre Mnt , Mnc del estado limite de pandeo torsional y Mnt , Mnc del estado limite de pandeo de la aleta, es decir el menor de estos cuatro momentos es el momento nominal ultimo, cuando ya tenemos definido esto lo comparamos con el μ de diseño, si μ es menor que Mn Ultimo cumple la sección en caso contrario toca devolvernos a diseñar toda la sección de la viga.

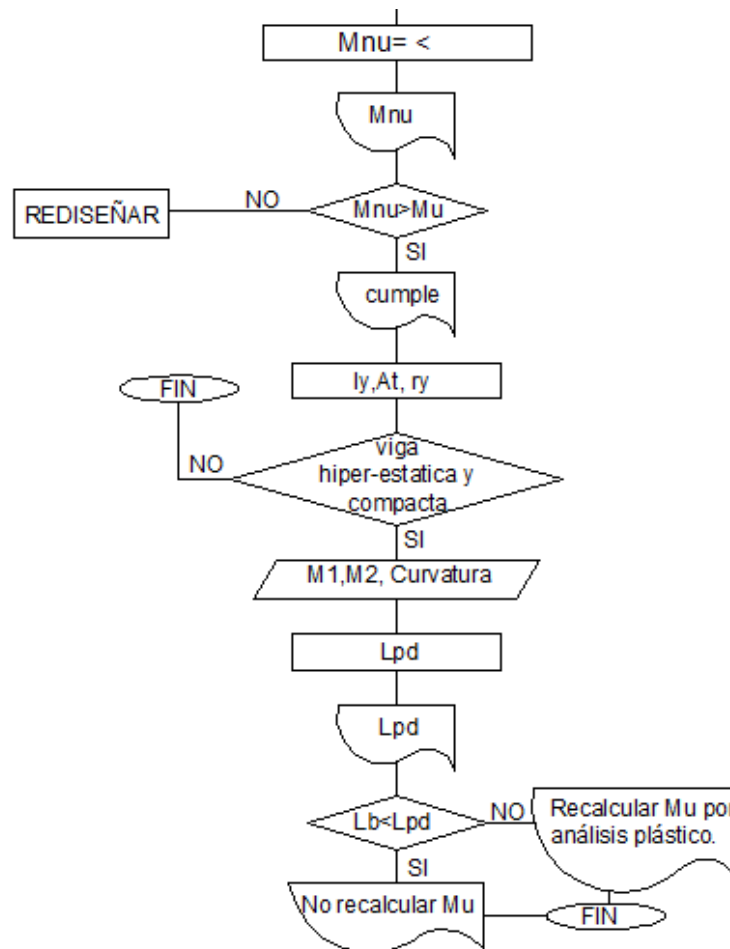


Figura 38. Diagrama de diseño viga I ensamblada parte f.

En el caso en que si cumpla la sección efectuamos un chequeo más que es el de L_{pd} , para hacer este chequeo la sección debe cumplir con los siguientes criterios sino los cumple este chequeo no se realiza, los criterios son:

- La viga debe ser de sección compacta
- La viga debe ser hiperestática

$$I = \left(\frac{1}{12} \times tw \times hw^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times bf \times tf^2) + \{ bf \times tf \times (tf/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$At = (hw \times tw) + (2 \times bf \times tf)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{At}}$$

$$L_{pd} = \left(\frac{24800 + 15200 \left(\frac{M1}{M2} \right)}{Fy} \right) r$$

$M1$ = momento menor en los extremos de la longitud no soportada de la viga
 $M2$

= momento mayor en los extremos de la longitud no soportada de la viga

$\frac{M1}{M2}$ es positivo cuando los momentos flexionan al miembro en doble curvatura

$\frac{M1}{M2}$ es negativo cuando los momentos flexionan al miembro en curvatura simple.

Ya teniendo el valor de L_{pd} lo comparamos con el L_b , si $L_b < L_{pd}$, el M_u de diseño de la viga se puede recalcular por el método de análisis plástico y así se volvería a rediseñar la viga con el nuevo momento M_u , en caso contrario no se puede efectuar análisis plástico y el M_u queda como se calculo por el método de análisis elástico.

4.6.3.2. Análisis vigas I ensambladas

A continuación presentamos el algoritmo de chequeo de las vigas I ensamblada
Lo primero que debemos tener es el valor del L_b

Después decidimos cuáles son los valores de la sección cajón:

h_w , b_f , t_w , t_f

Luego procedemos hacer los cálculos de los parámetros de la sección

$$I = \left(\frac{1}{12} \times t_w \times h_w^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times b_f \times t_f^2) + \{ b_f \times t_f \times (t_f/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$A_t = (h_w \times t_w) + (2 \times b_f \times t_f)$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A_t}}$$

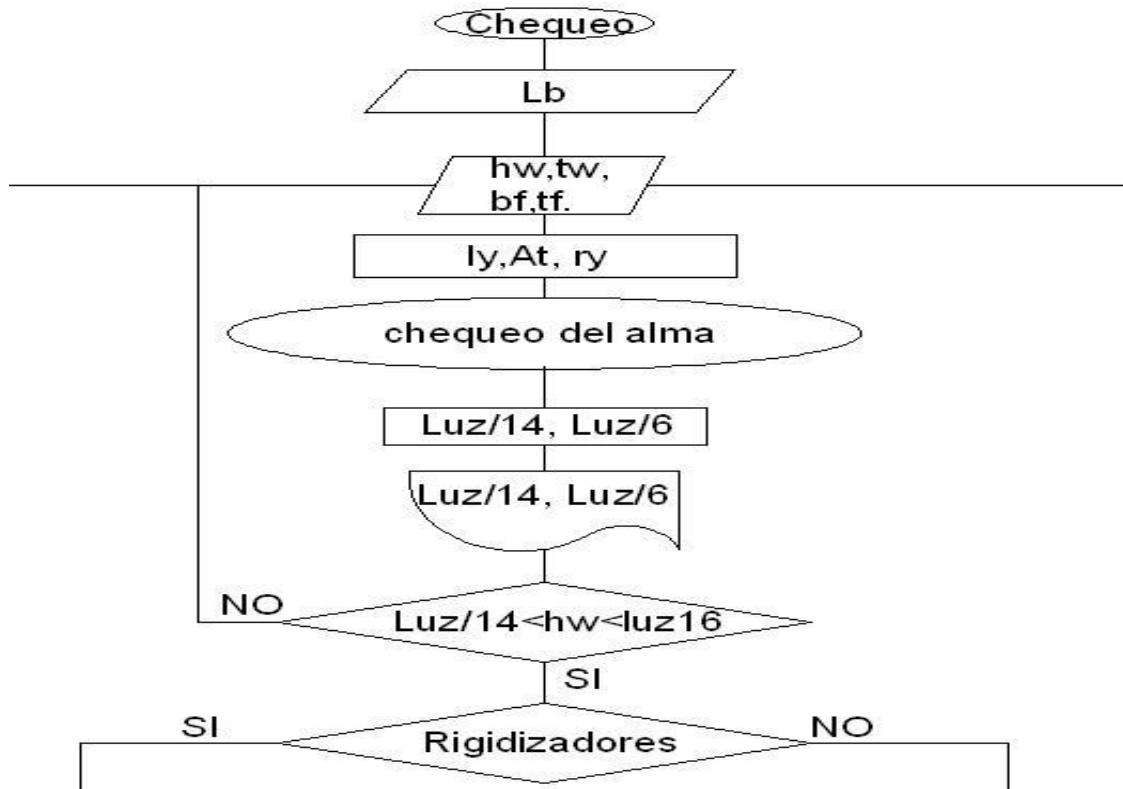


Figura 39. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte a.

4.6.3.2.1. Chequeo del alma

Hacemos un chequeo del alma mediante unos parámetros.

$$\frac{Lb}{14} \leq hw \leq \frac{Lb}{6}$$

Se debe efectuar el cálculo de los dos parámetros en los que debe estar la longitud del alma y en base a esos dos datos miramos si el hw si esta en esta comprobación.

Ahora debemos verificar el espesor del alma para esto tenemos dos opciones que es un alma con rigidizadores o sin ellos.

4.6.3.2.1.1. Con rigidizadores

Ya sabiendo que el alma tiene rigidizadores procedemos a calcular unos parámetros para el espesor del alma.

$$\frac{1700}{\sqrt{Fy}} \leq \frac{hw}{tw} \leq \frac{2550}{\sqrt{Fy}}$$

Luego procedemos a calcular con el valor de “a” que es la distancia que hay entre rigidizadores en mm, los otros chequeos.

$$\frac{a}{hw} > 1.5 ; \frac{hw}{tw} \leq \frac{96000}{\sqrt{(Fy \times (Fy + 115))}}$$

$$\frac{a}{hw} \leq 1.5; \frac{hw}{tw} \leq \frac{5200}{\sqrt{F_y}}$$

Para que podamos decir que necesitamos rigidizadores el alma debe ser esbelta y por ende debe cumplir el siguiente chequeo.

$$\frac{hw}{tw} > 260$$

Ya con estos valores podemos decir si el espesor del alma cumple con los parámetro para considerarse un alma esbelta.

4.6.3.2.1.1.1 Por la acción de campo no tensionado.

Esto se hace para chequear que la distancia "a" seleccionada cumple con el cortante de diseño, primero que todo calculamos unos parámetros de cálculo.

$$kv = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{hw}\right)^2}$$

Pero dado el caso:

$$kv = 5, \quad \text{si } \frac{a}{hw} > 3 \quad \text{ó} \quad \frac{a}{hw} > \left(\frac{260 \times tw}{hw}\right)^2$$

kv = Coeficiente de pandeo de la platina del alma.

Luego procedemos a calcular el cortante que resiste a la distancia "a" seleccionada mediante los parámetros que vienen a continuación.

$$\text{si } \frac{hw}{tw} \leq 490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; \text{ entonces; } V_n = 0.6 \times F_{yw} \times A_w$$

$$\text{si } 490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}} \leq \frac{hw}{tw} \leq 614 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; \text{ entonces,}$$

$$V_n = \frac{0.6 \times F_{yw} \times A_w \times (490 \times \sqrt{(kv/F_{yw})})}{\frac{hw}{tw}}$$

$$\text{si } \frac{hw}{tw} \geq 614 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; \text{ entonces, } V_n = \frac{A_w \times (182000 \times kv)}{\left(\frac{hw}{tw}\right)^2}$$

$$\phi V_n = 0.9 V_n$$

Fyw = Esfuerzo de fluencia especificado del alma, MPa

A_w = Área del alma, mm²

Ya teniendo ϕV_n que es el cortante que resiste la viga con la distancia que se colomos.

4.6.3.2.1.1.2 Por la acción de campo tensionado

Esto se hace para chequear la distancia " a_1 " de los rigidizadores del resto de la viga entonces seleccionamos un " a_1 " a criterio del diseñador al que cree que deberían estar los rigidizadores y el V_u de dicha distancia seleccionada, y luego procedemos a calcular los siguientes parámetros.

$$k_v = 5 + 5/(a_1 / h_w)^2$$

Luego procedemos a calcular el V_n que puede soportar la sección.

$$\frac{h_w}{t_w} < 490 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}; V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw}$$

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 490 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}; V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw} \times \left(C_v + \frac{1 - C_v}{1.15 \times \sqrt{1 + \left(\frac{a}{h_w}\right)^2}} \right)$$

C_v = relación del esfuerzo "crítico" del alma según la teoría de pandeo lineal y el esfuerzo de fluencia por cortante del material del alma.

k_v = Coeficiente de pandeo de la platina del alma.

F_{yw} = Esfuerzo de fluencia especificado del alma, MPa

A_w = Área del alma, mm²

Para los tableros extremos de vigas ensambladas no híbridas no se permite la acción de campo de tensionando cuando se presenta esta condición.

$$k_v = 5, \quad \text{si } \frac{a_1}{h_w} > 3 \quad \text{ó} \quad \frac{a_1}{h_w} > \left(\frac{260 \times t_w}{h_w}\right)^2$$

En dado caso el V_n es:

$$V_n = 0.6 \times A_w \times F_{yw} \times C_v$$

Ahora estimamos el valor de C_v :

$$\frac{h_w}{t_w} \geq 490 \times \sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}; C_v = k_v$$

$$490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}} \leq \frac{hw}{tw} \leq 615 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; C_v = \frac{490 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}}{\frac{hw}{tw}}$$

$$\frac{hw}{tw} \geq 615 \times \sqrt{\frac{kv}{F_{yw}}}; C_v = \frac{304000 \times kv}{\left(\frac{hw}{tw}\right)^2 \times F_{yw}}$$

Ya teniendo todos los cálculos hechos y el valor del V_n hacemos.

$$\phi V_n = 0.9 V_n$$

Este ϕV_n es el cortante que puede soportar la viga a la distancia “ a_1 ” que colocamos.

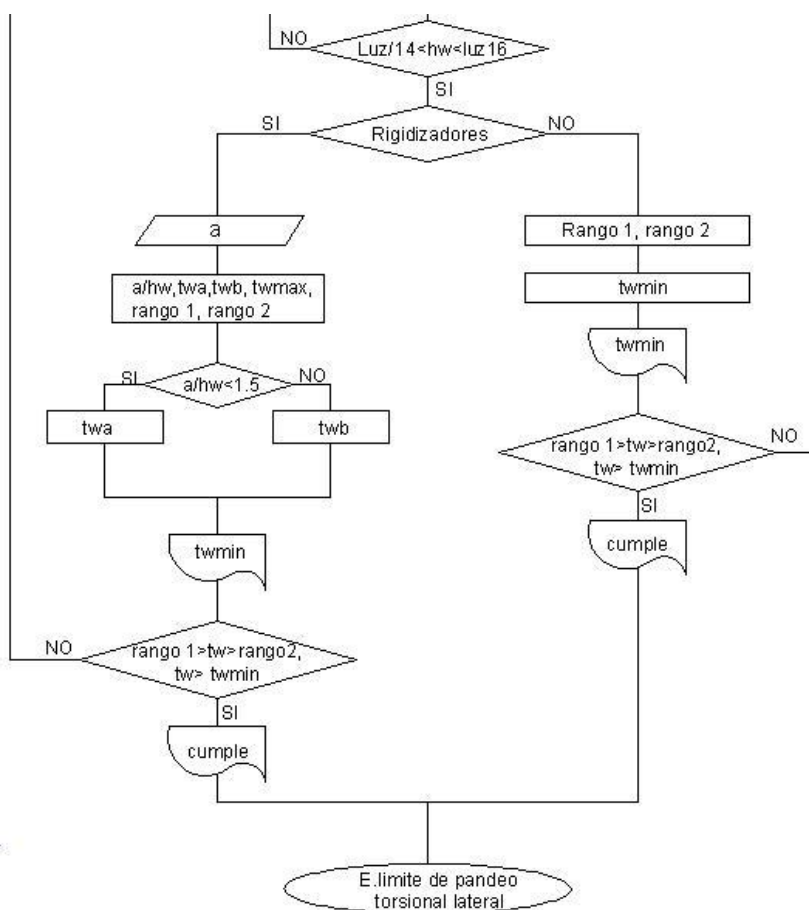


Figura 40. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte b.

4.6.3.2.1.2. Sin rigidizadores

Ya sabiendo que el alma no tiene rigidizadores procedemos a calcular unos parámetros para el espesor del alma.

$$\frac{1700}{\sqrt{F_y}} \leq \frac{h_w}{t_w} \leq \frac{2550}{\sqrt{F_y}}$$

Para que podamos decir que no necesitamos rigidizadores el alma debe ser no esbelta y por ende debe cumplir el siguiente chequeo.

$$\frac{h_w}{t_w} \leq 260$$

Ya con estos valores el diseñador puede escoger el espesor del alma t_w , teniendo en cuenta que debe superar el valor del último chequeo para que no sea esbelta, y la primera comprobación es una recomendación, que dado el caso t_w no esté entre esos valores no tiene ningún inconveniente pero si pueden estar es lo ideal.

4.6.3.2.2. Estado limite de pandeo torsional.

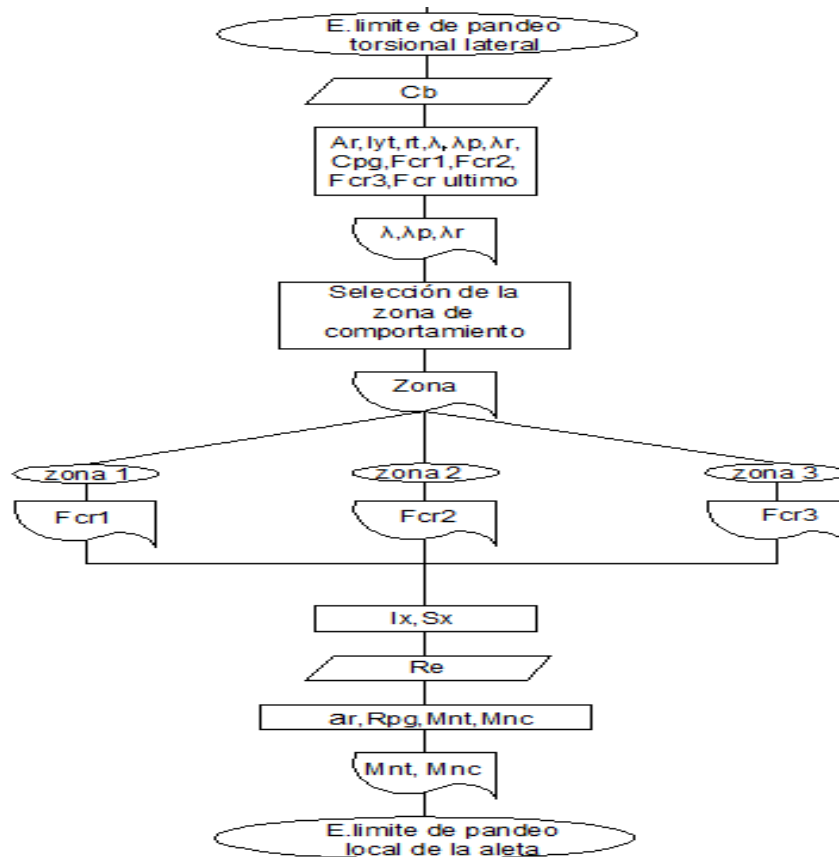


Figura 41. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte c.

Para este estado límite comenzamos con los siguientes cálculos de la sección.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

$$A_r = \left(\frac{hw}{6} \times tw \right) + (bf \times tf)$$

$$I_{yt} = \frac{1}{12} \times bf \times tf^3$$

$$r_t = \sqrt{\frac{I_{yt}}{A_r}}$$

$$C_{PG} = 1970000 \times C_b$$

$$\lambda = \frac{Lb}{r_t}$$

$$\lambda_p = \frac{790}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_r = \frac{1985}{\sqrt{F_y}}$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

A_r = Área de la aleta mas y tercio del alma a partir del eje neutro, mm²

I_{yt} = Inercia de la aleta tensión, mm⁴

r_t = Radio de giro en el eje "y" con respecto a la sección en tensión, mm

C_{PG} = Coeficiente de viga ensamblada de alma llena

λ = Parámetro de esbeltez de la sección

λ_p = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_r = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

Ya teniendo estos valores podemos saber qué tipo de comportamiento tiene la sección y así determinar qué tipo F_{cr} podemos utilizar para el cálculo del momento.

$$\lambda \leq \lambda_p ; F_{cr} = F_y$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r ; F_{cr} = (F_y \times C_b) \times \left(1 - \left(0.5 \times \left[\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right) \right) \leq F_y$$

$$\lambda \geq \lambda_r ; F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\lambda^2}$$

Teniendo en cuenta en que zona quedo la esbeltez de la sección escogemos el F_{cr} y proseguimos a calcular los siguientes datos.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times t_x \times h w^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times b f \times t f^2) + \{ b f \times t f \times (t f/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_x}$$

$$C_x = \frac{h}{2} + t f$$

$$a_r = \frac{h w \times t w}{b f \times t f} \leq 1$$

$$R_e = \frac{(12 + a_r) \times (3m - m^3)}{12 + (2 \times a_r)} \leq 1$$

$$R_{PG} = 1 - \left[\left(\frac{a_r}{1200 + (300 \times a_r)} \right) \times \left(\frac{h w}{t w} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right] \leq 1$$

$$M_{nt} = F_y \times S_x \times R_e$$

$$M_{nc} = S_x \times R_{PG} \times R_e \times F_{cr}$$

I_x = Inercia de la sección con respecto al eje x, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

C_x = Distancia de la distancia que hay del eje neutro a la hebra más alejada, mm

a_r = Cociente entre el área del alma y el área de la aleta a compresión

R_e = Coeficiente de viga híbrida, $R_e = 1$, para vigas no híbridas (Nuestro caso)

m = Relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta

R_{PG} = Coeficiente de reducción para la resistencia a la flexión de vigas armadas de alma llena

M_{nt} = Momento nominal a tensión

M_{nc} = Momento nominal a compresión

Ya con todos estos cálculos tenemos los momentos posibles de diseño por el estado de pandeo torsional.

4.6.3.2.3. Estado límite de pandeo local de la aleta.

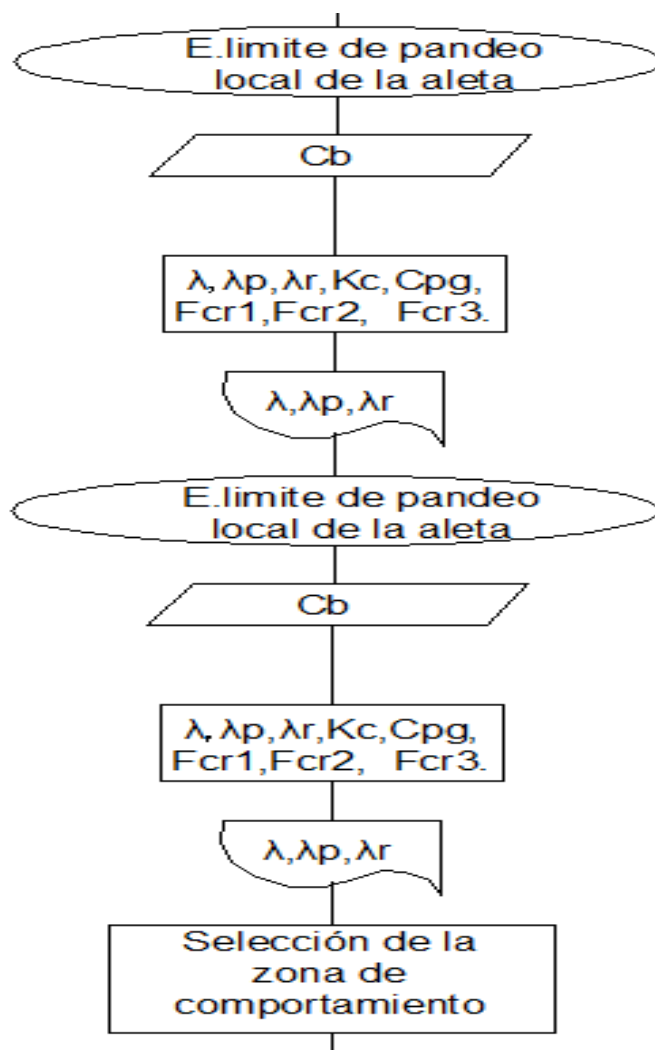


Figura 42. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte d.

Para este estado límite comenzamos con los siguientes cálculos de la sección.

