

TA683.5
B3 J3

**ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS
PARCIALMENTE PRETENSADAS**

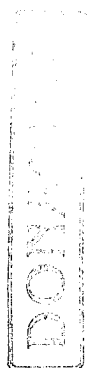
**Por
Antonio Castro Yllanes**



**Trabajo de Grado para optar al Título de
Magíster Scientiarum en Ingeniería Estructural**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
Facultad de Ingeniería**

MERIDA, 2002



Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

**Dedico este trabajo a la voluntad
que una vez mas logro vencer a la
pereza.**

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
iii
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

AGRADECIMIENTO

Deseo agradecer al Profesor Héctor Febres Cedillo, Coordinador de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, las gestiones realizadas a fin de que fuese posible reiniciar y culminar la Maestría en Ingeniería Estructural.

De la misma manera, agradecer a los profesores Julio Flores y Carlos Quintero, el hecho de haber abierto un espacio entre sus múltiples actividades académicas, con el fin de cumplir con las cátedras que nos correspondieron tomar.

En cuanto al trabajo de investigación, debo agradecer la lectura realizada por la profesora Zaida Castro Meza, quien con sus oportunos comentarios acerca del texto han permitido una lectura mas sencilla y agradable para el lector.

Igualmente al Bachiller Efraín Girón quien con su apoyo y conocimientos del lenguaje de computación Visual Basic hizo posible un software sencillo, amigable y eficiente, resultado final de este trabajo.

Finalmente, deseo reconocer el apoyo a los profesores Fernando Sarmiento y Rafael Sarmiento quienes ejercieron la responsabilidad de Tutor y Cotutor respectivamente.

ANÁLISIS Y DISEÑO DE VIGAS PARCIALMENTE PRETENSADAS

Autor : Antonio Castro Yllanes
Tutor : Fernando Sarmiento
Cotutor : Rafael Sarmiento

RESUMEN

Este trabajo de investigación presenta los criterios básicos para el análisis y diseño de vigas de concreto parcialmente preesforzadas basado en el método expuesto por los Ingenieros Antoine Naaman y Rafael Sarmiento.

Este método se desarrolla basado en las condiciones de equilibrio y compatibilidad de deformaciones para secciones agrietadas y no agrietadas, y en el se hacen los correspondientes chequeos de esfuerzos, deformaciones y otras variables para las condiciones de servicio.

El factor principal del método es la Relación de Preesforzado Parcial. Este parámetro se define como la relación existente entre el momento último que resiste el acero de preesfuerzo y el momento último resistido por los aceros de preesfuerzo y refuerzo.

Todos los basamentos teóricos se integran y sistematizan con el fin de obtener un programa en Visual Basic que permite el calculo de vigas parcialmente preesforzadas (Programa VPP), e igualmente, realizar cálculos para vigas de concreto totalmente preesforzado o, simplemente de concreto reforzado.

En esta investigación, se incorpora el manual de usuario del programa VPP, el cual de manera sencilla y amigable, sirve de guía para la solución de los diferentes problemas, y enseña las distintas opciones de uso que el programa posee.

En el trabajo se incorporan dos anexos en los que se resuelve un ejemplo numérico el primero, de manera manual que permitirá al lector, por un lado, verificar la correspondencia existente entre el marco teórico expuesto con un ejemplo práctico y por el software propuesto, y por el otro, la magnitud y dimensión del calculo que debe realizar para llegar a una solución del problema. El segundo, le permitirá, por un lado, verificar la similitud de los resultados obtenidos en comparación con el primero, y por el otro, lo sencillo y rápido que resulta llegar a una solución completa del problema.