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

$$\lambda = \frac{bf}{2 \times tf}$$

$$\lambda_p = \frac{170}{\sqrt{F_y}}$$

$$\lambda_r = \frac{600}{\sqrt{\frac{F_y}{k_c}}}$$

$$k_c = \frac{4}{hw/t_w} ; 0.35 \leq k_c \leq 0.763$$

$$C_{PG} = 180700 \times k_c$$

C_b = coeficiente de flexión que depende del gradiente del momento

C_{PG} = Coeficiente de viga ensamblada de alma llena

K_c = Coeficiente de pandeo de la platina del alma

λ = Parámetro de esbeltez de la sección

λ_p = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_r = parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

Ya teniendo estos valores podemos saber qué tipo de comportamiento tiene la sección y así determinar qué tipo F_{cr} podemos utilizar para el cálculo del momento.

$$\lambda \leq \lambda_p ; F_{cr} = F_y$$

$$\lambda_p \leq \lambda \leq \lambda_r ; F_{cr} = (F_y \times C_b) \times \left(1 - \left(0.5 \times \left[\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right] \right) \right) \leq F_y$$

$$\lambda \geq \lambda_r ; F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\lambda^2}$$

Teniendo en cuenta en que zona quedo la esbeltez de la sección escogemos el F_{cr} y proseguimos a calcular los siguientes datos.

$$I_x = \left(\frac{1}{12} \times t_x \times hw^3 \right) + [2 \times \{ (1/12 \times bf \times tf^2) + \{ bf \times tf \times (tf/2 + h/2)^2 \} \}]$$

$$S_x = \frac{I_x}{C_x}$$

$$C_x = \frac{h}{2} + t_f$$

$$ar = \frac{hw \times tw}{bf \times t_f} \leq 1$$

$$Re = \frac{(12 + ar) \times (3m - m^3)}{12 + (2 \times ar)}$$

$$R_{PG} = 1 - \left[\left(\frac{ar}{1200 + (300 \times ar)} \right) \times \left(\frac{hw}{tw} - \frac{2550}{\sqrt{F_{cr}}} \right) \right] \leq 1$$

$$M_{nt} = F_y \times S_x \times Re$$

$$M_{nc} = S_x \times R_{PG} \times Re \times F_{cr}$$

I_x = Inercia de la sección con respecto al eje x, mm⁴

S_x = módulo elástico de la sección con respecto al eje x, mm³

C_x = Distancia de la distancia que hay del eje neutro a la hebra más alejada, mm

ar = Cociente entre el área del alma y el área de la aleta a compresión

Re = Coeficiente de viga híbrida, $Re = 1$, para vigas no híbridas (Nuestro caso)

m = Relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta

R_{PG} = Coeficiente de reducción para la resistencia a la flexión de vigas armadas de alma llena

M_{nt} = Momento nominal a tensión

M_{nc} = Momento nominal a compresión

Con esto ya hemos terminado todos los cálculos necesarios solo falta hacer una pequeña comprobación, el M_n Último es el momento menor entre M_{nt} , M_{nc} del estado límite de pandeo torsional y M_{nt} , M_{nc} del estado límite de pandeo de la aleta, es decir el menor de estos cuatro momentos es el momento nominal último y este es el momento que puede resistir la viga.

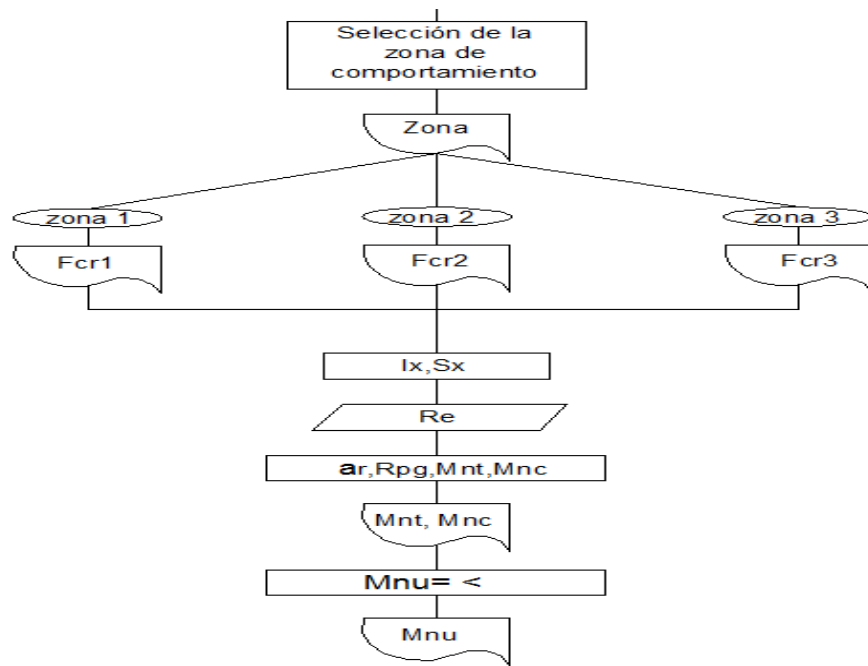


Figura 43. Diagrama de análisis viga I ensamblada parte e.

5. MANUAL DE AYUDA VIGA WEB.

5.1 PRESENTACIÓN Y DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA APLICACIÓN VIGA WEB.

A continuación presentamos la presentación y descripción general de la aplicación VIGA WEB. El menú general de la aplicación y la forma como se ingresa a cada uno de los formularios correspondientes a el tipo de diseño o análisis incluidos en la aplicación.

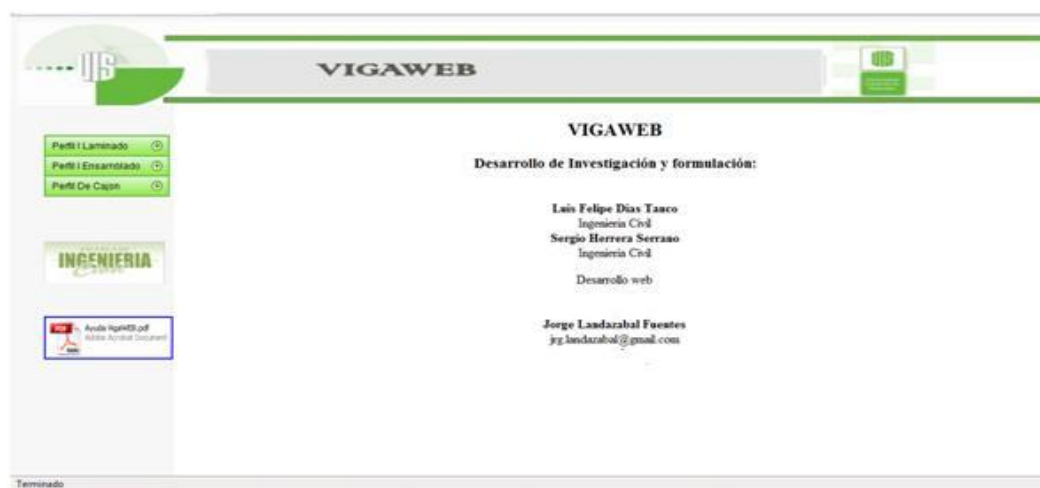


Figura 44. Presentación general VIGA WEB.

La aplicación puede ejecutarse desde un servidor local, de internet o un ordenador sea de escritorio o portátil.

Esta aplicación se desarrolla en un entorno HTML de fácil comprensión a nivel visual, contiene un menú ubicado a la izquierda que permite acceder de forma rápida a cada opción ya sea diseño o análisis de cada tipo de viga, mostrando cada formulario luego de hacer click en una de las opciones, cargando el formulario en la parte central de la página.

5.1.1 Selección del tipo de viga. La aplicación VIGA WEB permite el diseño o análisis de tres tipos de viga, entre ellas:

- Vigas de perfil I laminado
- Vigas I ensambladas, “perfil I ensamblado”
- Vigas tipo cajón “perfil cajón”

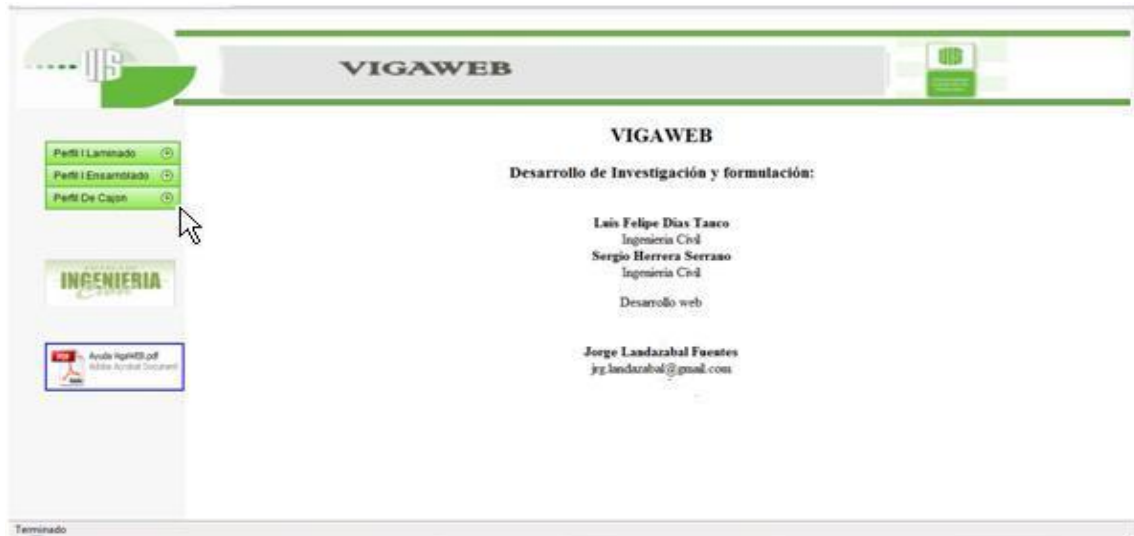


Figura 45. Selección del tipo de viga.

5.1.2 Selección del procedimiento diseño o análisis de la viga. Desplegando la opción de diseño o análisis de cada una de ellas, ejecutando el proceso seleccionado mediante un click sobre la opción elegida.

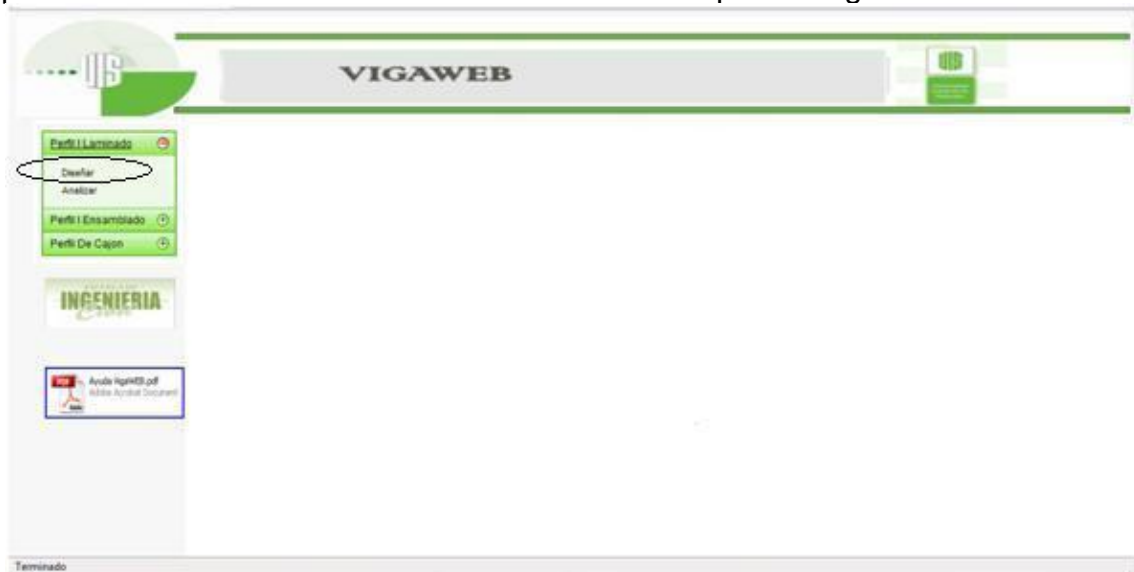


Figura 46. Selección del procedimiento diseño o análisis de la viga.

5.1.3 Descripción de los datos de entrada. La aplicación le ofrece al usuario la información detallada de cada uno de los valores que tiene que ingresar en la misma al mantener sostenido el cursor sobre la casilla de ingreso de datos, de modo que pueda llevar un tutor en tiempo real que le permitirá entender los procedimientos y cálculos de diseño o análisis de la viga.

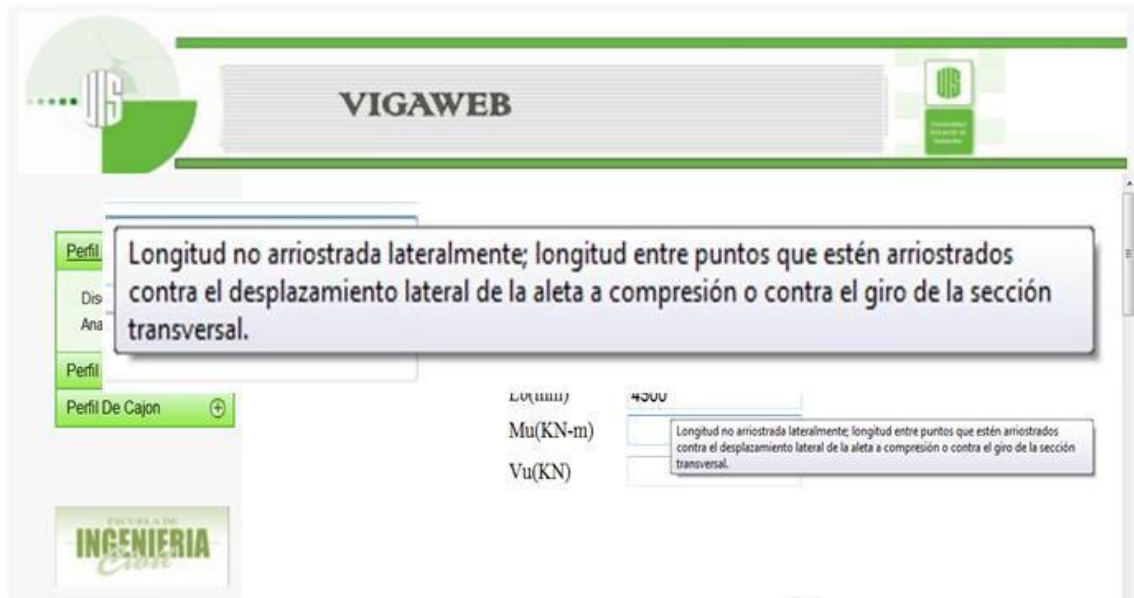


Figura 47. Descripción de los datos de entrada.

5.1.4 Descripción de las alertas de error.

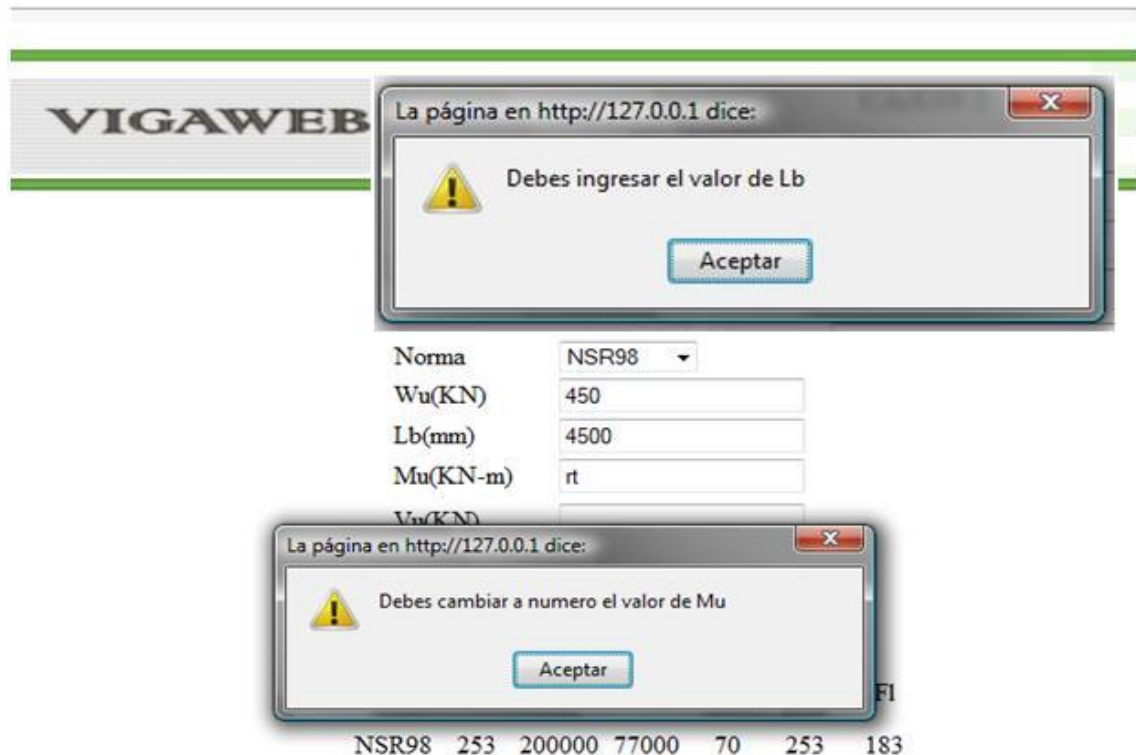


Figura 48. Descripción de las alertas de error.

El usuario será informado de los posibles errores que pueda cometer durante el diseño en cuanto al dimensionamiento de los elementos que componen la viga, apareciendo un mensaje instantáneo que le informa que valor esta fuera del

rango permitido o si esta digitando un valor alfanumérico que no corresponde a los datos necesarios para continuar con el proceso, esto con el objetivo de hacer mucho mas ágil la ejecución de los procedimientos propios que componen VIGA WEB.

Si los datos suministrados no corresponden a los datos que el programa valido automáticamente, el usuario será informado con un mensaje de alerta que le proporciona la descripción del error.

5.1.5 Descripción de los mensajes informativos.

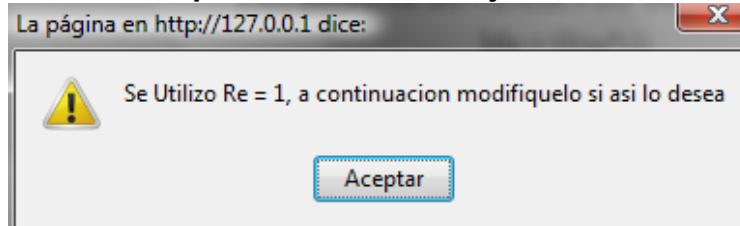


Figura 49. Descripción de mensajes informativos.

En algunos pasos del desarrollo del formulario de diseño o análisis de la viga el usuario verá ventanas de alerta con mensajes informativos que hacen referencia a la entrada de datos que están predefinidos por defecto en la aplicación según los procedimientos propios de cada viga, estos valores podrán ser modificados por el usuario, sugiriendo el calculo necesario para este valor ofrecido por defecto.

5.1.6 Selección del manual de ayuda VIGA WEB. Para seleccionar en el menú la opción de ayuda hacemos click sobre el icono del PDF ubicado en la franja izquierda del menú general de VIGA WEB, el cual desplegara toda la información referente a la aplicación y la forma de ejecutar y rellenar todos los espacios necesarios para completar el diseño o análisis de los tipos de vigas incluidos en la aplicación.

Esta ayuda consiste en un archivo cargado con cada uno de los posibles pantallazos que el usuario vera durante el recorrido por la aplicación en cada uno de los tipos de viga a diseñar o analizar, en el se encuentra la descripción de los procesos necesarios para el proceso necesario, aunque no es explicito en cuento a las formulas propias de cada uno de los cálculos puesto que en usuario tendrá acceso a esa información en el capítulo anterior del presente libro y en formato digital proporcionado directamente por el docente de la asignatura Diseño de Estructuras Metálicas.

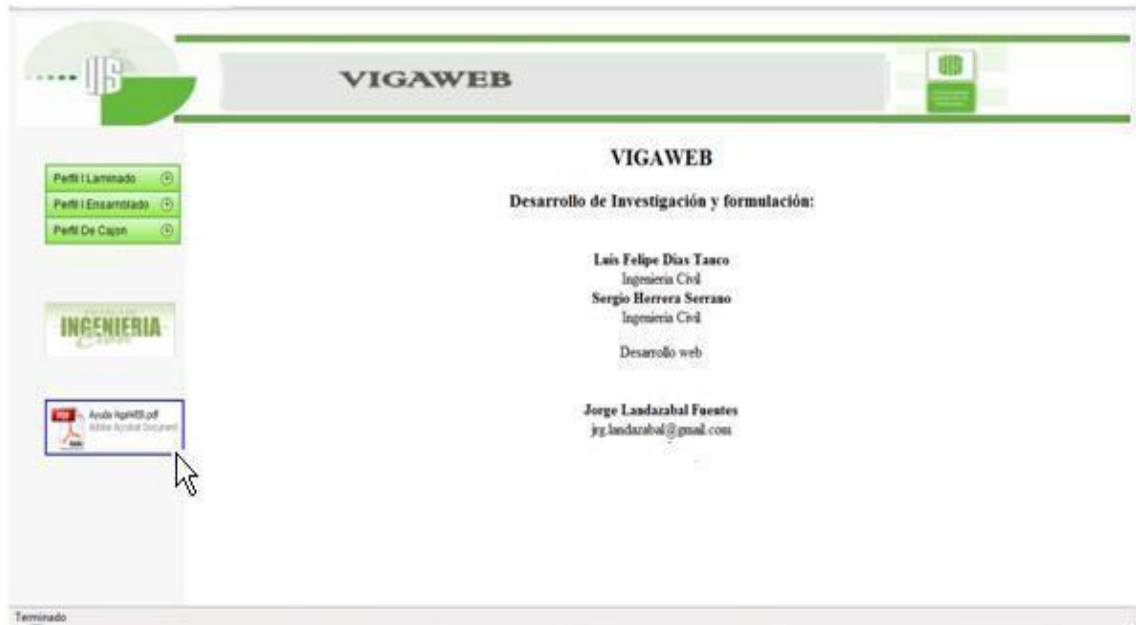


Figura 50. Manual de ayuda VIGA WEB.

5.2 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.

5.2.1 elección de la norma de diseño. Una vez seleccionado el tipo de viga de perfil I laminado en su proceso de diseño, iniciamos con la elección de la norma a aplicar, sea NSR-98 o NSR-10 para cargar las variables necesarias para el diseño según la normatividad elegida.

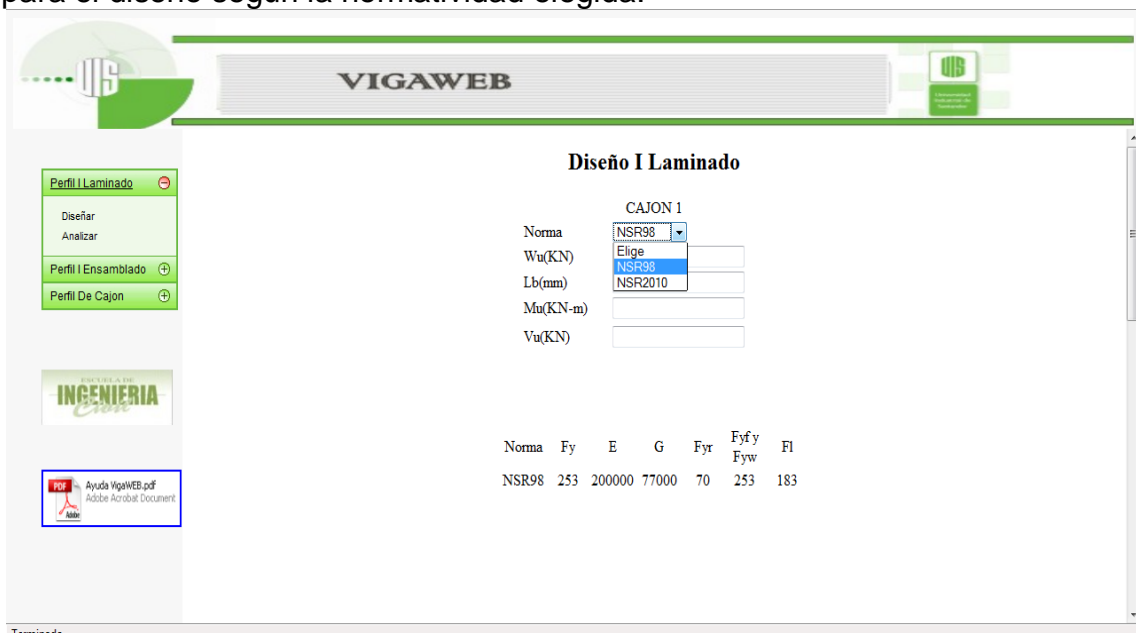


Figura 51. Elección de la norma de diseño.

5.2.2 Datos generales de la viga a diseñar. Debemos ingresar los datos de diseños ya calculados previamente por el usuario, que son:

Wu, Lb, Mu, Vu. En las respectivas unidades referenciadas en la aplicación.

Diseño I Laminado

CAJON 1

Norma: NSR98
Wu(KN): 70
Lb(mm): 9500
Mu(KN-m): 640
Vu(KN): 450

Norma	Fy	E	G	Fyr	Fyf y Fyw	FI
NSR98	253	200000	77000	70	253	183

Figura 52. Ingreso de Wu, Lb, Mu, Vu de la viga a diseñar.

5.2.3 Selección del perfil de diseño. Calculado el Zx estimado de la sección necesaria para soportar las cargas de diseño, entramos a las tablas de los perfiles y seleccionamos un perfil, los cuales tienen un Zx mayor al calculado anteriormente, descartando por defecto los perfiles que no cumplen esta condición.

Perfiles: Elige de la lista.

- HP 360 x 174
- HP 360 x 180
- HP 400 x 158
- HP 400 x 176
- HP 400 x 194
- HP 400 x 213
- HP 400 x 231
- HD 260 x 225
- HD 260 x 299
- HD 320 x 198
- HD 320 x 245
- HD 320 x 300
- HD 320 x 368**
- HD 320 x 451
- HD 360 x 147
- HD 360 x 162
- HD 360 x 179
- HD 360 x 196
- HD 400 x 187
- HD 400 x 216

Zx: 2810.715854194115

Calculo del modulo plástico de la sección para la selección del perfil de diseño. $Z_x = \frac{M_u}{0.9 \cdot F_y}$.

Figura 53. Selección del perfil de diseño.

Se recomienda elegir un perfil que no exceda deliberadamente el valor calculado de Zx con el propósito de realizar un diseño adecuado y económico

para la viga, posteriormente se muestran las características propias del perfil seleccionado, las cuales serán implementadas para realizar los cálculos a continuación en el proceso de diseño.

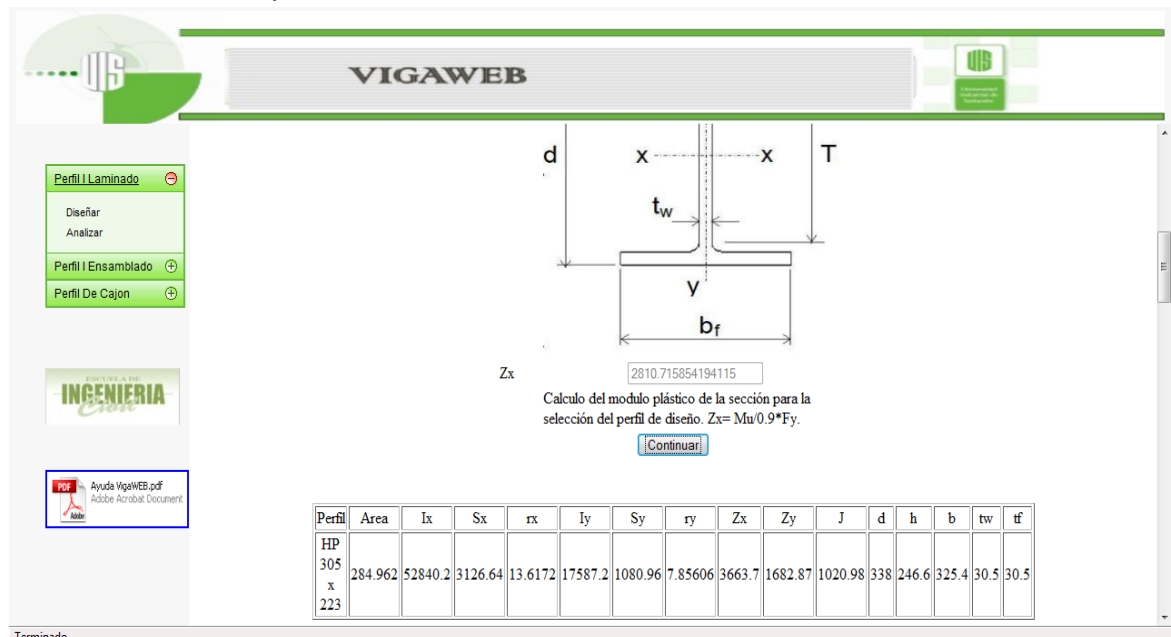


Figura 54. Características del perfil seleccionado.

5.2.4 Calculo de la zona de comportamiento de la viga. Teniendo el perfil ya seleccionado se estiman los valores de la zona de diseño L_p y L_r y nos muestra en qué zona se encuentra el diseño de la viga. Cada una de estas zonas indica un comportamiento diferente de la viga, de manera que los cálculos realizados por la aplicación corresponden a la zona de la viga de diseño, sea la zona de comportamiento de pandeo plástico, pandeo inelástico o pandeo plástico.

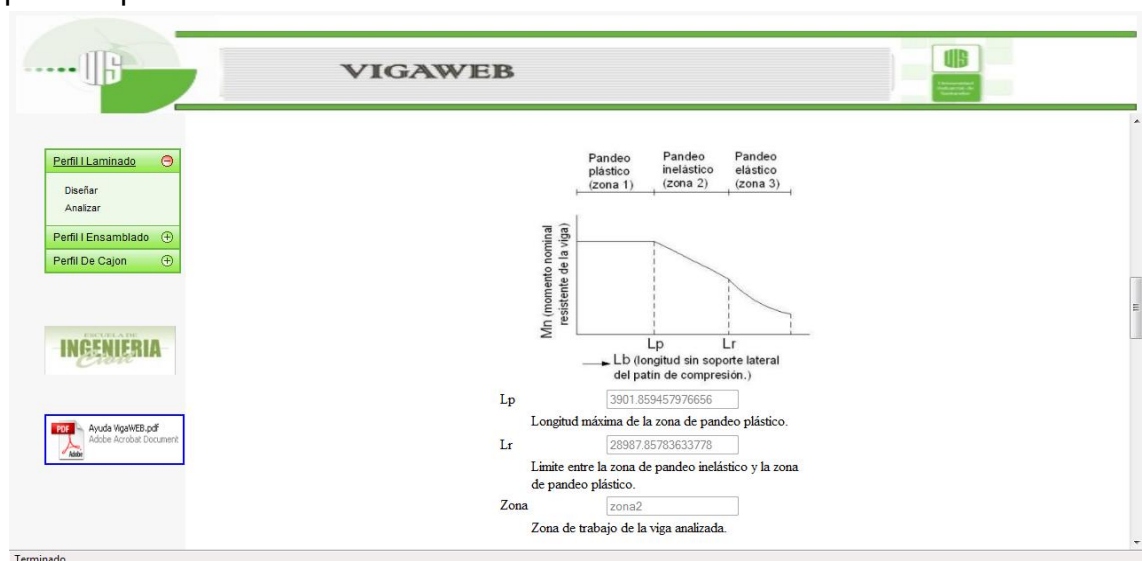


Figura 55. Zona de comportamiento de la viga.

5.2.5 Calculo del momento nominal último de la viga diseñada. Después de visualizar la zona de comportamiento de la viga en proceso de diseño la aplicación ejecuta los cálculos relacionados de la zona previamente mostrada, si la zona de comportamiento es la 2 o 3 es necesario introducir el valor C_b , por defecto este valor será (1).

El usuario podrá modificar este valor una vez realice el cálculo mediante la formulación mostrada en la grafica cargada por la aplicación o por alguno de los valores mostrados en la grafica con algunas de las condiciones de apoyo más comunes para una viga.

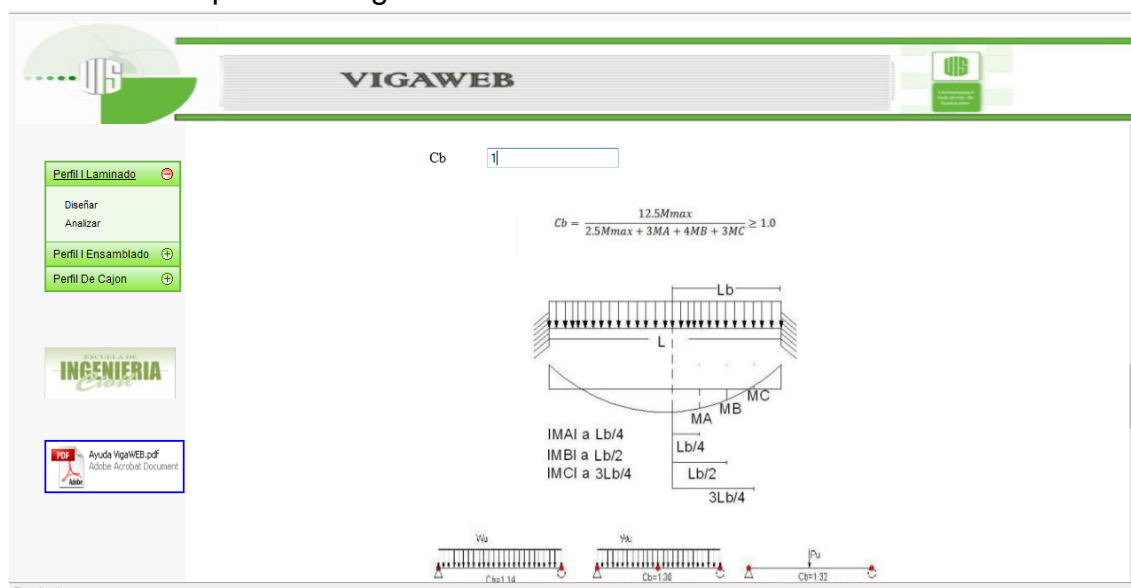


Figura 56. Valor C_b y diagrama de cálculo de este valor.

Una vez ingresado el valor de C_b , se muestra el valor de los momentos calculados automáticamente por la aplicación y la evaluación de la viga diseñada respecto a la solicitud, mostrando si cumple o no cumple con ello

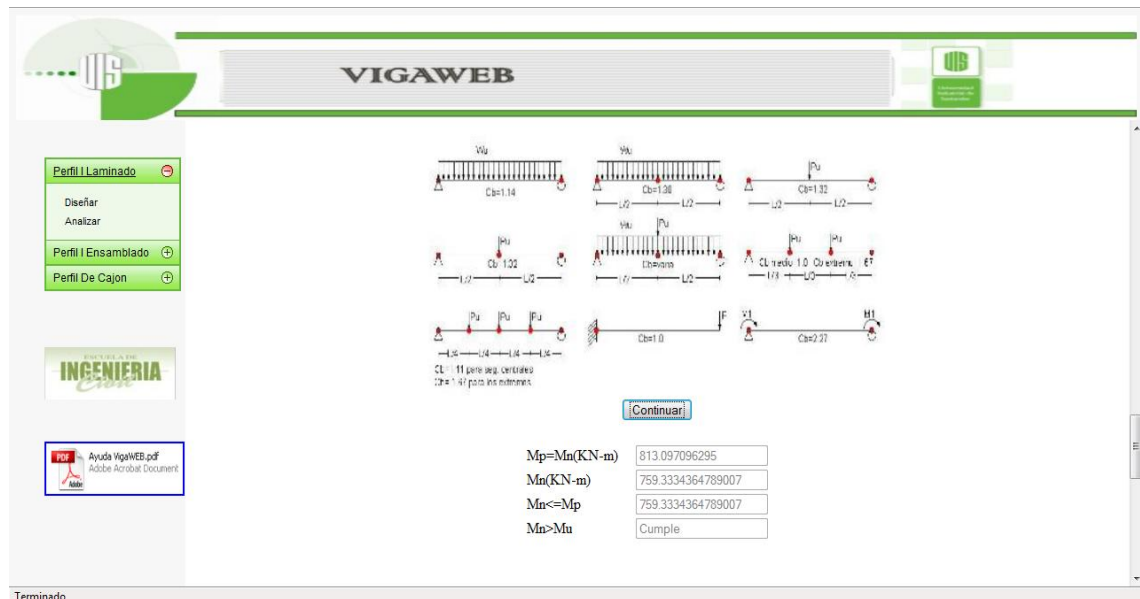


Figura 57. Evaluación de la sollicitación de la viga.

Si el diseño realizado *no cumple* con la sollicitación requerida el usuario deberá elegir un nuevo perfil y continuar con todo el proceso de diseño nuevamente.

5.2.6 Cálculo de L_{pd} y observación para momento de diseño.

Si el diseño realizado cumple con la sollicitación requerida, la aplicación continúa con el chequeo de la Limite plástico de Diseño. (LPD), para ello el usuario debe elegir si la viga es hiper-estática y de sección compacta.

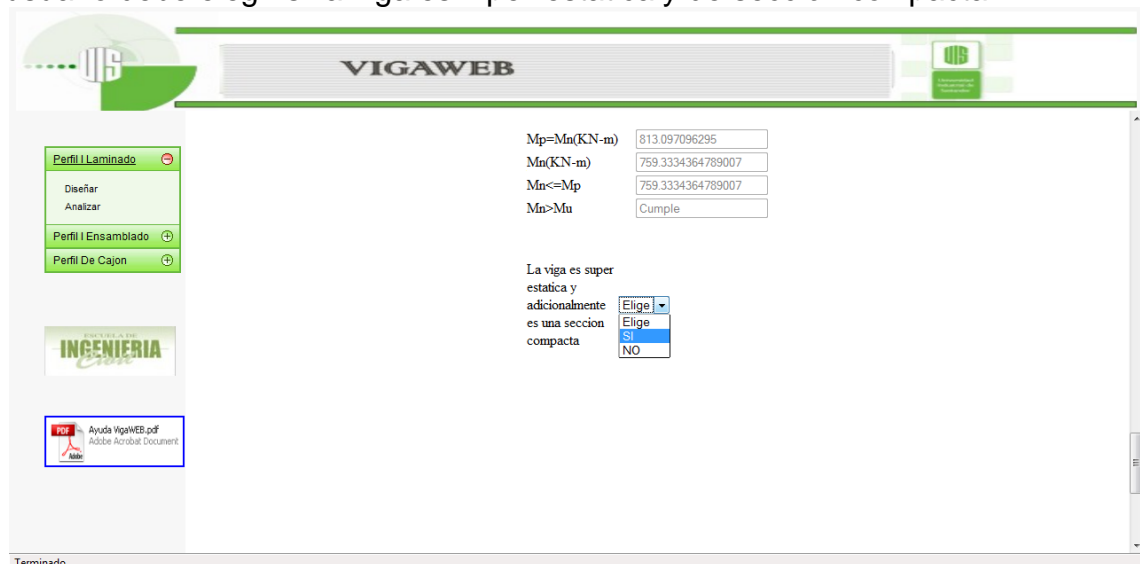


Figura 58. Elección de la condición de apoyo y de sección de la viga.

Si la viga cumple con las condiciones previamente evaluadas por el usuario, este deberá e ingresar el momento mayor y menor de ella y elegir el tipo de curvatura presente en la viga, sea doble o sencilla.

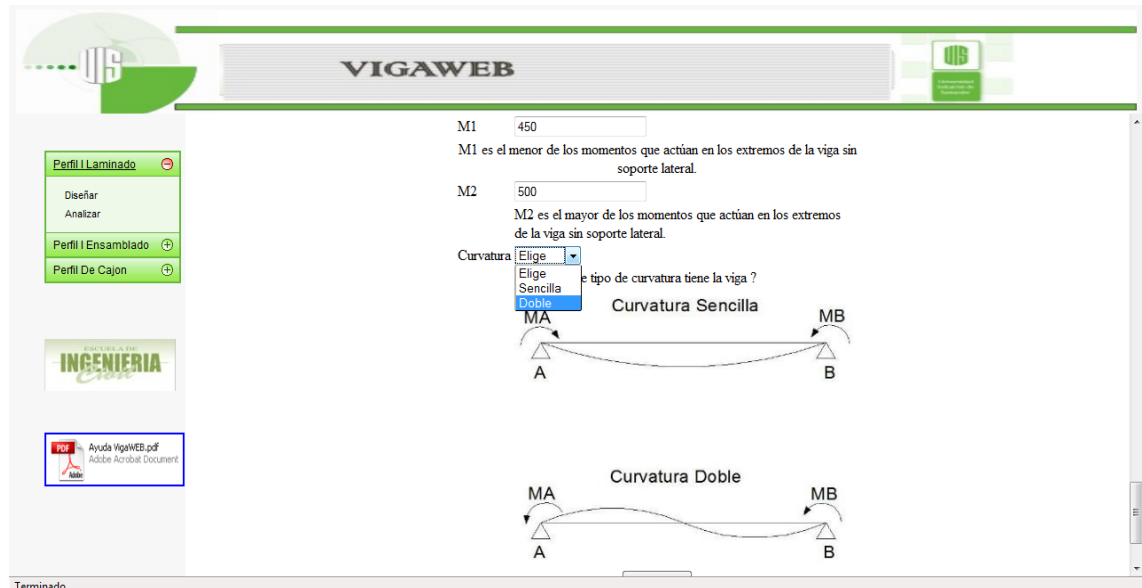


Figura 59. Elección del tipo de curvatura de la viga.

Finalmente la aplicación evaluará automáticamente la condición del L_{pd} respecto a L_b , dado el caso mostrara si es posible rediseñar la viga mediante la evaluación de un nuevo momento de diseño por el método de análisis plástico, o si finalmente solo es posible diseñar por el momento de diseño elástico, en cuyo caso habrá finalizado todo el procedimiento de diseño de la viga.

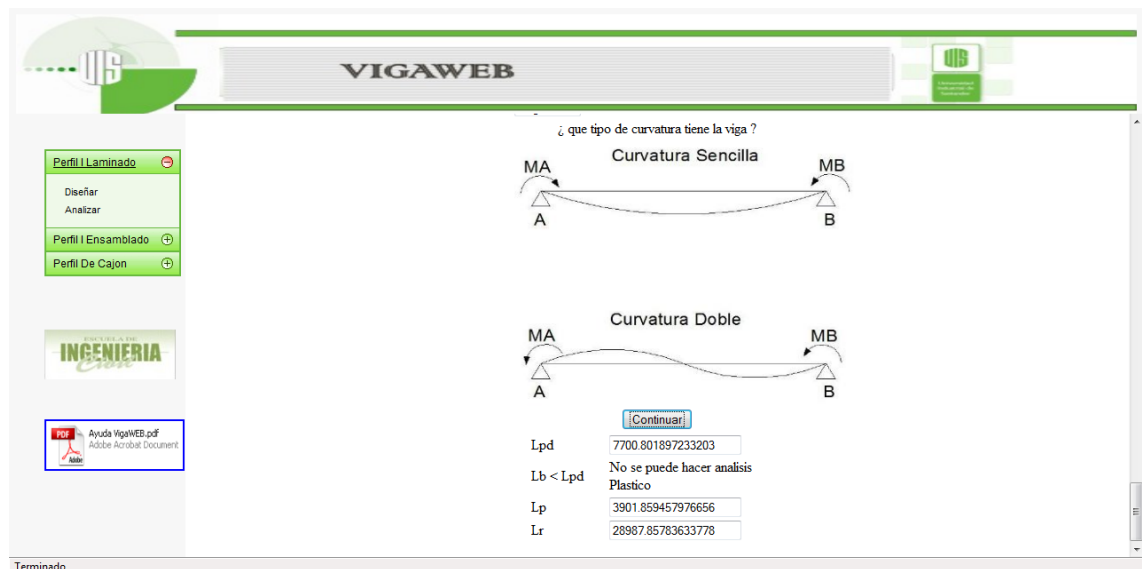


Figura 60. Evaluación de L_{pd} .

5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.

5.3.1 Datos generales de la viga a analizar. Una vez seleccionada la norma con la cual se realizará el análisis de la viga de perfil I laminado,

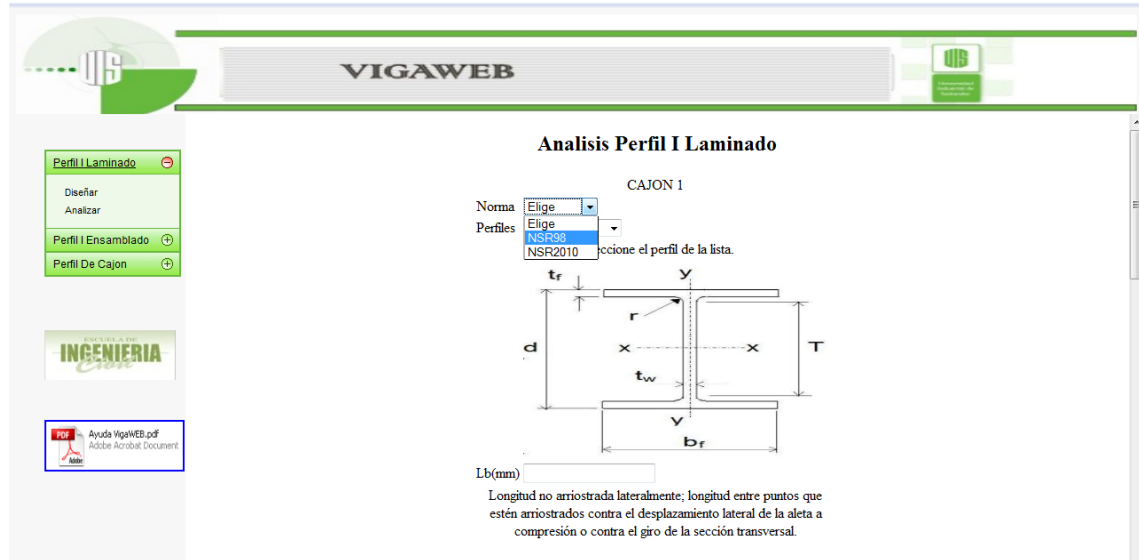


Figura 61. Selección de la norma para realizar el análisis de la viga.

Posteriormente se debe elegir el perfil que se va a analizar y finalmente se debe ingresar el valor de la longitud libre de la viga (Lb), en las respectivas unidades sugeridas por la aplicación.

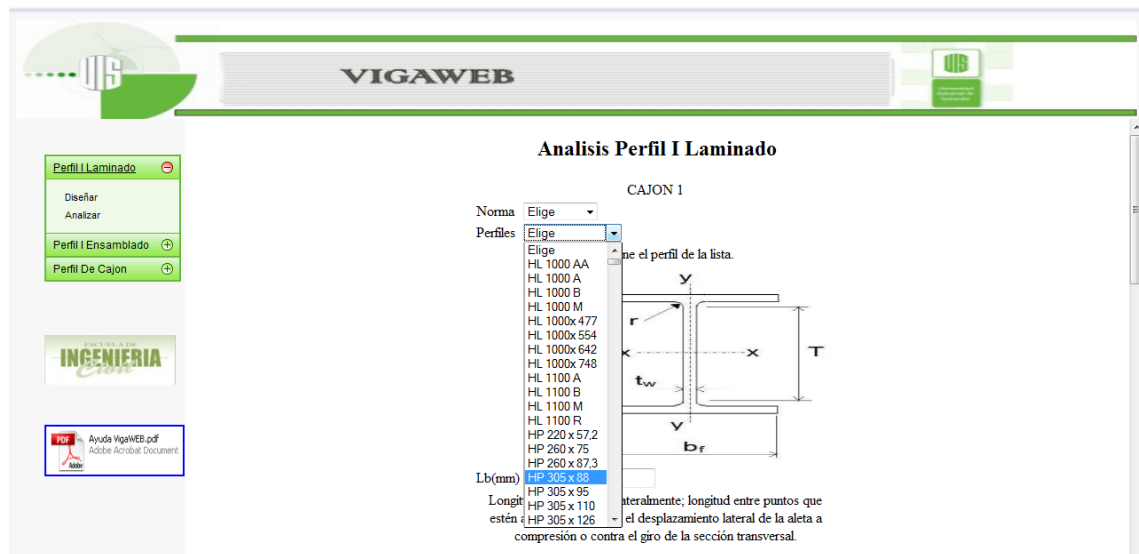


Figura 62. Selección de perfil a analizar.

Una vez ingresados los datos necesarios VIGA WEB valida los datos en cuanto a proporciones y muestra las características del perfil elegido para el análisis.