Entre las conclusiones mas destacadas esta el hecho de que la relación de preesfuerzo parcial ha permitido establecer un software en el que se puede diseñar simultáneamente con tres tipos de técnicas en concreto, pero indiscutiblemente se hace necesario que el preesforzado parcial logre apropiarse de una formulación teórica, normas y otros, para poder precisar mejor cual es el ámbito en el cual se tiene un comportamiento optimo, para lo cual se recomienda seguir investigando en los distintos tópicos que aborda este campo y los de la ingeniería estructural misma.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

INDICE

Cap. No.	Descripción	Pág.
	Carátula del Trabajo de Investigación	i
	Acta de Aprobación del Trabajo de Investigación	ii
	Dedicatoria	iii
	Agradecimiento	iv
	Resumen	v
	Índice General	vii
	Índice de Figuras	viii
	Índice de Tablas	ix

Introducción	1
---------------------	----------

I El Problema.	3
-----------------------	----------

- ◆ Planteamiento. {3}
- ◆ Formulación. {4}
- ◆ Justificación. {4}
- ◆ Objetivos. {5}
- ◆ -General. {5}
- ◆ -Específicos. {5}
- ◆ Delimitación. {5}

II Marco Teórico	6
-------------------------	----------

- ◆ Antecedentes Históricos. {6}
- ◆ Conceptos y Métodos Teóricos Aplicados. {7}
- ◆ -Descripción de los Conceptos Teóricos. {7}
- ◆ --Características Geométricas de la Sección. {7}
- ◆ --Factor de Impacto. {7}
- ◆ --Factor de Rueda. {7}
- ◆ --Cargas Permanentes. {13}
- ◆ --Cargas Vivas. {14}
- ◆ --Solicitaciones por Cargas Permanentes. {14}
- ◆ ---Cargas Uniformes. {14}
- ◆ ---Cargas Concentradas. {15}
- ◆ --Solicitaciones por Carga Viva. {16}

INDICE

Cap. No.	Descripción	Pág.
II	Marco Teórico	6
	◆-Descripción de los Métodos Teóricos.{20}	
	◆--Diseño a Flexión.{20}	
	◆---Análisis por Flexión.{21}	
	◆---Filosofía de Diseño.{22}	
	◆---Diseño del Refuerzo.{22}	
	◆----Cálculo de A_{sp} y A_s .{23}	
	◆----Chequeo de la Altura Útil de la Sección.{25}	
	◆----Chequeo de las Condiciones de Servicio.{26}	
	◆----Pérdidas de Preesfuerzo.{26}	
	◆-----Acortamiento Elástico.{26}	
	◆-----Retracción.{26}	
	◆-----Fluencia.{27}	
	◆-----Relajación.{27}	
	◆----Estudio de los Casos de Carga.{27}	
	◆----Verificación de los Esfuerzos Actuantes.{28}	
	◆----Controles Propuestos.{28}	
	◆-----Acero de Preesfuerzo.{28}	
	◆-----Acero de Refuerzo.{29}	
	◆-----Concreto.{31}	
	◆----Control de Fisuración.{31}	
	◆----Ancho Máximo de Grietas.{32}	
	◆----Chequeo de la Deflexión.{33}	
	◆--Diseño por Corte.{35}	
	◆---Falla Tipo I.{35}	
	◆---Falla Tipo II.{35}	
	◆---Corte Resistente del Concreto.{35}	
	◆---Separación del Acero.{37}	
	◆--Diseño Conectores.{37}	
	◆---Diseño por Fatiga.{38}	
	◆---Diseño por Resistencia.{39}	
	◆--Algunos Controles Adicionales.{39}	
	◆---Resistencia del Concreto.{39}	
	◆---Sección Satisfactoria.{39}	
	◆-Software para el Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas.{40}	