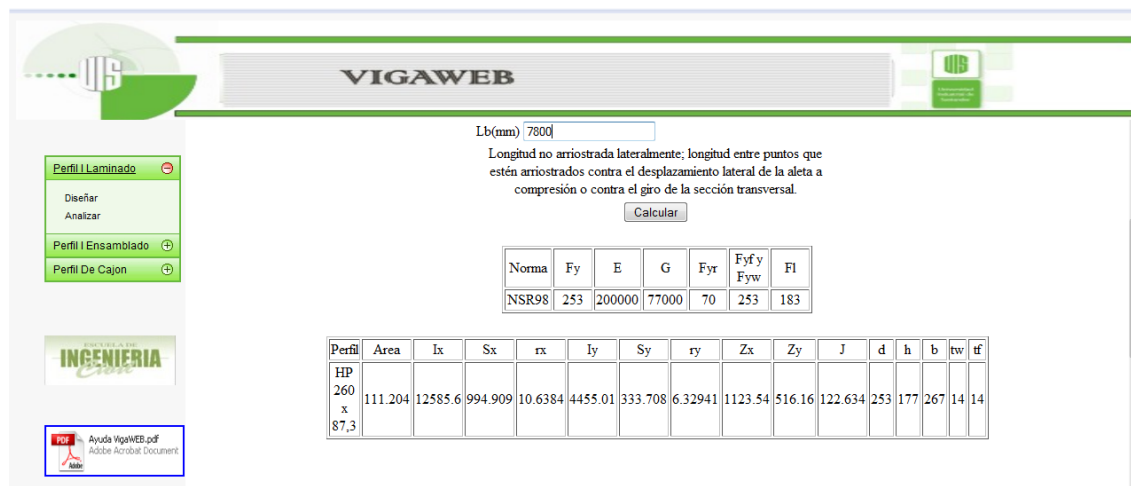


Figura 63. Características del perfil de análisis.

5.3.2 Calculo de la zona de comportamiento de la viga. Una vez ingresados los datos necesarios para el análisis de la viga, la aplicación realiza los cálculos para determinar la zona de comportamiento de la misma y mostrar los cálculos y resultados al usuario.

Recuerde que la aplicación no le permite modificar los resultados mostrados puesto que no habilita esas casillas al usuario, de modo que los resultados mostrados corresponden a los obtenidos según el algoritmo de análisis de la viga evaluada.

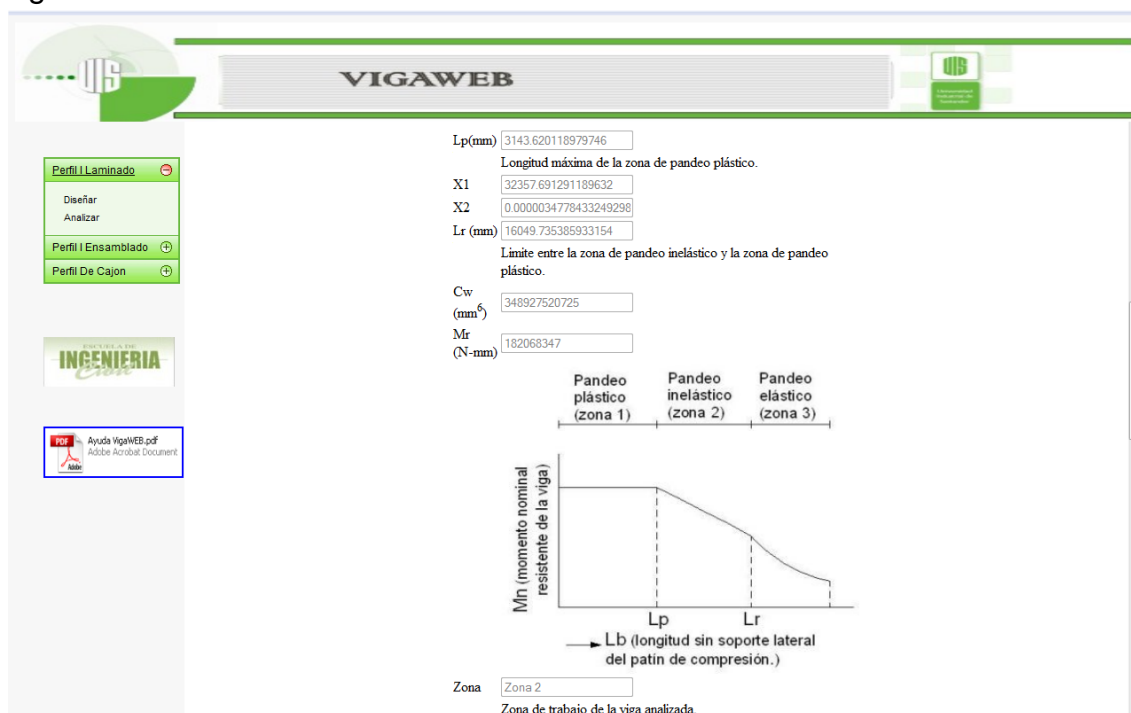


Figura 64. Zona de comportamiento de la viga de perfil I laminado analizada.

5.3.3. Cálculo del momento nominal último de la viga analizada. Después de visualizar la zona de comportamiento de la viga en proceso de diseño el programa ejecuta los cálculos relacionados de la zona previamente mostrada, si la zona de comportamiento es la 2 o 3 es necesario para ello introducir el valor C_b , por defecto este valor será (1). El usuario podrá modificar este valor una vez realice el calculo mediante la formulación mostrada en la grafica cargada por la aplicación o por alguno de los valores mostrados en la grafica con algunas de las condiciones de apoyo mas comunes para una viga.

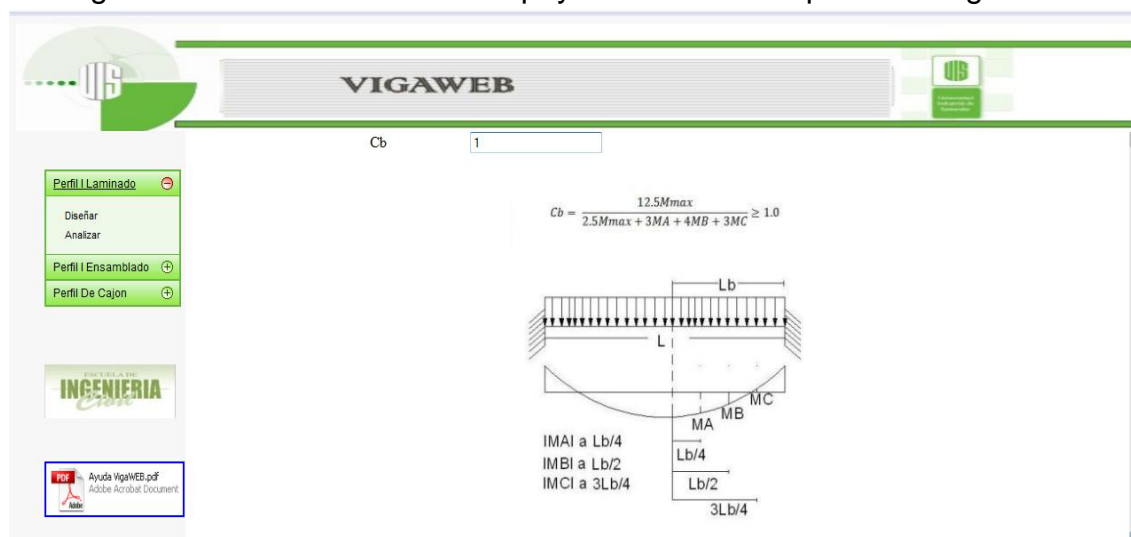


Figura 65. Valor C_b y diagrama de cálculo de este valor para análisis perfil I laminado.

Una vez ingresado el valor de C_b , se muestra el valor de los momentos calculados automáticamente por la aplicación

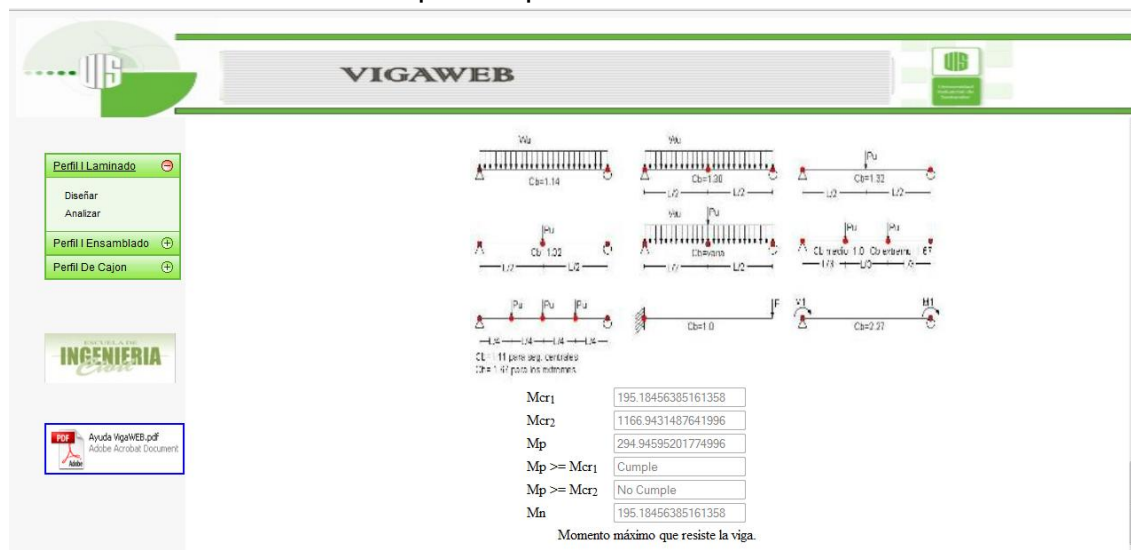


Figura 66. Momento nominal último de la viga analizada.

5.4 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS DE PERFIL I ENSAMBLADO

5.4.1 Elección de la norma de diseño. Una vez seleccionado el tipo de viga de perfil I ensamblado en su proceso de diseño, iniciamos el proceso con la elección de la norma a aplicar, sea NSR-98 o NSR-10 para cargar las variables necesarias para el diseño según la normatividad elegida.

Figura 67. Elección de la norma de diseño, diseño Viga I ensamblada.

5.4.2 Datos generales a la viga a diseñar. Debemos ingresar los datos de diseños ya calculados previamente por el usuario, que son: W_u , L_b , M_u , V_u . En las respectivas unidades referenciadas en la aplicación.

Norma	Fy	E	G	Fyr	Fyf y Fyw	Fl
NSR98	253	200000	77000	70	253	183

Figura 68. Ingreso de W_u , L_b , M_u , V_u de la viga a diseñar, diseño Viga I ensamblada.

5.4.3 Selección del Alma. Procedemos a selección la altura hw del alma, con la condición que debemos cumplir las cuales son que debemos introducir un valor entre los dos mostrados.

Figura 69. Ingreso del hw del alma, diseño Viga I ensamblada

5.4.4 Rigidizadores. Cuando llegamos a este paso del cálculo tenemos la opción de diseñar con o sin rigidizadores y hacemos esta selección.

Figura 70. Escogencia del Rigidizador, diseño Viga I ensamblada.

5.4.3.1 Con Rigidizadores.

Cuando ya hemos escogido con rigidizadores, primero que todo nos sale la opción de introducir el valor de “a”, este valor lo que es la distancia a la que se encuentra el primer rigidizador, luego de introducir este valor, saldrá la opción de introducir el tw de alma el cual está restringido por dos valores, despliega la opción y solo les saldrán los valores nominales que cumplan con estas dos restricciones, Después de que tenemos eso nos saldrá un cuadro en el cual hacemos el chequeo del campo no tensionado haber si el “a” cumple con el cortante de diseño en caso contrario debemos cambiar el “a” hasta que cumpla esta condición.

Con Rigidizadores

$$1700 \cdot ((f_y)^{1/2}) \leq h_w/t_w \leq 2550 \cdot ((f_y)^{1/2})$$

$$14.03468269463547 \geq t_w \geq 9.35645512975698$$

Rigidizadores intermedios
Soldadura intermitente
Rigidizador de apoyo

Para que podamos decir que necesitamos rigidizadores el alma debe ser esbelta y por ende $h_w/t_w > 260$

tw ≤ 5.769230769230769
tw ≥ 4.588261650169288
tw = 4.76

Para Campo No Tensionado

kv 50
Vn (KN) 654.2910677333332
ΦVn (KN) 588.8619609599999
ΦVn ≥ Vu Cumple

Figura 71. Escogencia del a, tw y chequeo, diseño Viga I ensamblada.

Después de esto seguimos con el chequeo del campo tensionado, en este nos sale la opción de introducir un valor de a_1 y de Vu_1 , estos valores son la distancia de los siguientes rigidizadores y el cortante correspondiente a la distancia del rigidizador, al igual que en el de campo no tensionado uno debe introducir el valor de a_1 y de Vu_1 hasta que cumpla y tantas veces como rigidizadores desee calcular consecutivamente.

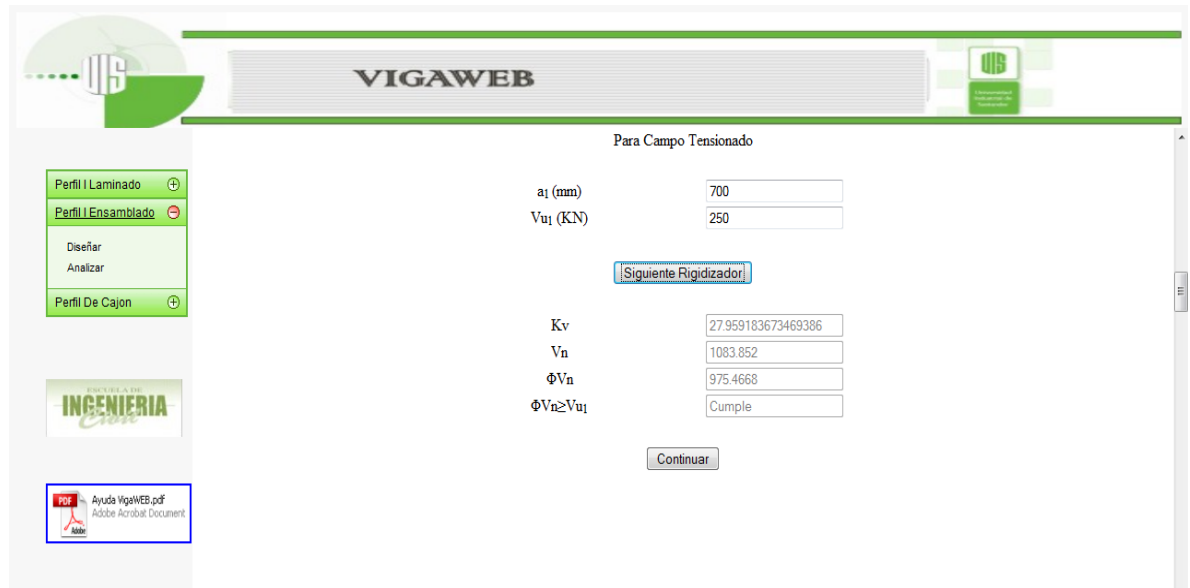


Figura 72. Chequeo para Campo Tensionado, diseño Viga I ensamblada.

5.4.3.2 Sin Rigidizadores.

Cuando ya hemos escogido sin rigidizadores, nos sale la opción de escoger el espesor del alma t_w con la restricción que nos limita la escogencia a los valores nominales que se encuentre entre esos valores.



Figura 73. Selección del t_w , diseño Viga I ensamblada.

5.4.4. Pre dimensionamiento de los patines. En esta parte asumimos un valor de t_f a gusto y a su vez tomamos un b_f mayor al estimado por la condición anteriormente mostrada en la pantalla



Figura 74. Selección del t_f y del b_f , diseño Viga I ensamblada.

5.4.5 Estado Limite torsional Lateral. En esta parte solo debemos incluir el valor del C_b que por defecto es 1 pero si desea calcular el programa presenta la formula y unos ejemplos de cálculo.

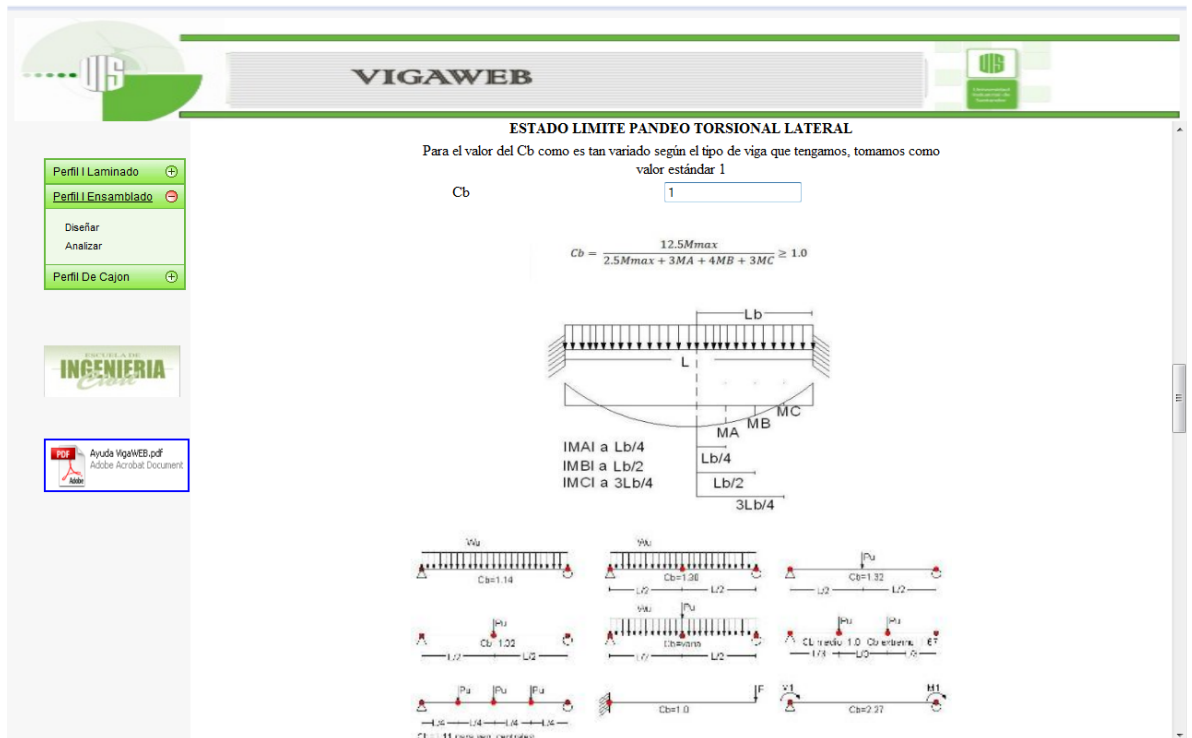


Figura 75. Cálculo del C_b , diseño Viga I ensamblada.

Después de todo esto nos muestra los calculo tipo y nos pide el valor de R_e que por defecto es 1 para vigas no híbridas como las que manejamos.

Y adicionalmente nos muestra los valores estimados de los momentos para este estado límite.

VIGAWEB

Parámetro de esbeltez de la sección

λ

Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_p

Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

λ_r

Zona correspondiente al parámetro de esbeltez de la sección

Zona

Esfuerzo crítico de la zona correspondiente al parámetro de esbeltez de la sección

F_{cr}

$M_n = S_x R_e F_y$, Para plastificación de la aleta en tensión

$M_n = S_x R_e R_{PG} F_y$, Para pandeo de la aleta en compresión

R_e

M_{nt} (KN-m)

M_{nc} (KN-m)

Figura 76. Resultados del estado limite, diseño Viga I ensamblada.

5.4.6 Estado Limite pandeo de la aleta. En esta parte solo debemos incluir el valor del C_b que por defecto es 1 pero si desea calcular el programa presenta la formula y unos ejemplos de cálculo.

VIGAWEB

ESTADO LIMITE PANDEO LOCAL DE LA ALETA

C_b

$$C_b = \frac{12.5M_{max}}{2.5M_{max} + 3M_A + 4M_B + 3M_C} \geq 1.0$$

Diagrama de una viga con una carga distribuida y momentos MA, MB, MC en los puntos A, B, C. Las distancias son Lb/4, Lb/2, y 3Lb/4.

IM_A a $Lb/4$
 IM_B a $Lb/2$
 IM_C a $3Lb/4$

Ejemplos de cálculo de C_b para diferentes tipos de carga y apoyo:

- Carga distribuida, apoyo fijo en A y B: $C_b = 1.14$
- Carga distribuida, apoyo fijo en A y B, momento en B: $C_b = 1.36$
- Carga distribuida, apoyo fijo en A y B, momento en C: $C_b = 1.32$
- Carga puntual en B, apoyo fijo en A y B: $C_b = 1.02$
- Carga puntual en B, apoyo fijo en A y B, momento en B: $C_b = 1.0$
- Carga puntual en B, apoyo fijo en A y B, momento en C: $C_b = 1.0$
- Carga puntual en B, apoyo fijo en A y B, momento en A: $C_b = 1.0$
- Carga puntual en B, apoyo fijo en A y B, momento en C: $C_b = 2.07$

CL = 11 para seg. cerchas

Figura 77. Cálculo del C_b , diseño Viga I ensamblada.

Después de todo esto nos muestra los calculo tipo y nos pide el valor de Re que por defecto es 1 para vigas no hibridas como las que manejamos. Y adicionalmente nos muestra los valores estimados de los momentos para este estado límite y adicionalmente nos muestra cual de los 4 momentos es el Mn ultimo de diseño y lo compara con el Mu y nos dice si cumple la sección o no.

VIGAWEB

RESUMEN

Perfil | Laminado (+)

Perfil | Ensamblado (-)

Diseñar

Analizar

Perfil De Cajon (+)

ESCUELA DE INGENIERIA Civil

Ayuda VigaWEB.pdf
Adobe Acrobat Document

ESTADO LIMITE PANDEO TORSIONAL LATERAL

Momento nominal a tensión por chequeo del estado limite de pandeo torsional lateral

Mnt (KN-m)

Momento nominal a compresión por chequeo del estado limite de pandeo torsional lateral

Mnc (KN-m)

ESTADO LIMITE PANDEO LOCAL DE LA ALETA

Momento nominal a tensión por chequeo del estado limite de pandeo local de la aleta

Mnt (KN-m)

Momento nominal a compresión por chequeo del estado limite de pandeo local de la aleta

Mnc (KN-m)

Mn

Mn ≥ Mu

Figura 78. Resumen de resultados de los estados, diseño Viga I ensamblada.

5.4.7 Chequeo del Lpd. En esta última parte lo que se desea hacer es el cheque de el valor del Lpd, por consiguiente este cheque solo se hace si la viga es súper estática y además es de sección compacta si lo es se hace el chequeo de lo contrario no. Toca introducirle si la curvatura presentada es doble o sencilla, se muestra la grafica a que hace referencia a ese tipo de curvaturas, luego debe introducir los valores del M1 y del M2 que son los momentos a los extremos de la viga el menor y el mayor respectivamente, el cálculo arrojado lo que nos dice es si podemos o no evaluar las la viga por el método plástico y no elástico como por lo general se realiza.

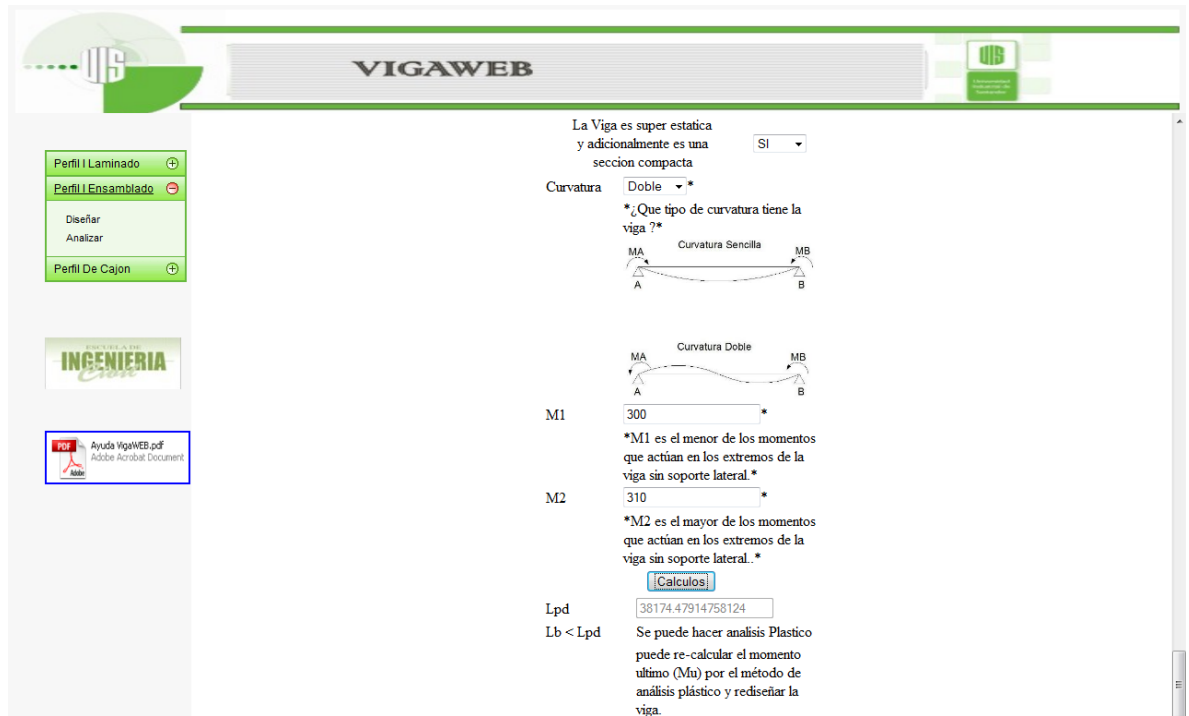


Figura 79. Chequeo del Lpd, diseño Viga I ensamblada.

5.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS DE VIGAS DE PERFIL I ENSAMBLADO.

5.5.1 Elección de la norma de diseño. Una vez seleccionado el tipo de viga de perfil I ensamblado en su proceso de diseño, iniciamos el proceso con la elección de la norma a aplicar, sea NSR-98 o NSR-10 para cargar las variables necesarias para el diseño según la normatividad elegida.

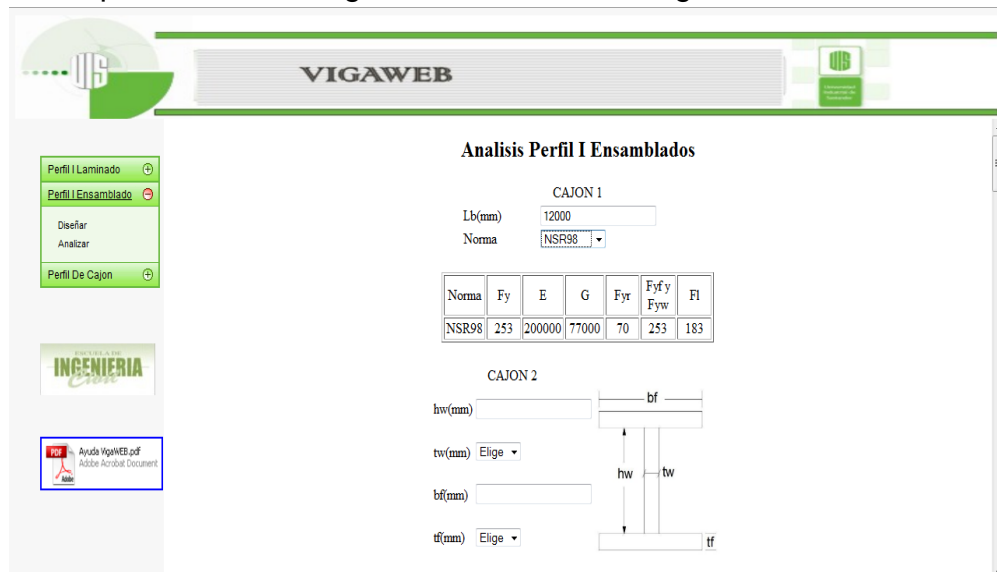


Figura 80. Elección de la norma de diseño, análisis Viga I ensamblada.

5.5.2 Seleccionamos las dimensiones del perfil. Introducimos las dimensiones de la viga que deseamos analizar.

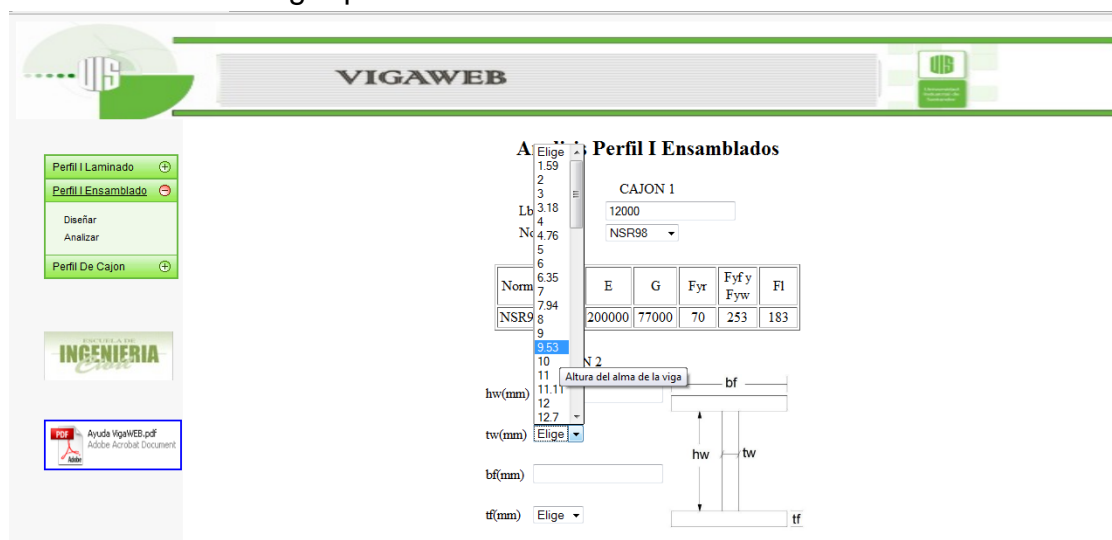


Figura 81. Elección de las dimensiones de la viga, análisis Viga I ensamblada.

5.5.3 Rigidizadores. Cuando llegamos a este paso del análisis tenemos la opción de chequear con o sin rigidizadores y hacemos esta selección.

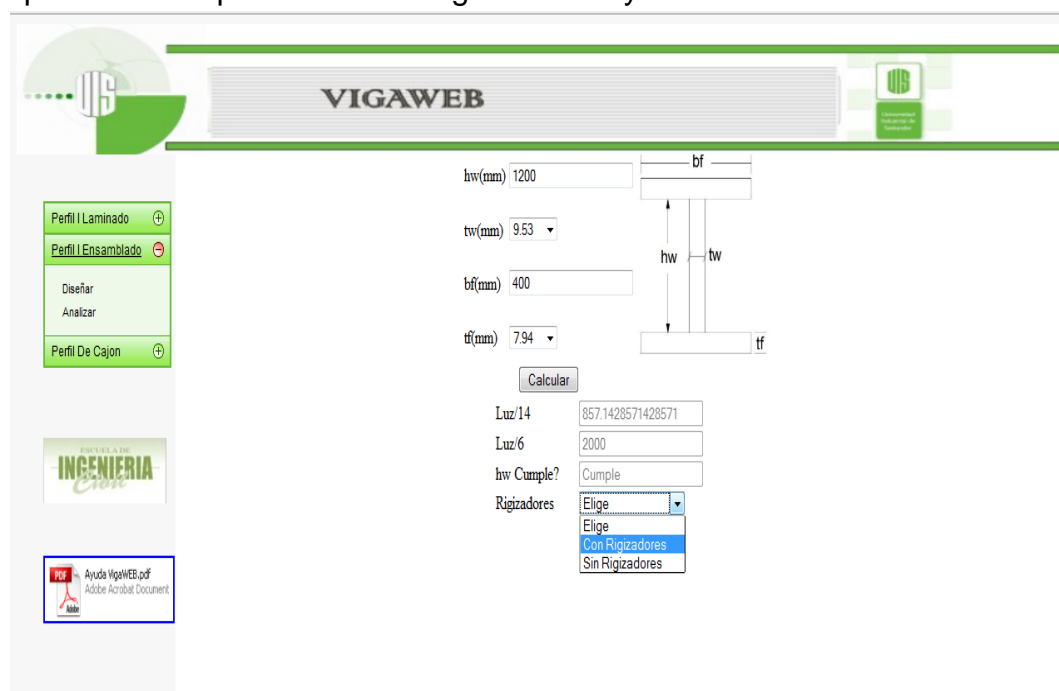


Figura 82. Elección del rigidizador, análisis Viga I ensamblada.

5.5.3.1 Con Rigidizadores.

Cuando ya hemos escogido con rigidizadores, primero que todo nos sale la opción de introducir el valor de “a”, este valor lo que es la distancia a la que se

encuentra el primer rigidizador, luego de introducir este valor, saldrá la opción de introducir el tw de alma el cual está restringido por dos valores, despliega la opción y solo les saldrán los valores nominales que cumplan con estas dos restricciones, Después de que tenemos eso nos saldrá un cuadro en el cual hacemos el chequeo del campo no tensionado haber si el “a” cumple con el cortante de diseño en caso contrario debemos cambiar el “a” hasta que cumpla esta condición.

Figura 83. Chequeo de a y el cortante, análisis Viga I ensamblada.

Después de esto seguimos con el chequeo del campo tensionado, en este nos sale la opción de introducir un valor de a_1 y de Vu_1 , estos valores son la distancia de los siguientes rigidizadores y el cortante correspondiente a la distancia del rigidizador, al igual que en el de campo no tensionado uno debe introducir el valor de a_1 y de Vu_1 hasta que cumpla y tantas veces como rigidizadores desee calcular consecutivamente.

Figura 84. Chequeo del a1 y del cortante, análisis Viga I ensamblada.

5.5.3.2 Sin Rigidizadores.

Cuando ya hemos escogido sin rigidizadores, nos sale la opción de escoger el espesor del alma t_w con la restricción que nos limita la escogencia a los valores nominales que se encuentre entre esos valores.

Figura 85. Comprobación sin Rigidizador, análisis Viga I ensamblada.

5.5.4 Estado Limite torsional Lateral. En esta parte solo debemos incluir el valor del Cb que por defecto es 1 pero si desea calcular el programa presenta la formula y unos ejemplos de cálculo.

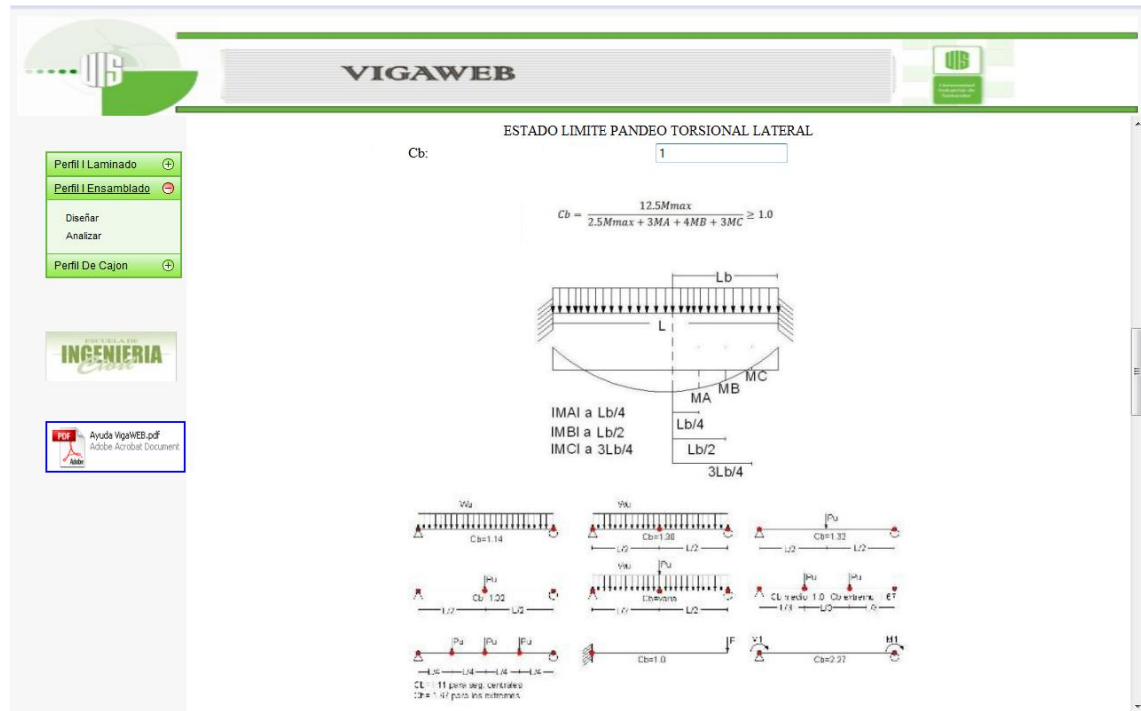


Figura 86. Calculo del Cb, análisis Viga I ensamblada.

Después de todo esto nos muestra los calculo tipo y nos pide el valor de Re que por defecto es (1) para vigas no hibridas como las que manejamos. Y adicionalmente nos muestra los valores estimados de los momentos para este estado límite

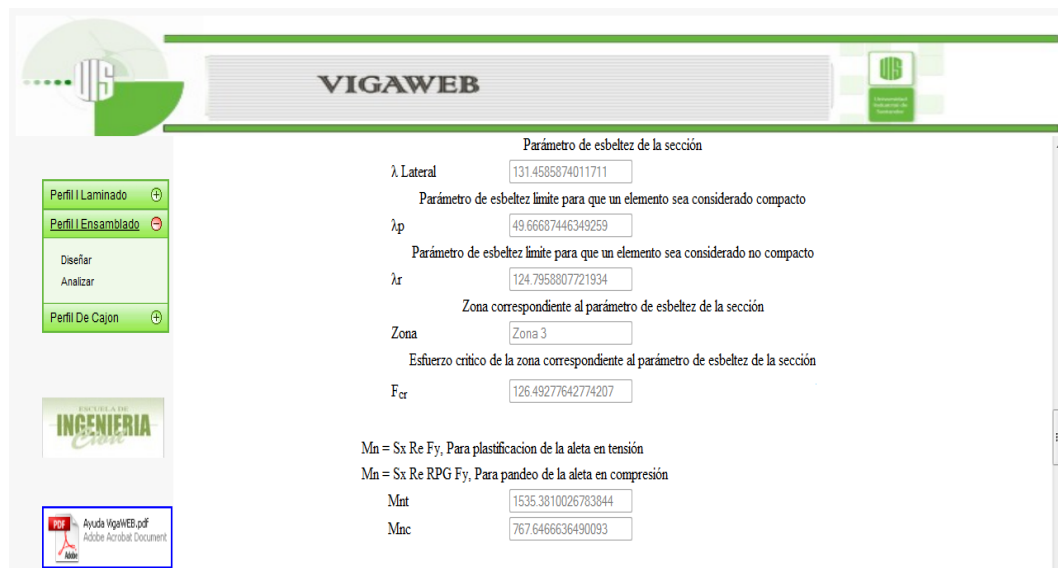


Figura 87. Resultados del estado limite, análisis Viga I ensamblada.

5.5.5 Estado Limite pandeo de la aleta. En esta parte solo debemos incluir el valor del C_b que por defecto es 1 pero si desea calcular el programa presenta la formula y unos ejemplos de cálculo.

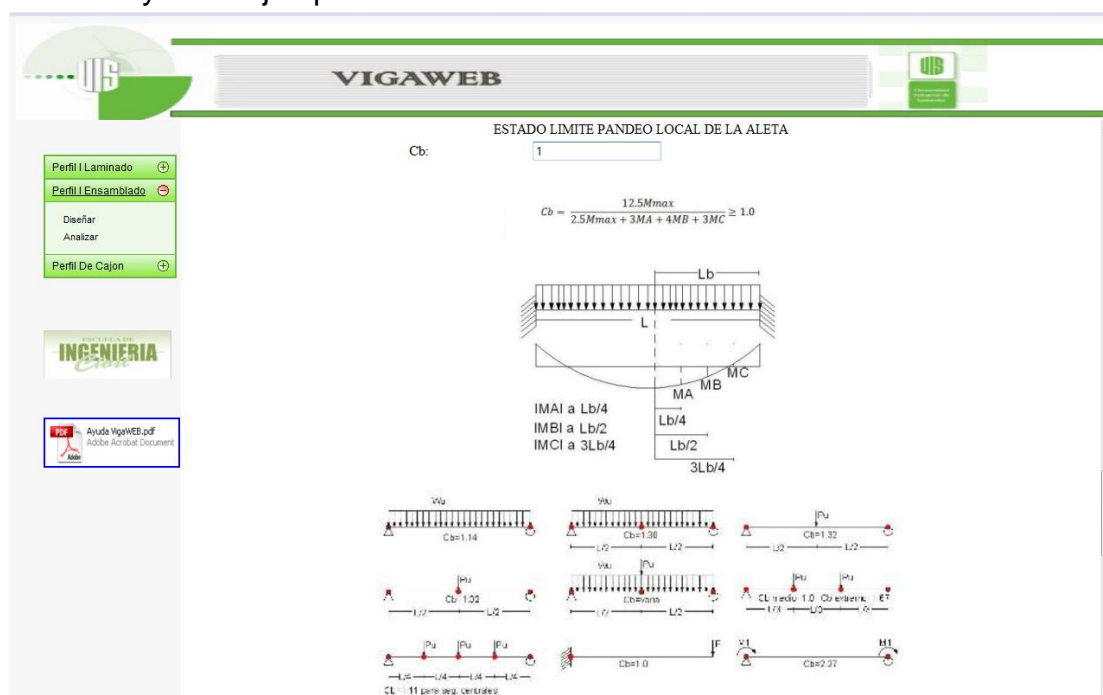


Figura 88. Calculo del C_b , análisis Viga I ensamblada.

Después de todo esto nos muestra los calculo tipo y nos pide el valor de R_e que por defecto es 1 para vigas no híbridas como las que manejamos. Y adicionalmente nos muestra los valores estimados de los momentos para este estado límite.

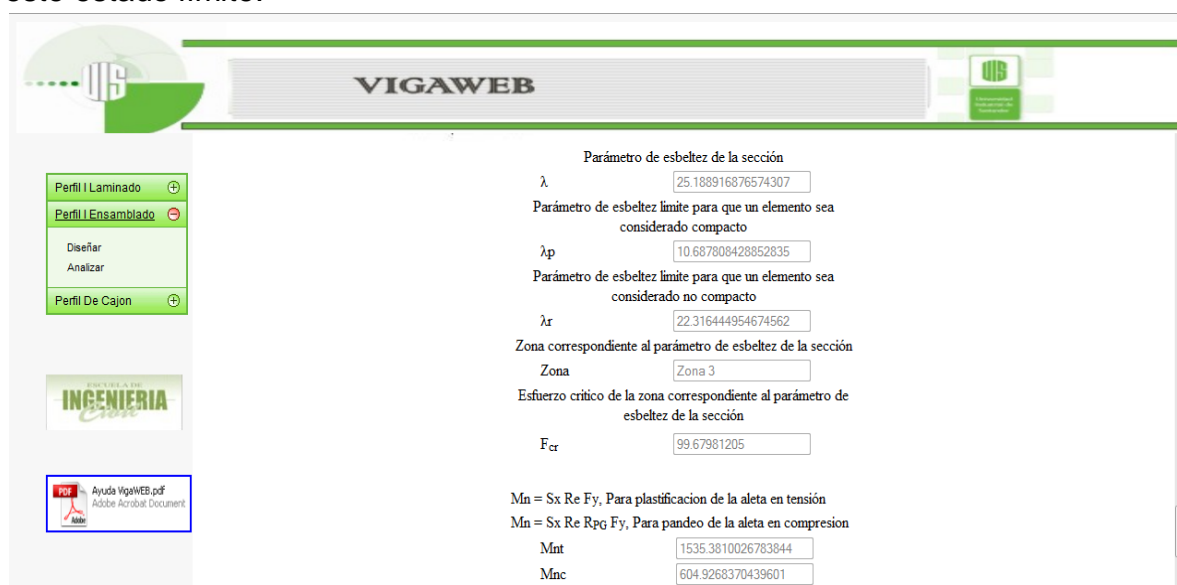


Figura 89. Resultados del estado limite, análisis Viga I ensamblada.

Por último tenemos el cuadro de resumen con todos los cuatro momentos y el momento nominal que resiste la viga.

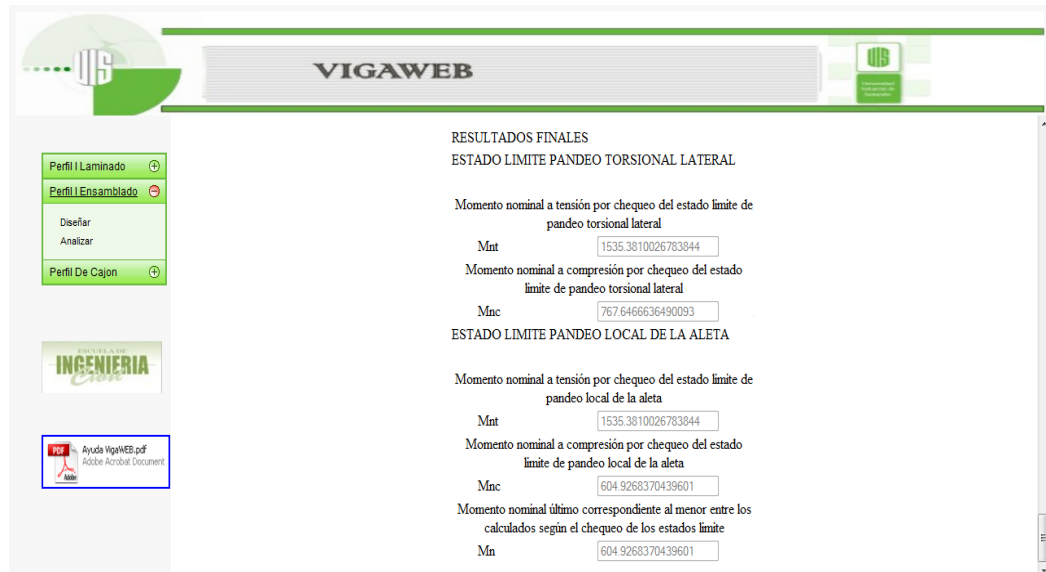


Figura 90. Resumen de resultados de los estados, análisis Viga I ensamblada.

5.6 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE DISEÑO VIGAS TIPO CAJÓN.

5.6.1 Elección de la norma de diseño y datos generales de la sección. Una vez seleccionado el tipo de viga de perfil cajón en su proceso de diseño, iniciamos con el ingreso de los datos de diseños ya calculados previamente por el usuario, que son: W_u , L_b , M_u , V_u . En las respectivas unidades referenciadas en la aplicación. Posteriormente elegimos la norma a aplicar, sea NSR-98 o NSR-10 para cargar las variables necesarias para el diseño según la normatividad elegida.

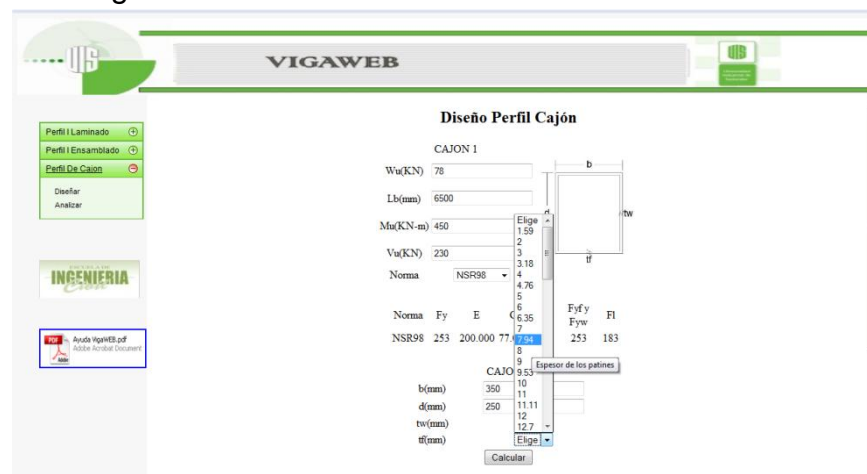


Figura 91. Datos generales de diseño de la viga tipo cajón.