INDICE

Cap. No.	Descripción	Pág.
III	Metodología	59
	◆ Consideraciones Generales. {59}	
	◆ Naturaleza de la Investigación. {59}	
	◆ Universo de Estudio. {59}	
	◆ Muestra de Estudio. {59}	
	◆ Instrumentos y Técnicas de Recolección de la Información. {60}	
	◆ Variables y sus Niveles de Medición. {60}	
	◆ Formación de un Modelo de Calculo Integral en Concreto. {61}	
IV	Manual del Usuario Programa VPP	62
	◆ Preliminares. {62}	
	◆ -Objetivo. {62}	
	◆ -Propósito. {62}	
	◆ -Requisitos Operativos. {62}	
	◆ -Instalación del Programa. {63}	
	◆ -Arranque. {63}	
	◆ -Plantilla de Presentación. {64}	
	◆ Funcionamiento del Programa. {64}	
	◆ -Entrada de Datos. {65}	
	◆ --Plantilla de Datos de Proyecto. {66}	
	◆ --Plantilla de Relación de Preesfuerzo Parcial. {67}	
	◆ --Plantilla de Geometría de la Sección. {67}	
	◆ --Plantilla de Propiedades de los Materiales. {69}	
	◆ --Plantilla de Factores y Coeficientes. {71}	
	◆ --Plantilla de Cargas y Dimensiones. {72}	
	◆ --Botones del Tipo de Diseño. {73}	
	◆ -Proceso. {76}	
	◆ -Salidas. {78}	
	◆ Procesamiento de Datos por Medio de Archivos. {80}	
	◆ Fin del Proceso. {82}	
	◆ Mensajes de Información. {82}	
	◆ Archivos Externos de Programa. {88}	

INDICE

Cap. No.	Descripción	Pág.
V	Análisis, Conclusiones y Recomendaciones	91
	♦ Análisis. {91}	
	♦ -Validación del Programa. {91}	
	♦ -Manejo del Programa. {93}	
	♦ -Versatilidad del Programa. {93}	
	♦ -Cumplimiento de Límites Normativos en Variables Ejemplo. {93}	
	♦ -Economía de Materiales en el Ejemplo. {94}	
	♦ Conclusiones. {96}	
	♦ Recomendaciones. {97}	
	♦ Comentario Final. {98}	
	Bibliografía	99
	Anexos	101
	♦ Anexo No. 0601: Problema Resuelto Manualmente. {101}	
	♦ Anexo No. 0602: Problema Resuelto por Programa VPP. {130}	
	♦ Anexo No. 0603: CD instalador del Programa VPP. {138}	

INDICE DE FIGURAS.

Fig. No.	Descripción	Pág.
Del Capítulo II		
0201	Detalle Geométrico Del Elemento Viga Losa	8
0202	Características Geométricas En Sección Sencilla	9
0203	Características Geométricas En Sección Compuesta	10
0204	Perfil Longitudinal De La Viga	11
0205	Detalle De La Calzada De La Vía	12
0206	Carga Permanente Uniforme Distribuida	13
0207	Solicitaciones Bajo Cargas Uniformes	14
0208	Solicitaciones Bajo Cargas Concentradas	
0209	Diagrama De Flujo Para El Cálculo De Vigas Parcialmente Pretensadas.	41
Del Capítulo IV		
0401	Plantilla De Presentación	64
0402	Plantilla General De Entrada	66
0403	Plantilla Entrada Datos Del Proyecto	66
0404	Plantilla Entrada Datos De Relación De Preesfuerzo Parcial	67
0405	Plantilla Entrada De Geometría De La Sección	68
0406	Plantilla Entrada Ejemplo De Sección Seleccionada	69
0407	Plantilla Entrada De Los Materiales	70
0408	Plantilla Entrada Secundaria De Los Estribos	71
0409	Plantilla Entrada Factores	72
0410	Plantilla Entrada Cargas Y Dimensiones. Tipo De Diseño: Sección Compuesta	73
0411	Plantilla Entrada General Del Tipo De Diseño	73
0412	Botones De Entrada Del Tipo De Diseño	74
0413	Plantilla Entrada De Los Materiales Tipo De Diseño: Sección Sencilla	75
0414	Plantilla Entrada Cargas Y Dimensiones Tipo De Diseño: Sección Sencilla	75

INDICE DE FIGURAS.