Una vez elegida la norma debemos ingresar las dimensiones de la sección teniendo en cuenta las respectivas unidades. Al ingresar los espesores de la sección, la aplicación mostrará solo los valores nominales de la misma en milímetros y en valores decimales correspondientes a los valores nominales en pulgadas convertirlos a milímetros, por tanto recomendamos al usuario conocer los valores nominales en pulgadas convertidos a milímetros.

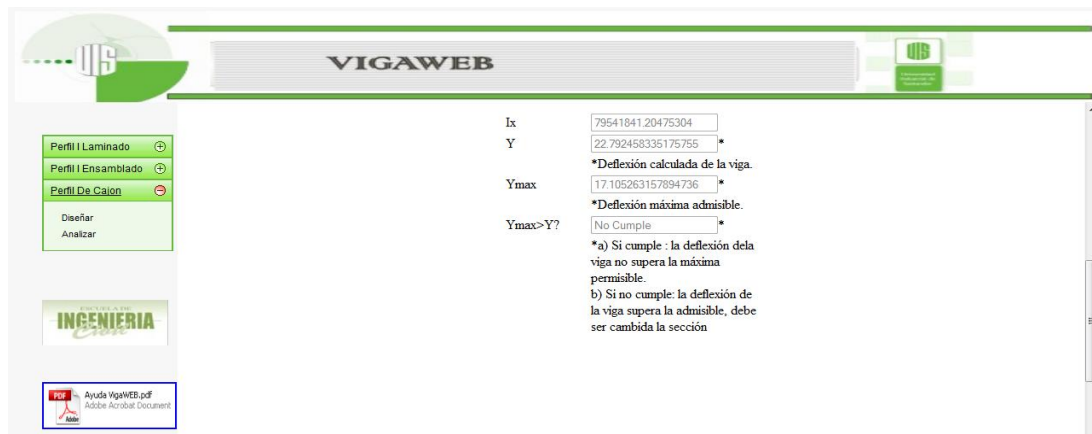


Figura 92. Cálculo y chequeo de la deflexión máxima de la viga cajón.

5.6.2 Chequeo de la deflexión máxima de la viga. Una vez definida la sección por el usuario, la aplicación procede a calcular la deflexión máxima de la viga, de modo que si la deflexión de la viga supera la máxima se debe cambiar la sección.

Recomendamos al momento de rediseñar la sección cambiar inicialmente el valor de (d) referente a la altura de la sección.

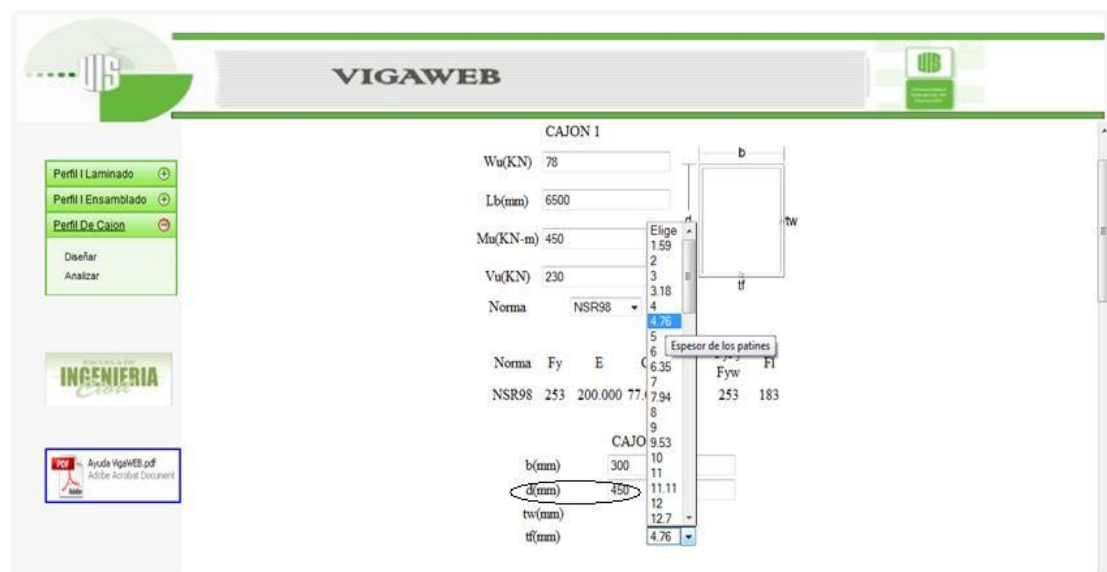


Figura 93. Redimensionamiento de la sección cajón.

Hasta que no supere el chequeo de deflexión el usuario no podrá continuar con el diseño de la viga.

The screenshot shows the VIGAWEB software interface with the following data and controls:

- Ix:** 322444664.14021945
- Y:** 5.622527841782218 *
- *Deflexión calculada de la viga.**
- Ymax:** 17.105263157894736 *
- *Deflexión máxima admisible.**
- Ymax>Y?** Cumple *
- *a) Si cumple :** la deflexión de la viga no supera la máxima permisible.
- b) Si no cumple:** la deflexión de la viga supera la admisible, debe ser cambiada la sección
- Continuar** button

Figura 94. Chequeo de la deflexión de la viga.

5.6.3 Calculo de la zona de comportamiento de la viga cajón. Una vez superado el chequeo de la deflexión de la viga, la aplicación procede a calcular todas las variables necesarias para estimar la zona de comportamiento, estas variables serán observadas por el usuario pero en ningún caso podrán ser modificadas, para finalmente evaluar y publicar la zona de comportamiento de la viga según el algoritmo necesario para este tipo de viga.

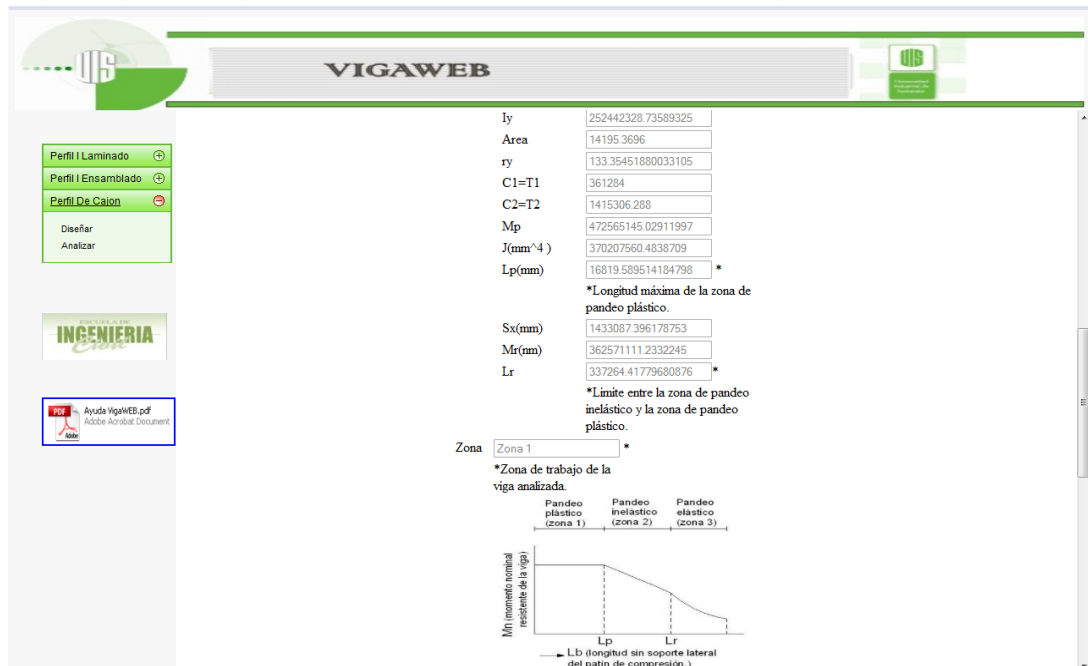


Figura 95. Evaluación de la zona de comportamiento de la viga cajón.

5.6.4 Calculo de Cb para la viga diseñada. Después de visualizar la zona de comportamiento de la viga en proceso de diseño la aplicación ejecuta los cálculos relacionados de la zona previamente mostrada, si la zona de comportamiento es la 2 o 3 es necesario introducir el valor Cb, por defecto este valor será (1).

El usuario podrá modificar este valor una vez realice el calculo mediante la formulación mostrada en la grafica cargada por la aplicación o por alguno de los valores mostrados en la grafica con algunas de las condiciones de apoyo mas comunes para una viga.

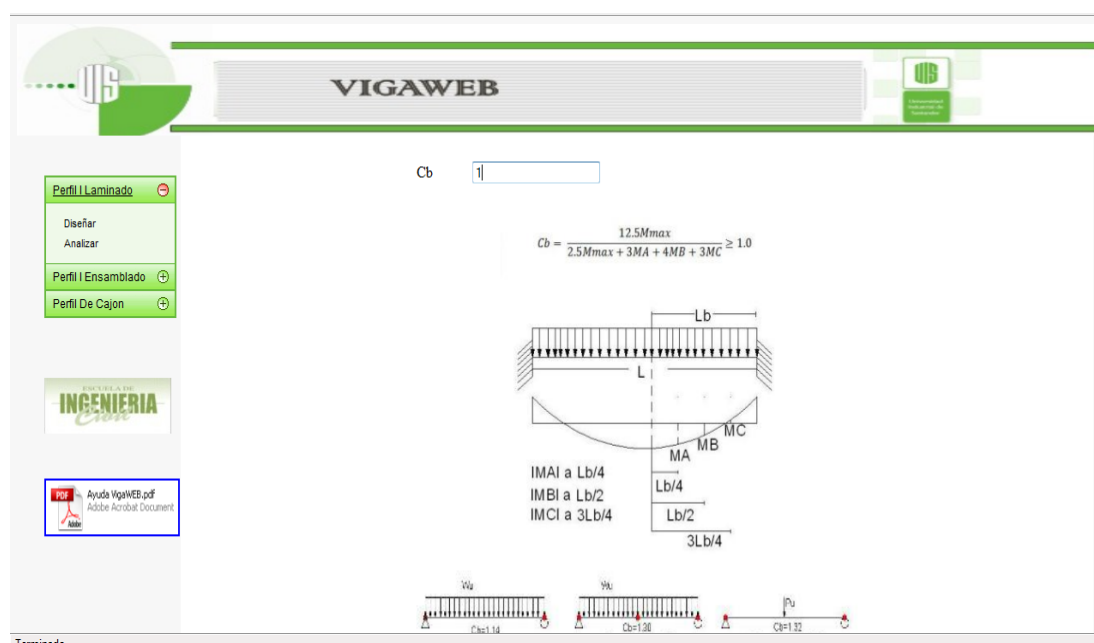


Figura 96. Valor Cb y diagrama de cálculo de este valor.

Una vez ingresado el valor de Cb, se muestra el valor de los momentos calculados automáticamente por la aplicación y la evaluación de la viga diseñada respecto a la solicitud, mostrando si cumple o no cumple con ello

5.6.5 Calculo del momento nominal último de la viga diseñada. Después de visualizar la zona de comportamiento de la viga en proceso de diseño, la aplicación ejecuta los cálculos relacionados de la zona previamente mostrada, para finalmente evaluar el momento nominal ultimo de la viga, el cual corresponde al menor de los momentos calculados previamente.

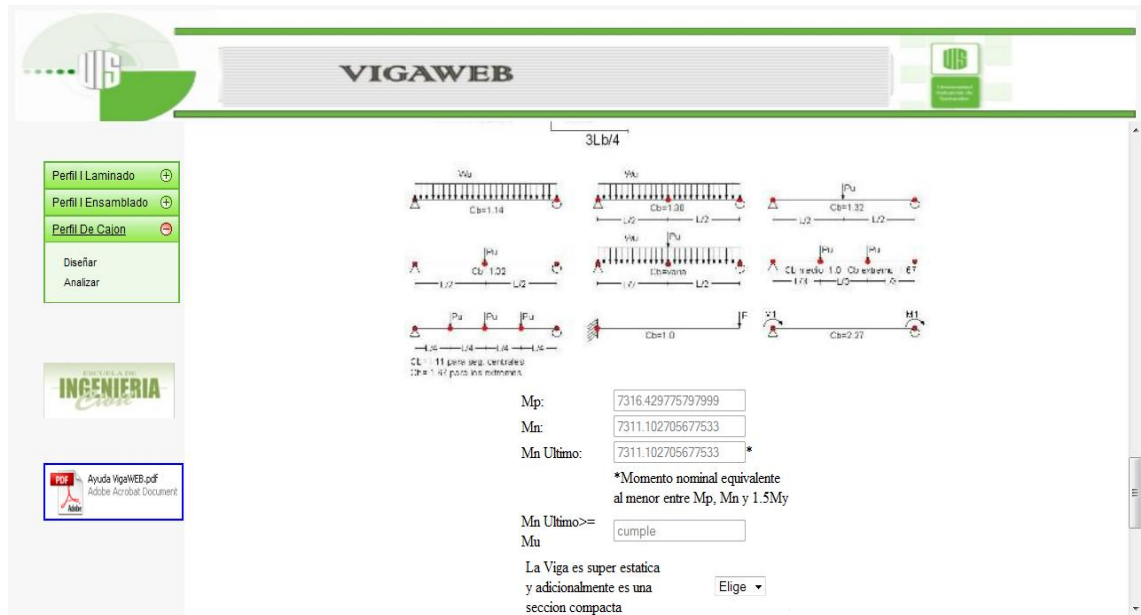


Figura 97. Momento nominal ultimo viga cajón.

5.6.6 Calculo de Lpd y observación para momento de diseño. Si el diseño realizado cumple con la sollicitación requerida, la aplicación continúa con el chequeo de la Límite plástico de Diseño. (LPD), para ello el usuario debe elegir si la viga es hiper-estatica y de sección compacta.

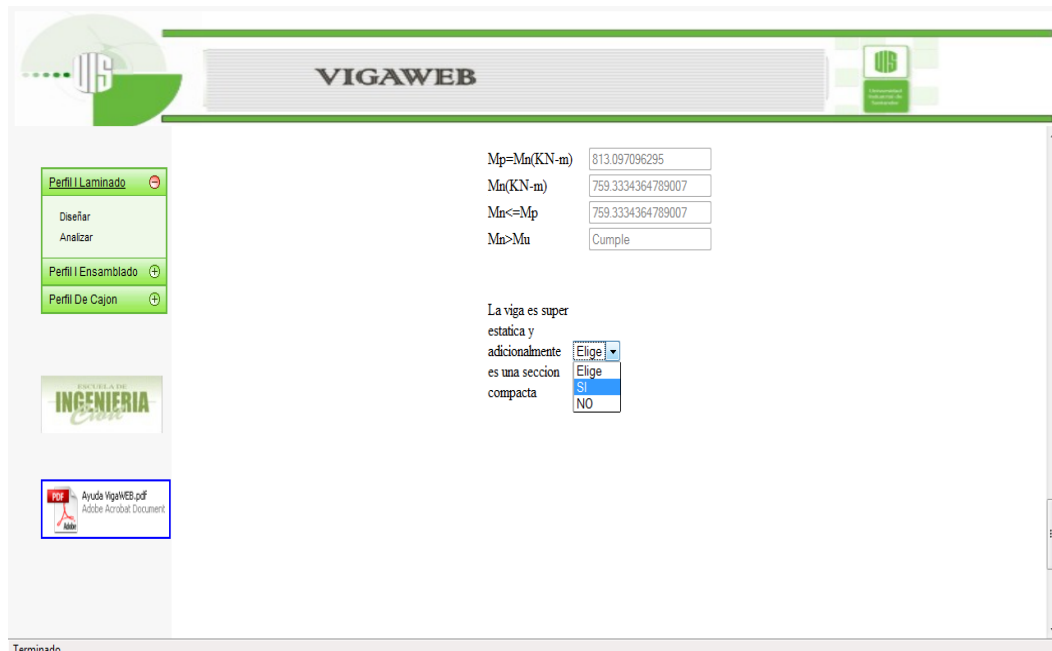


Figura 98. Elección de la condición de apoyo y de sección de la viga.

Si la viga cumple con las condiciones previamente evaluadas por el usuario, este deberá e ingresar el momento menor y mayor de ella y elegir el tipo de curvatura presente en la viga, sea doble o sencilla.

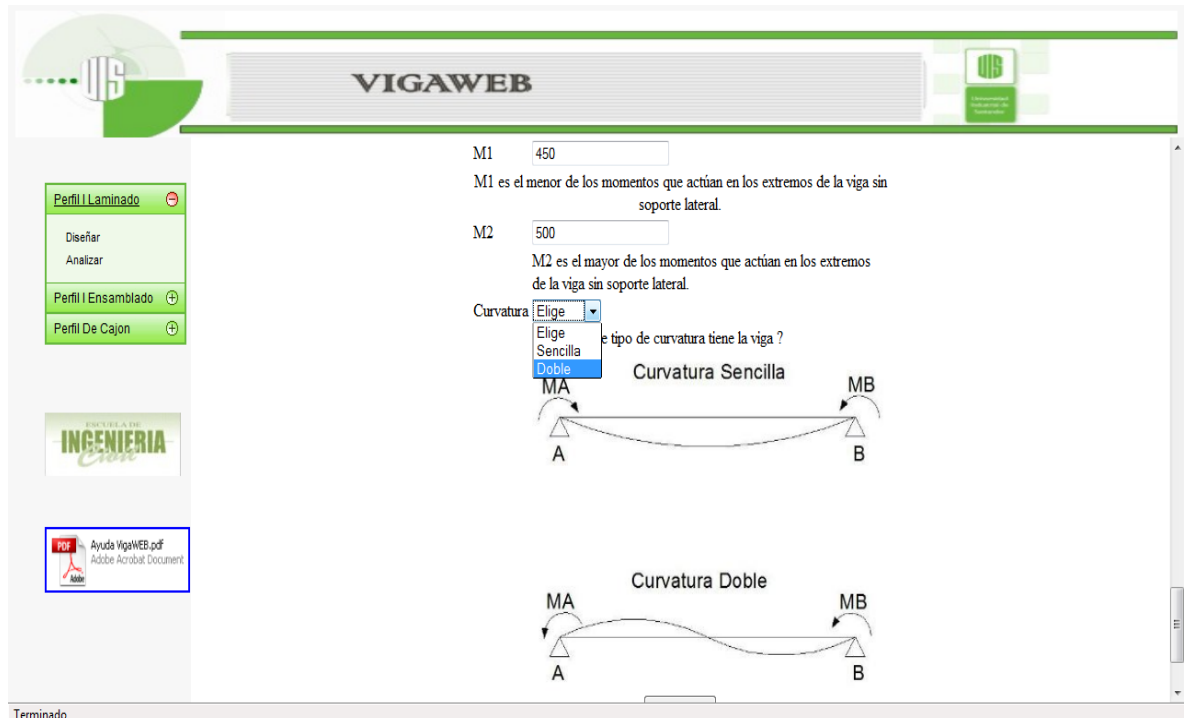


Figura 99. Elección del tipo de curvatura de la viga.

Finalmente la aplicación evaluará automáticamente la condición del L_{pd} respecto a L_b , dado el caso mostrara si es posible rediseñar la viga mediante la evaluación de un nuevo momento de diseño por el método de análisis plástico, o si finalmente solo es posible diseñar por el momento de diseño elástico, en cuyo caso habrá finalizado todo el procedimiento de diseño de la viga.

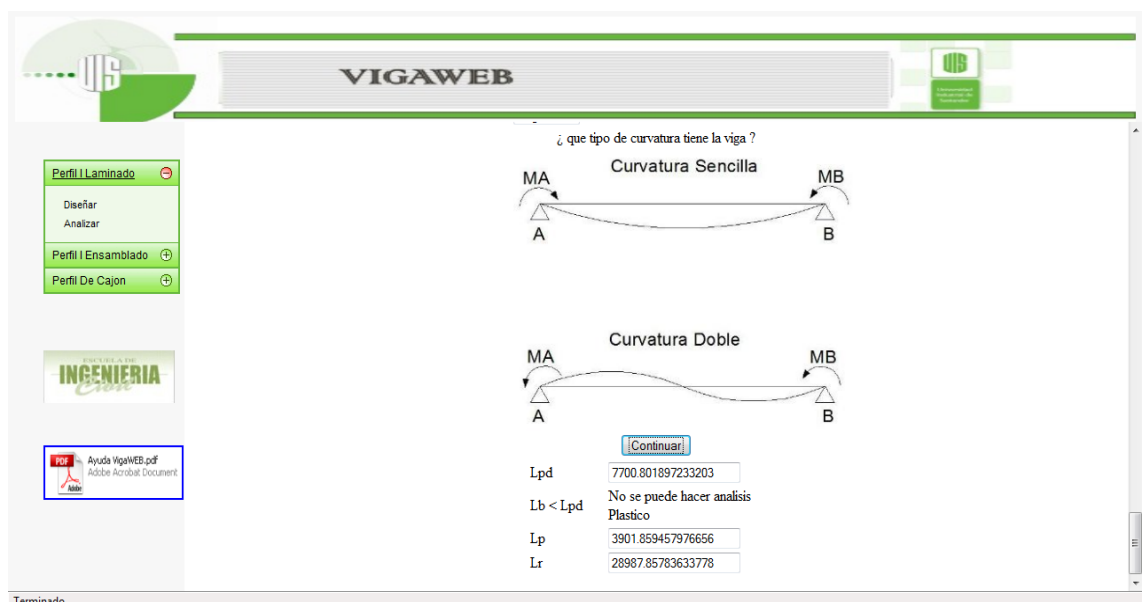


Figura 100. Evaluación de L_{pd} .

5.7 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ANÁLISIS VIGAS DE PERFIL I LAMINADO.

5.7.1 Datos generales de la viga a analizar. Para el análisis de la viga tipo cajón inicialmente ingresamos el valor de L_b en su respectiva unidad y elegimos la norma a aplicar en el análisis.

Analisis Perfil Cajón

CAJON 1

Lb(mm)

Norma

Norma	Fy	E	G	Fyr	Fyf y Fyw	FI
NSR98	253	200000	77000	70	253	183

CAJON 2

b(mm)

d(mm)

tw(mm)

tf(mm)

Figura 101. Ingreso de datos generales para el análisis de una viga cajón.

Posteriormente ingresamos los valores de la sección, teniendo en cuenta que los espesores se encuentran pre dimensionados por la aplicación según los valores nominales de los mismos todos en milímetros, entre ellos lo nominales en pulgadas previamente convertidos a milímetros.

Analisis Perfil Cajón

CAJON 1

Lb(mm)

Norma

Norma	Fy	E	G	Fyr	Fyf y Fyw	FI
NSR98	253	200000	77000	70	253	183

CAJON 2

b(mm)

d(mm)

tw(mm)

tf(mm)

Elige

- 1.59
- 2
- 3
- 3.18
- 4
- 4.76
- 5
- 6
- 6.35
- 7
- 7.94
- 8
- 9
- 9.53
- 10
- 11
- 11.11
- 12
- 12.7

Espeesor de los patines

Calcular

Figura 102. Dimensiones de la sección tipo cajón.

5.7.2 Calculo de la zona de comportamiento de la viga. Una vez ingresados los datos necesarios para el análisis de la viga, la aplicación realiza los cálculos para determinar la zona de comportamiento de la misma y mostrar los cálculos y resultados al usuario. En este caso la aplicación no muestra la deflexión de la viga, teniendo en cuenta que este es un parámetro solo de diseño.

La aplicación muestra de forma ordenada los valores de los cálculos necesarios para ello, de forma que el usuario pueda observar como es el procedimiento paso a paso en cuanto al cálculo de la zona de comportamiento y los demás apartes necesarios para culminar el chequeo de la sección analizada.

Recuerde que las diferentes zonas de comportamiento contiene cálculos y procedimientos completamente independientes debido a que los chequeos según el algoritmo de análisis y diseño de las vigas tipo cajón varia de acuerdo a la zona.

A continuación se muestra una figura con los cálculos necesarios para estimar la zona de comportamiento de la viga en forma ordenada.

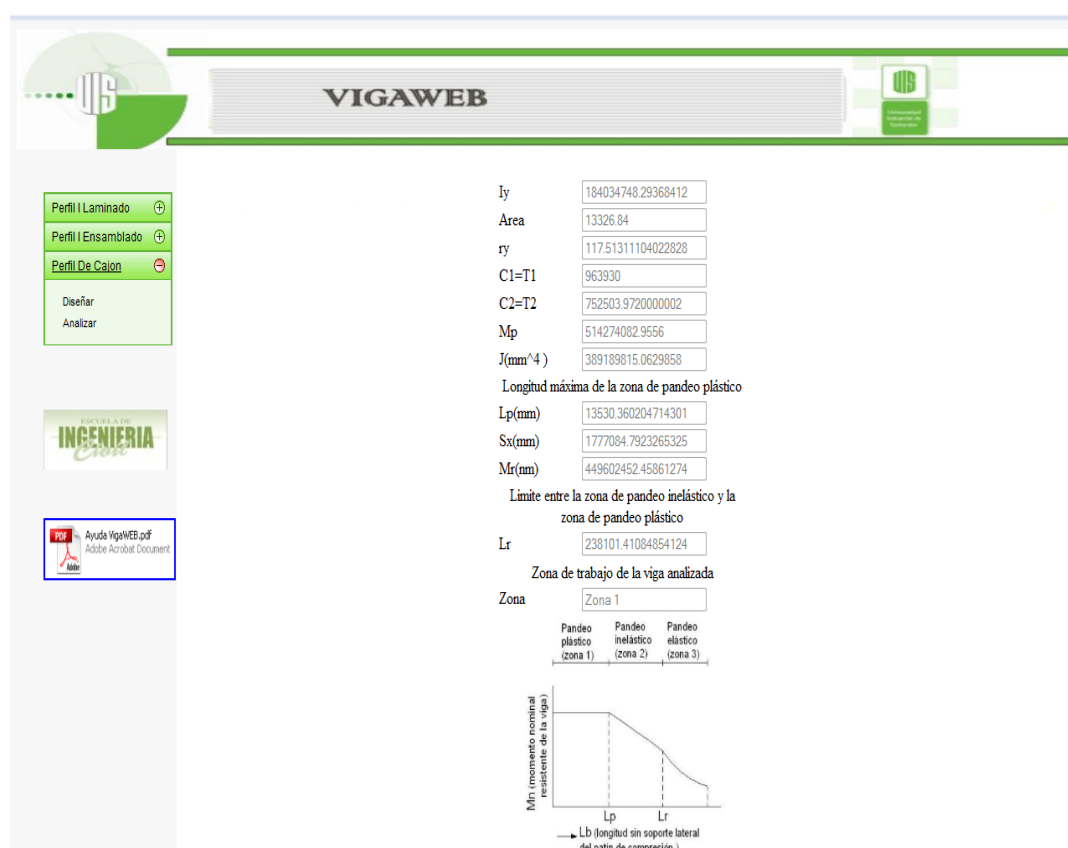


Figura 103. Zona de comportamiento del análisis de una viga cajón.

5.7.3 Calculo del momento nominal último del análisis de la viga cajón.

Después de visualizar la zona de comportamiento de la viga en proceso de diseño el programa ejecuta los cálculos relacionados de la zona previamente

mostrada, si la zona de comportamiento es la 2 o 3 es necesario para ello introducir el valor C_b , por defecto este valor será (1). El usuario podrá modificar este valor una vez realice el calculo mediante la formulación mostrada en la grafica cargada por la aplicación o por alguno de los valores mostrados en la grafica con algunas de las condiciones de apoyo mas comunes para una viga.

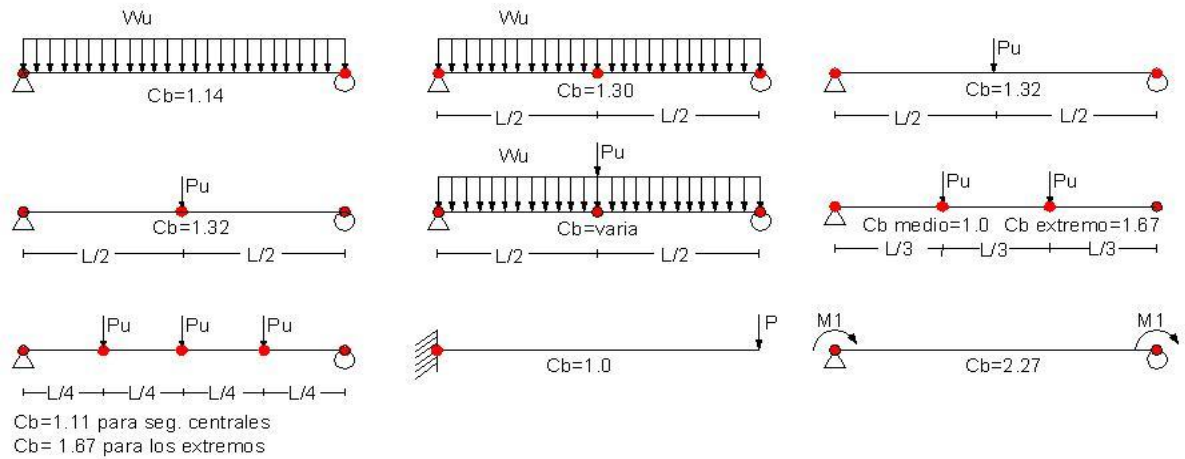


Figura 104. Valor de C_b previamente calculados.

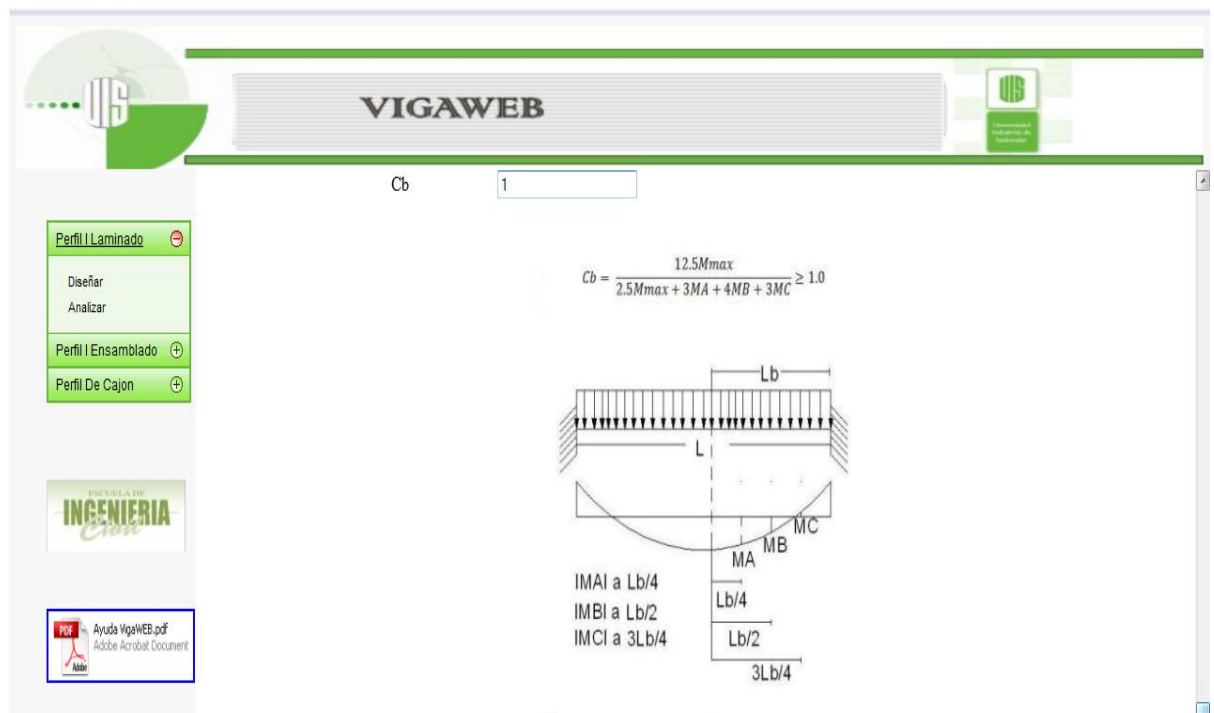


Figura 105. Valor C_b y diagrama de cálculo de este valor para análisis viga cajón.

Una vez ingresado el valor de C_b , se muestra el valor de los momentos calculados automáticamente por la aplicación

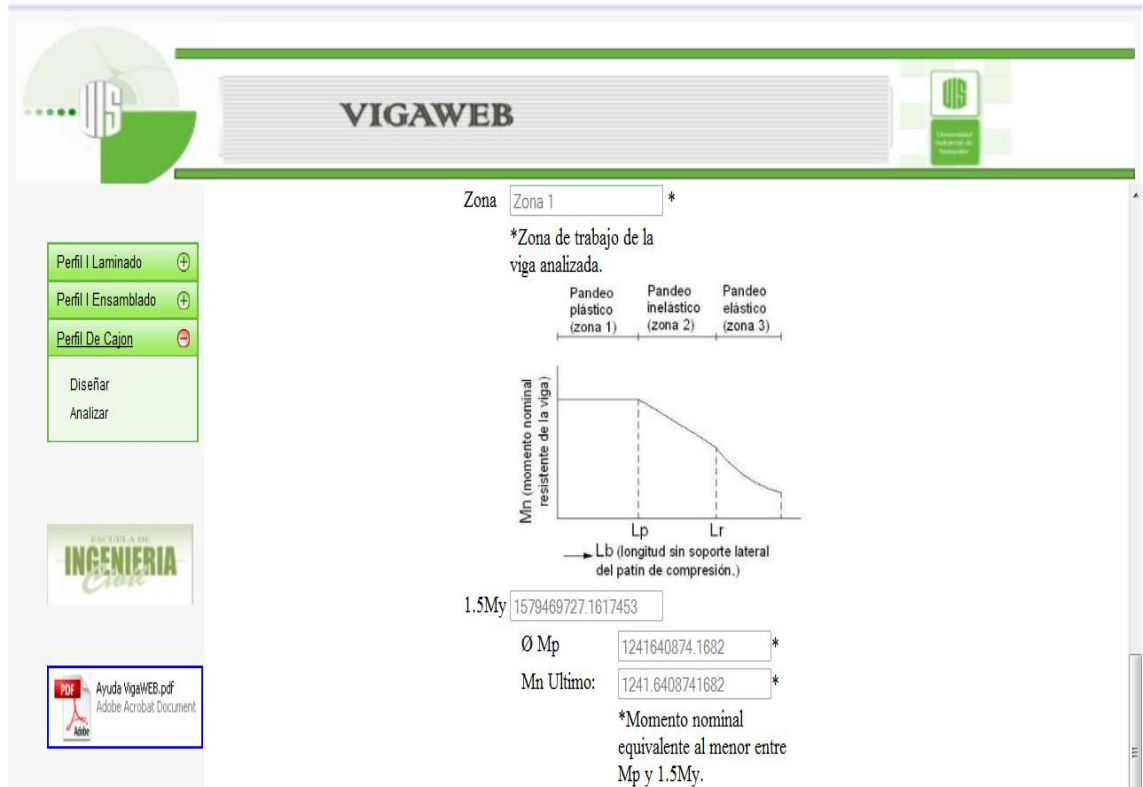


Figura 106. Momento nominal ultimo de la sección tipo cajón.

6. INSTALACIÓN DE LA APLICACIÓN VIGAWEB

Para instalar el aplicativo web, vigaweb necesitamos de la tecnología PHP, en conjunto con MySQL y apache, para ello utilizaremos el AppServ 2.5.10 el cual instala Apache 2.2.8 PHP 5.2.6, MySQL 5.0.51b y phpMyAdmin-2.10.3.

Para descargar AppServ, lo podemos realizar del sitio oficial [appservnetwork](http://appservnetwork.com) o siguiendo el siguiente link [Aqui](#) , una vez descargado procedemos a ejecutarlo,



appserv-win32-2.5.10.exe

para su mayor ubicación les pondré una imagen con la apariencia del icono y el nombre con el cual se descarga el archivo.

La siguiente imagen nos muestra la ejecución del instalador de AppServ 2.5.10, procedemos a dar click en el botón "Next >". Para continuar la instalación o en el botón "Cancel" para salir de la instalación.



Figura 107. Guía de instalación 1

En el siguiente paso nos visualiza el contrato de uso del software el cual debemos aceptar presionando click en el botón "I agree".

AppServ 2.5.10 Setup

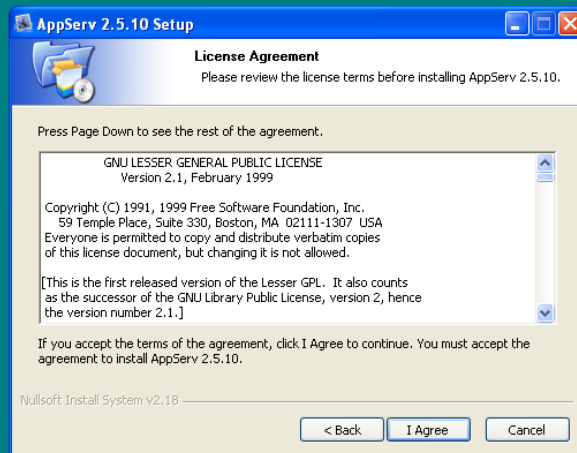


Figura 108. Guía de instalación 2

Una vez aceptado el contrato, nos preguntara en que carpeta instalaremos el software, en nuestro caso lo hemos dejado por defecto, es decir "C:\AppServ". Una vez seleccionada la carpeta de destino procedemos a dar click en el botón "Next" para seguir con la instalacion.

AppServ 2.5.10 Setup

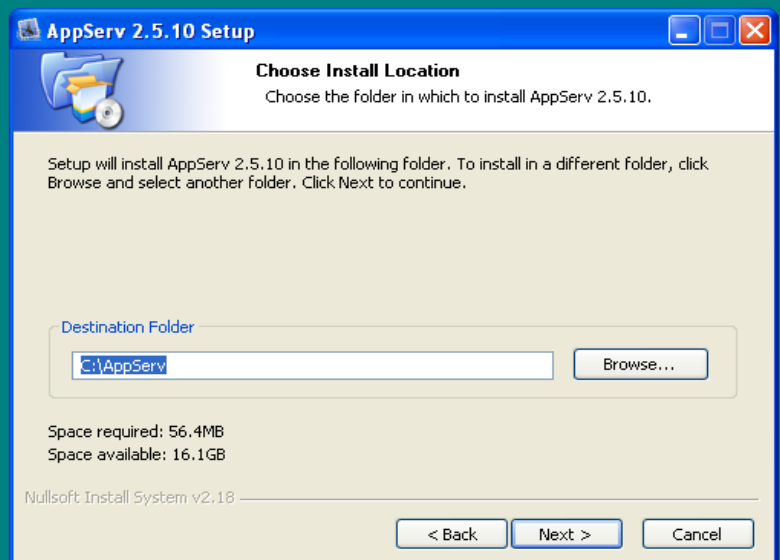


Figura 109. Guía de instalación 3

A continuación, nos permitirá seleccionar los componentes a instalar, lo dejaremos como viene por defecto, pues cada uno de ellos cumple una función específica en el correcto funcionamiento de Vigaweb.

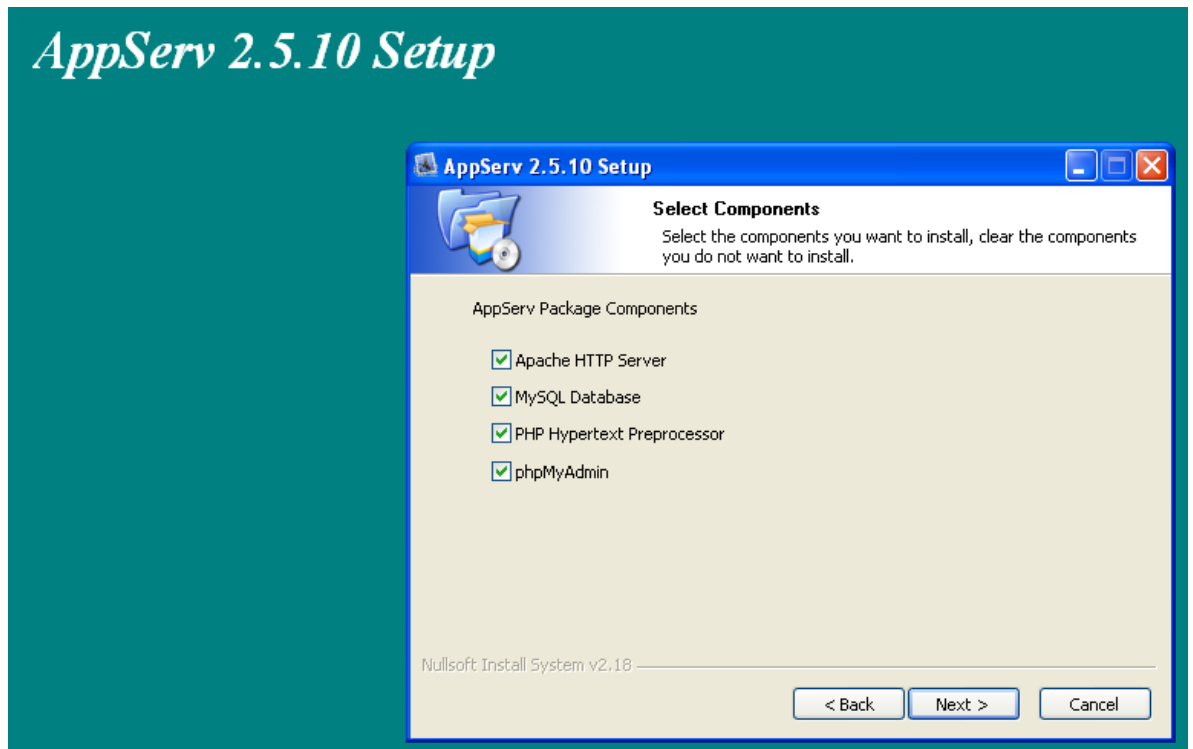


Figura 110. Guía de instalación 4

Paso seguido, nos solicitará información referente al nombre del servidor y el correo del administrador, como nombre de server le he puesto localhost y como correo he puesto cualquieram este dato no es mas que un requisito para proseguir la instalación.

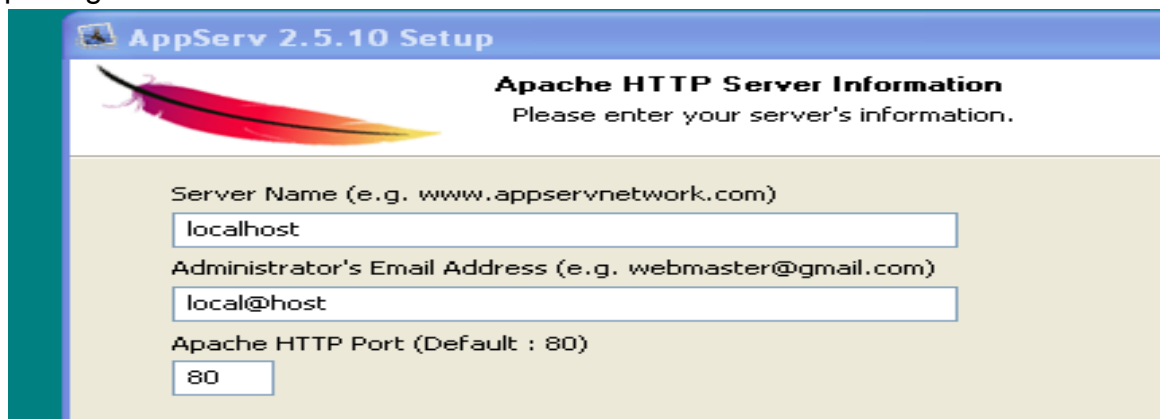


Figura 111. Guía de instalación 5

Como último paso, me solicitará la contraseña del manejador de base de datos MySQL, colocamos nuestra clave de manejador, en el caso específico "admin" y procedemos a dar click en el botón Instalar

AppServ 2.5.10 Setup

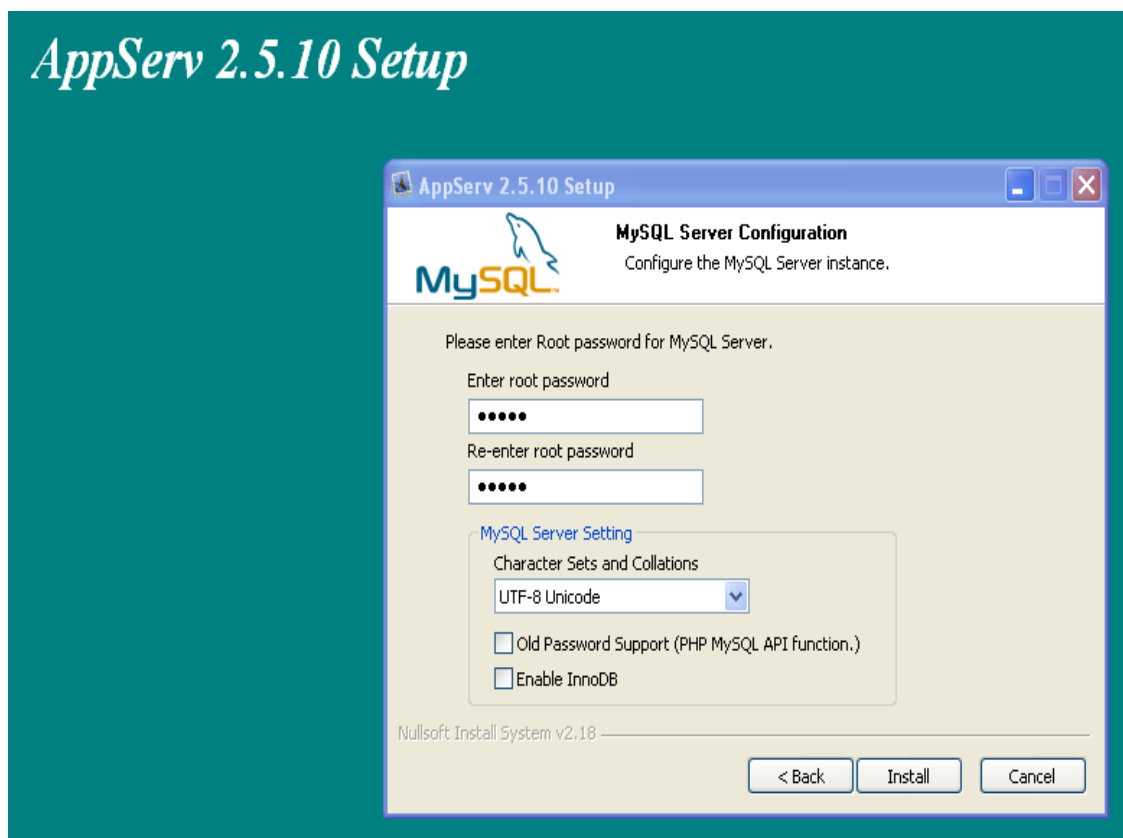



Figura 112. Guía de instalación 6

Al cabo de unos minutos, después de copiar e instalar todo nos informará que el server se instalo correctamente y nos dara la opción de salir en un botón.

Una vez instalado debemos cargar la base de datos con información de vital importancia para el uso del aplicativo, para ello, procedemos a ejecutar mozilla firefox, o nuestro navegador.

En la barra de direcciones pondremos la dirección 127.0.0.1, la cual me desplegara la siguiente pantalla.