Fig. No.	Descripción	Pág.
Del Capítulo IV		
0415	Plantilla Del Proceso.	77
0416	Plantilla Salida Tabla Condiciones De Servicio	78
0417	Plantilla Salida De Resultados Del Diseño	79
0418	Plantilla Salida Impresora Condiciones De Servicio	80
0419	Plantilla General De Archivo	81
0420	Plantilla Almacenamiento Datos	81
0421	Plantilla Entrada Por Archivo	82

Del Anexo No. 0601

A101	Detalles Geométricos Del Problema	102
------	-----------------------------------	-----

Del Anexo No. 0602

A201	Plantilla de Entrada de Datos del Proyecto	130
A202	Plantilla de Entrada Relación de Preesfuerzo Parcial	130
A203	Plantilla de Entrada de los Botones Tipo de Diseño	131
A204	Plantilla de Entrada de Geometría de la Sección	131
A205	Plantilla de Entrada de Características y Propiedades de los Materiales	132
A206	Plantilla de Entrada de Factores y Coeficientes	132
A207	Plantilla de Entrada de Cargas y Dimensiones	133

INDICE DE TABLAS.

Tab. No.	Descripción	Pág.
Del Capítulo II		
0201	Fórmula Para El Cálculo Del Ancho Participante De La Losa En Flexión Y Corte	8
0202	Características Geométricas En Sección Sencilla	9
0203	Características Geométricas En Sección Compuesta	10
0204	Fórmulas Para El Cálculo De Los Factores De Impacto Por Flexión Y Corte	11
0205	Fórmulas Para El Cálculo Del Factor De Rueda	12
0206	Fórmulas Básicas Para Cálculos De Cargas Permanentes	13
0207	Fórmulas Básicas Para Cálculo De Corte Y Momento Bajo Cargas Uniformes	15
0208	Ecuaciones Para El Cálculo Solicitaciones En Separadores	16
0209	Fórmulas Para El Cálculo De Los Cortes Negativos En Una Viga Simplemente Apoyada.	17
0210	Fórmulas Para Calcular Los Momentos Máximos Y Los Cortes Positivos Asociados En Viga Simplemente Apoyada.	18
0211	Valores Recomendados Para El Rpp	23
0212	Niveles De Servicio De La Viga	28
0213	Fórmulas Para Esfuerzos En Secciones No Agrietadas	29
0214	Fórmulas Para Esfuerzos En Secciones Agrietadas	30
0215	Formulas Básicas Para El Control De Fisuración	31
0216	Valores Permisibles Del Ancho De Grietas A.C.I. 224	32
0217	Fórmulas Básicas Para Control De La Deflexión Máxima Permitida En El Centro De La Viga	33
0218	Fórmulas Básicas Para Cálculo De Deflexiones Y Contraflechas Instantáneas En El Centro De La Viga	34
0219	Valores De α Para Diferentes Ciclos De Carga	38

INDICE DE TABLAS.

Tab. No.	Descripción	Pág.
Del Capítulo IV		
0401	Descripción Detallada De Mensajes	83
Del Capítulo V		
0501	Diferencias en los Resultados	92
0501	Aceros En $x = 8$ m. Para El Problema Anexo 0601.	94
Del Anexo No. 0601		
A101	Datos Del Diseño	103
A102	Características Geométricas De La Sección	104
A103	Puntos De Diseño	105
A104	Resumen De Cortes y Momentos Actuales	108
A105	Solicitaciones En El Centro De La Luz	110
A106	Análisis Económico Acero Refuerzo	111
A107	Variación Resultados Por Numero De Capas Del Acero De Refuerzo	114
A108	Resumen De Resultados De Esfuerzos En $x = 0,60$ m.	122
A109	Resumen De Resultados De Esfuerzos En $x = 6,40$ m.	122
A110	Resultados En $x = 8,00$ m.	122
A111	Resumen De Aceros En La Viga Propuesta	128
Del Anexo No. 0602		
A201	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 1 $x = 0,00$ m.	133
A202	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 2 $x = 0,60$ m.	134
A203	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 3 $x = 1,60$ m.	134
A204	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 4 $x = 3,20$ m.	134
A205	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 5 $x = 4,80$ m.	135
A206	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 6 $x = 6,40$ m.	135

INDICE DE TABLAS.