The AppServ Open Project - 2.5.10 for Windows

 **phpMyAdmin Database Manager Version 2.10.3**



 **PHP Information Version 5.2.6**

About AppServ Version 2.5.10 for Windows

AppServ is a merging open source software installer package for Windows includes :

- **Apache Web Server** Version 2.2.8
- **PHP Script Language** Version 5.2.6
- **MySQL Database** Version 5.0.51b
- **phpMyAdmin Database Manager** Version 2.10.3

- [ChangeLog](#)
- [README](#)
- [AUTHORS](#)
- [COPYING](#)
- **Official Site** : <http://www.AppServNetwork.com>
- **Hosting support by** : <http://www.AppServHosting.com>

Change Language :  

 **Easy way to build Webserver, Database Server with AppServ :-)**

Figura 113. Guía de instalación 7

Una vez visualizada esta pantalla, además de servirnos para verificar la correcta instalación de AppServ nos permite dirigirnos al Administrador de base de datos, para ello damos click en la frase “phpMyAdmin Database Manager Versión 2.10.3”, hecho esto nos solicitara la clave de acceso a la base de datos, recuerden el usuario es “root”, y la clave es la clave que solicito durante la instalación para nuestro caso “adminadmin”, hecho esto visualizara la siguiente imagen



Figura 114. Guía de instalación 8

Procedemos a Crear la base de datos, la cual llamaremos “materiales”, buscando el cuadro que se muestra a continuación en la pantalla

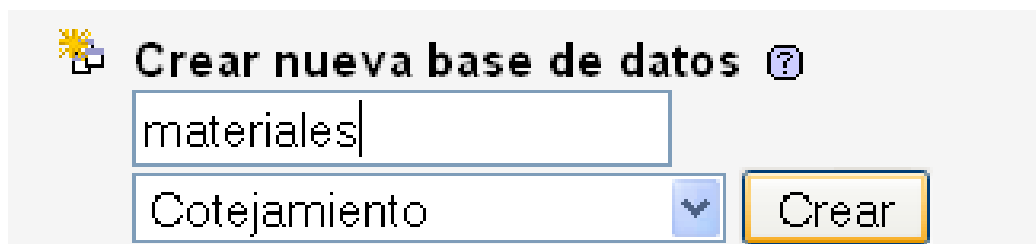


Figura 115. Guía de instalación 9

Si todo salió bien se debe mostrar un mensaje parecido al que se muestra a continuación

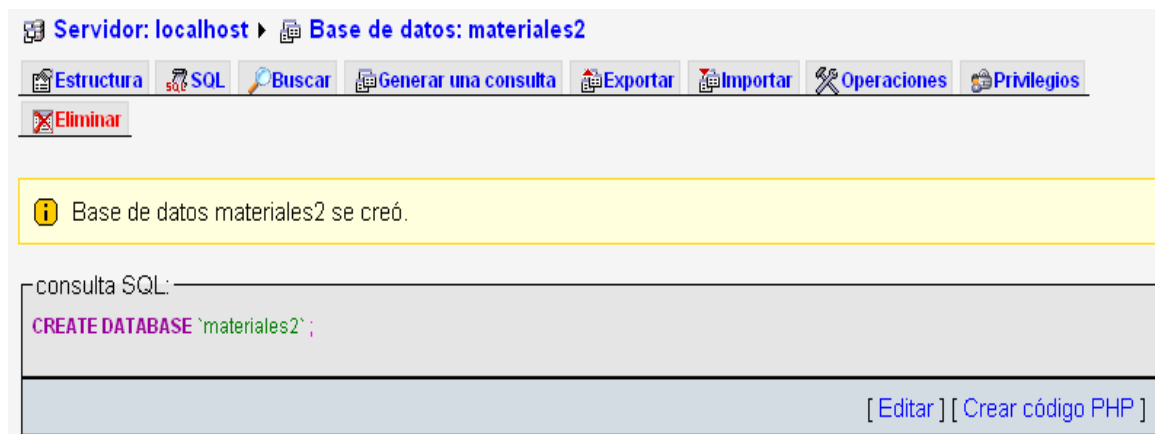


Figura 116. Guía de instalación 10

Ya tenemos nuestra base de datos, ahora tendremos que llenarla con los datos que se necesitan., para facilidad se genero una copia de la base de datos la cual permite recopilar la información en el nuevo equipo. Entonces procedemos a cargar los datos. Dando click en el icono de SQL del menú izquierdo.

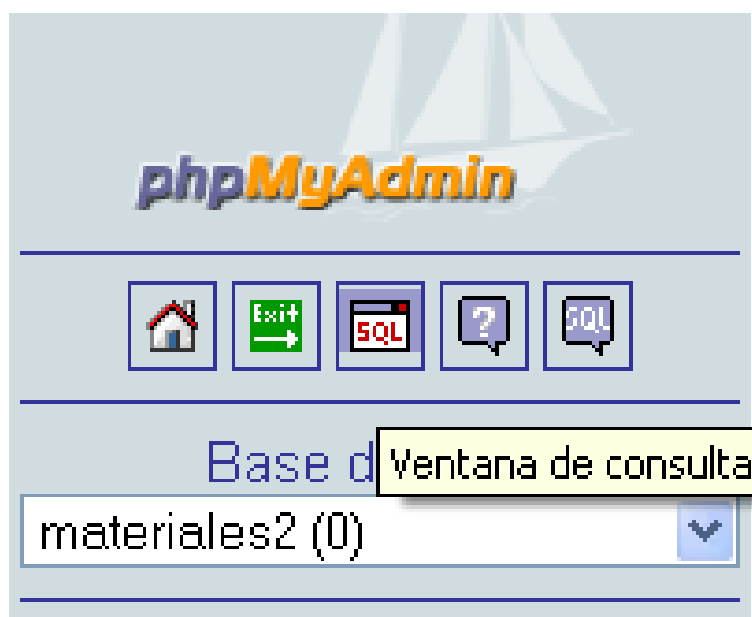


Figura 117. Guía de instalación 11

Una vez hecho esto nos abra una nueva ventana como se muestra a continuacion, en ella seleccionaremos la pestaña Importar Archivos

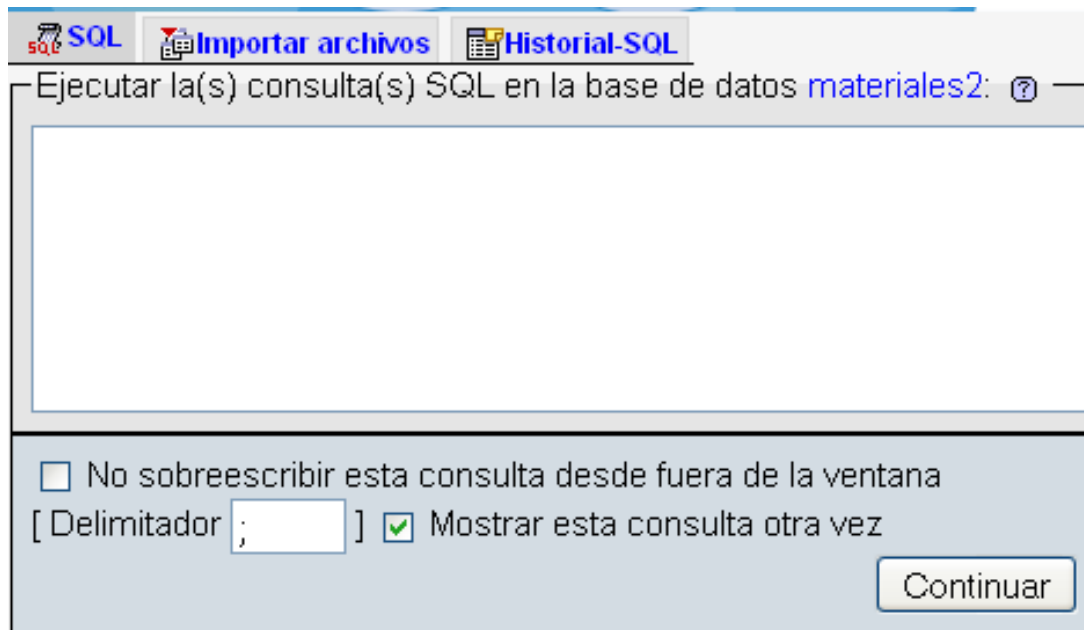


Figura 118. Guía de instalación 12

Se muestra , el contenido de esa pestaña a continuación

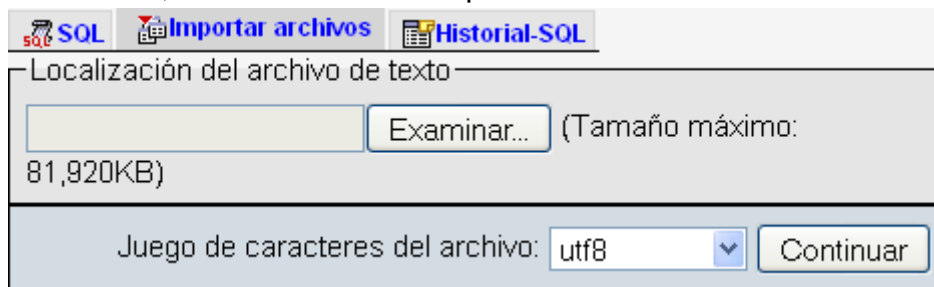


Figura 119. Guía de instalación 13

Procedemos a dar click en el boton Examinar, y buscaremos nuestro archivo de respaldo, el cual tiene el nombre de materiales.sql, lo seleccionamos y damos click en continuar.

Si todo salio bien en la ventana principal de mozilla firefox te mostrara una pagina como esta

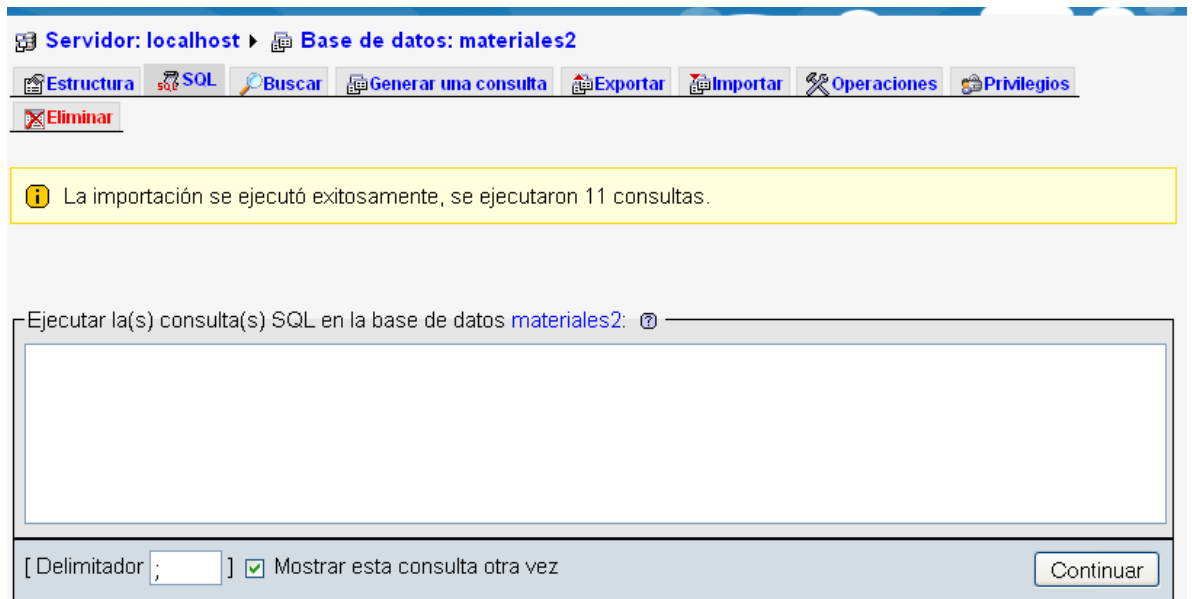


Figura 120. Guía de instalación 14

Una vez hecho esto ya podemos cerrar el navegador, ahora necesitaremos copiar los archivos de la aplicación web a su carpeta correspondiente, la cual es “C:\AppServ\www”

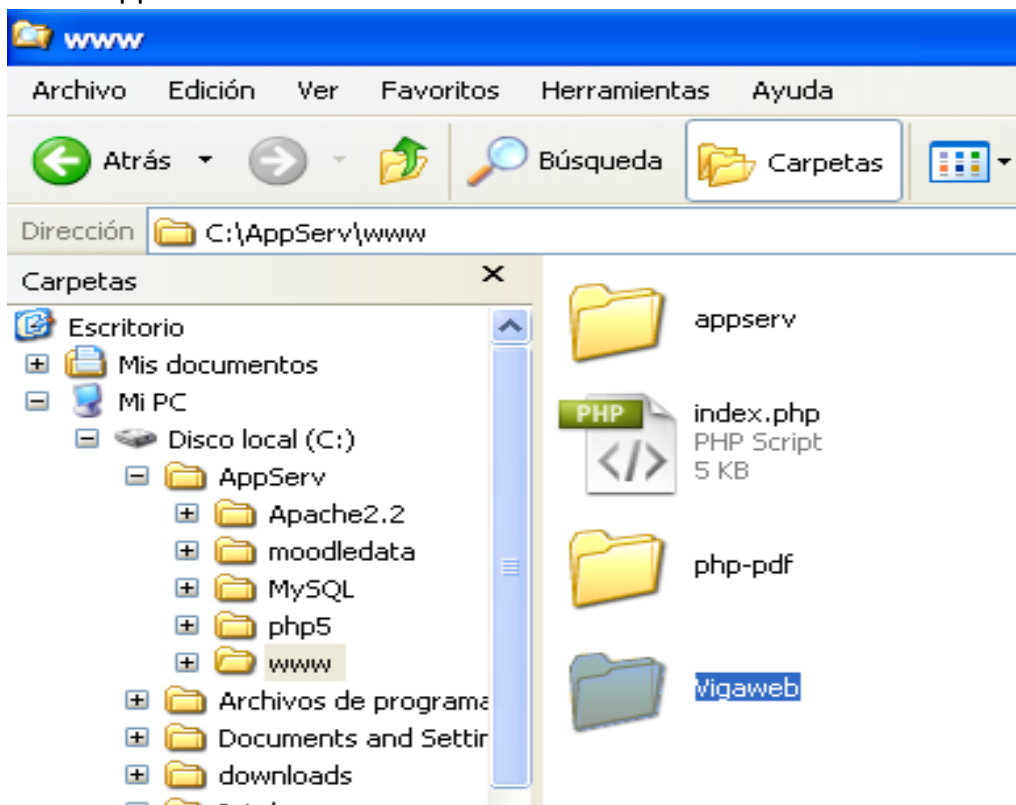


Figura 121. Guía de instalación 15

Una vez hecho esto, ya podemos hacer uso de nuestra aplicación VigaWEB, para ello abriremos un explorador de internet, de preferencia mozilla firefox y

digitaremos “127.0.0.1/vigaweb” o “localhost/vigaweb” estos son analogos entre si.

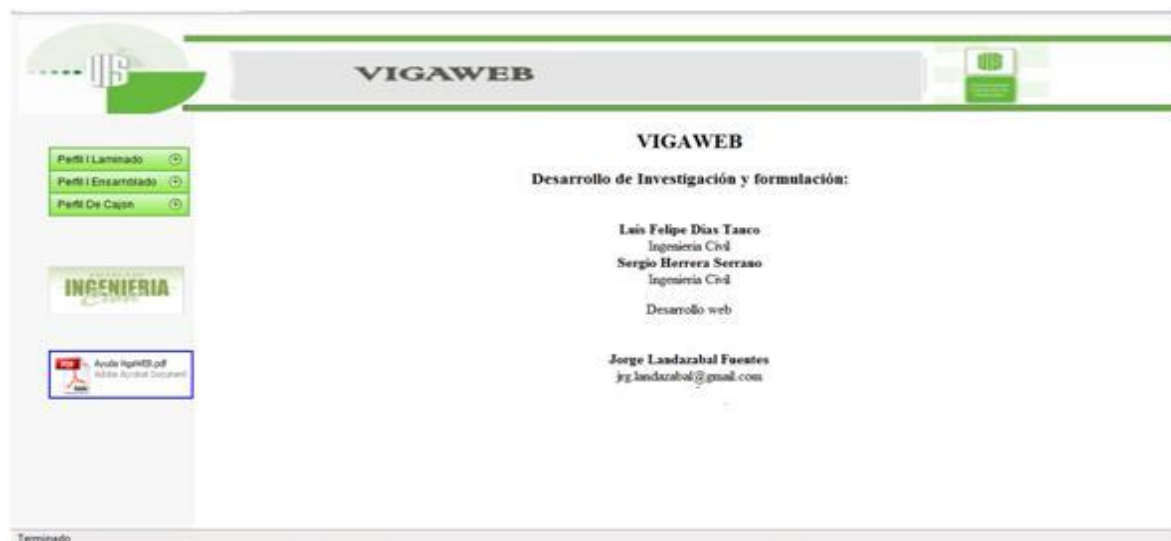


Figura 122. Guía de instalación 16

Si todo salio bien, usted ya podra disfrutar del uso de esta valiosa aplicación que facilita en gran parte los calculos de perfiles de vigas.

SI LA APLICACIÓN VA A SER CARGADA EN UN SERVIDOR DE INTERNET O SERVIDOR LOCAL, OMITIMOS LOS PASOS INICIALES REFERENTES A LA DESCARGA E INSTALACION DE **AppServ 2.5.10** Y SIMPLEMENTE CONTINUAMOS CON LOS DESCRITOS DESPUES DE LA INSTALACION DE ESTE PROGRAMA. RECUERDE QUE ES RESPONSABILIDAD DEL ADMINISTRADOR DEL SERVIDOR O LA RED LOCAL LA CORRECTA INSTALACION Y EL MANEJO EDECUADO DE LA APLICACIÓN UNA VEZ SEA EJECUTADA DESDE UN SERVIDOR.

EL PAQUETE DE LA APLICACIÓN VIGAWEB DEBE INSTALARCE DE MANERA COMPLETA Y ADECUADA PARA QUE PUEDA SER USADO.

GLOSARIO.

(Y): radio de giro.

I_{YT} : Inercia de la aleta tensión

I/C : modulo de sección

$\frac{M1}{M2}$: relacion de momentos respecto a la curvatura de la viga.

M/S : Relación entre el momento y el modulo de sección

M_c/I : Relación entre el momento a compresión y la inercia.

R_{PG} : Coeficiente de reducción para la resistencia a la flexión de vigas armadas de alma llena.

r_T : Radio de giro en el eje "y" con respecto a la sección en tensión

Δ : Deflexión en el centro de la viga.

AC: Área a compresión.

Ar: Área de la aleta mas y tercio del alma a partir del eje neutro.

AT: Área a tracción.

Aw : Área del alma.

bf : longitud del patín.

c : centroide

C_b : coeficiente de modificación del diagrama de momentos.

C_{PG} : Coeficiente de viga ensamblada de alma llena

C_v : relación del esfuerzo "crítico" del alma según la teoría de pandeo lineal y el esfuerzo de fluencia por cortante del material del alma.

C_x : Distancia de la distancia que hay del eje neutro a la hebra más alejada.

EN: eje centroidal bajo comportamiento elástico.

FL: menor valor entre $(F_{yf} - F_{yr})$ y F_{yw} .

F_{yf} : esfuerzo de fluencia del patín en compresión o esfuerzo de la aleta.

F_{yr} : esfuerzo residual.

F_{yw} : esfuerzo fluencia alma.

G : módulo cortante, (77000 MPa)

h : altura entre los patines de una viga o un patin y la primera conexión presente.

hc: Altura desde en eje neutro hasta la ultima fibra a compresión.

I: inercia.

I_x : Inercia respecto al eje x

I_y : inercia respecto al eje y

k_v : Coeficiente de pandeo de la platina del alma.

L: longitud del elemento.
Lb: longitud sin soporte lateral del patín en compresión.
Lp: limite plástico.
Lpd: longitud máxima para diseño por método plástico.
Lr: longitud máxima sin soporte lateral con la que aun se puede alcanzar F_y .
m : Relación entre el esfuerzo de fluencia del alma y el esfuerzo de fluencia de la aleta.

M: momento.
Mc: momento centroidal.
Mcr: El momento critico o momento flexotorsionante.
Mnc : Momento nominal a compresión.

Mnt: Momento nominal a tensión.

Mp: momento plástico
My: momento de fluencia
P: carga aplicada al elemento.
Pn: carga máxima nominal
Pu: carga ultima.
Re: Coeficiente de viga híbrida, $Re = 1$, para vigas no híbridas (Nuestro caso)
S: modulo de sección.
Sx: módulo elástico de la sección con respecto al eje x.
Sy: módulo elástico de la sección con respecto al eje y.
tf : espesor del patín.
tw : espesor del alma de la viga o elemento(placa vertical).
Vn : cortante nominal.
Vu.: Cortante ultimo de la viga.
Wu: carga ultima distribuida.
x: distancia desde el punto de deflexión hasta el punto de apoyo.
Z: modulo se sección plástico.

A: area de las seccion transversal
E: modulo de elasticidad del acero (200000 MPa)
Fcr: Esfuerzo critico.
Fuf: Esfuerzo ultimo de fluencia.
J: constante de torsion.

Kc: Coeficiente de pandeo de la platina del alma
M1: momento menor en los extremos de las longitud no soportada de la viga.
M2: momento mayor en los extremos de las longitud no soportada de la viga.
Mcr1: Primer momento critico o momento flexotorsionante
Mcr2: segundo momento critico o momento flexotorsionante.

M_{max} : Momento máximo.

S_{xc} : Módulo elástico de la sección con respecto al eje x en la zona de compresión.

$a_r = \frac{\text{area del alma}}{\text{area de las aletas en compresion.}}$

f_b : Esfuerzo en cualquier punto de la viga.

f_y : Esfuerzo de fluencia.

r_y : Radio de giro en y

λ : Parámetro de esbeltez de la sección

λ_p : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado compacto

λ_r : Parámetro de esbeltez límite para que un elemento sea considerado no compacto

ϕ : Angulo de deflexión de la viga.

CONCLUSIONES

- ✓ Se logro desarrollar de una manera satisfactoria el algoritmo y el desarrollo computacional para el análisis y diseño a flexión de vigas metálicas de acero, ensambladas y perfiles I por el método de diseño de factor de cargas y resistencia (LRFD).
- ✓ En la aplicación se logro incluir de todos los perfiles comerciales que se encuentran en el mercado local, garantizando que los diseños y análisis realizados con la aplicación puedan ser implementados en la construcción de obras civiles.
- ✓ Mediante la aplicación (VIGAWEB), se logro tener una visualización de los conceptos de la materia de Diseño de Estructuras Metálicas de una manera más clara y a su vez poder afianzarlos.
- ✓ Considerando que la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER forma ingenieros civiles con el propósito de servir laboralmente en el ámbito regional y nacional, se ha enfocado la aplicación VIGA WEB al modelamiento de vigas metálicas bajo situaciones reales para el diseño, considerando la normatividad nacional NSR-98 y los productos comerciales necesarios para la ejecución en obra de estos elementos.
- ✓ Las diferentes opciones posibles para el diseño de vigas metálicas, junto con todos los detalles que para ello deben tenerse en cuenta, han sido el factor determinante por el cual se ha desarrollado la aplicación VIGA WEB, bajo la consideración de la posibilidad de implementar futuras mejoras y la implementación de la norma NSR-10, la cual esta en proceso de revisión para finalmente llevarla a su publicación.
- ✓ Por medio de la aplicación VIGA WEB se han podido diseñar y analizar vigas metálicas de manera efectiva, precisa y ágil, debida a que la interacción visual de los datos de entrada y salida muestran instantáneamente el estado actual de diseño y permite hacer modificaciones para lograr su optimización.
- ✓ VIGA WEB ha nacido como un pequeño pero importante aporte de la UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER a la tecnología y

computación aplicadas en el campo laboral de la Ingeniería Civil, con miras a desarrollarse en un futuro cercano.

- ✓ VIGA WEB es una aplicación que puede ser ejecutada desde cualquier explorador y en múltiples ventanas o pestañas, lo que permitirá al usuario realizar varios diseños o análisis simultáneos, desarrollando en el una capacidad adicional para la ejecución de diseños óptimos basados en la variación de múltiples tipos de viga y sus resultados de diseño asociados a las mismas.

BIBLIOGRAFIA.

- Williams c, Harris E. Diseño de estructuras metálicas. 2ª ed. Compañía editorial Continental, S.A., 1973
- Mc. Cormac j, Nelson J. Diseño de Estructuras Metálicas: Método LRFD 2ª ed. Alfaomega Grupo Editorial, S.A., 2004
- Hernández G, Pérez F. Aplicación del computador en la solución de estructuras metálicas (Tesis de grado). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánicas; 1987
- Cárdenas J, Vera N. Desarrollo computacional del algoritmo para el diseño y análisis de cubiertas metálicas por el método de diseño por factor de cargas y resistencia (LRFD) e implementación de la interfaz de usuario (Tesis de grado). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Físico-Mecánicas; 2006
- Segui W. Diseño de Estructuras de acero con LRDF. 2ª ed. Internacional Thomson Editores.