Tab. No.	Descripción	Pág.
Del Anexo No. 0602		
A207	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 7 $x = 7,29$ m.	135
A208	Condiciones de Servicio / Punto de Diseño No. 8 $x = 8,00$ m.	136
A209	Condiciones de Servicio / Deflexiones y Ancho de Grietas / Punto de Diseño No. 8 $x = 8,00$ m.	136
A210	Resumen de Aceros a lo largo de la Viga	136

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

INTRODUCCIÓN

La evolución de la ingeniería civil se remonta a varios miles de años, aunque su evolución científica solo se remonta a dos siglos de existencia. Esta ciencia es considerada la madre de las ingenierías por ser la más elemental, y sobre todo por ser la más cercana a las necesidades primarias de la sociedad, sin duda, que entre sus funciones sociales, corresponde el hecho de que los profesionales tengan la obligación de estimular gestiones, que induzcan a los gobiernos y a los inversionistas, a seguir planes de desarrollo adecuados y que sean realizados de manera ordenada.

En la actualidad, la ingeniería civil desempeña un papel decisivo aún en los países más desarrollados, aunque su papel principal se concentra en los países en vías de desarrollo, en donde prácticamente todo aquello que es necesario para llegar a la noción generalizada de bienestar, es casi inexistente. En estos países, el futuro del ingeniero civil esta indisolublemente unido a las urgentes necesidades insatisfechas de sociedades ávidas de mejores sistemas educativos, de salud, de recreación y de transporte que garanticen empleo y una razón para crecer en una sociedad con bienestar y confort, sin demasiadas angustias.

El principal objetivo del ingeniero estructural es diseñar estructuras seguras, efectivas y económicas, por lo tanto es importante para él, la familiarización con todos aquellos procedimientos de diseño, con el objeto que pueda llevar a feliz término la solución de los problemas que se le presenten en su desempeño profesional.

En este sentido, y en la necesidad de palpar la utilidad de incursionar en técnicas no tan usadas por la cultura impuesta al profesional, se presenta en este trabajo un modelo que también conduce a la solución adecuada de problemas específicos dentro del ámbito de la ingeniería, tal como es el análisis y diseño de vigas de concreto parcialmente preesforzadas.

Este método nace como la combinación del diseño de vigas de concreto armado y del diseño de vigas de concreto preesforzado, y en varios casos se logran soluciones más económicas y técnicamente aceptables, además de otros beneficios tales como, la firmeza después de una fisura en las vigas parcialmente preesforzadas es mayor que las que están totalmente preesforzadas y el espacio entre las fisuras y el ancho de las fisuras son menores y la duración de fatiga a la fisura es generalmente menor.

El objetivo general de este trabajo es proponer un software que permita al ingeniero civil acceder al análisis y diseño de vigas de concreto parcialmente pretensadas (programa VPP), de manera sencilla y evitando los complicados cálculos matemáticos que estos métodos imponen.

El estado del arte de este tema, ha sido tratado, entre otros, por los Ingenieros Rafael Sarmiento [19] y Antoine Naaman [14], quienes han formulado un método para la resolución de problemas por flexión en este ámbito, y el cual se basa en la relación de preesfuerzo parcial. Este tratamiento permite designar a priori que cantidad de momento actuante va absorber el acero de preesfuerzo y que cantidad el de refuerzo.

En cuanto a corte, la resolución de problemas se hará por los métodos tradicionales de cálculo del excedente de cortante vertical u horizontal, que debe absorber el acero.

El trabajo está organizado en cinco (5) capítulos en el orden siguiente: En el Capítulo I, se plantea el problema así como se establecen los objetivos y justificación de este estudio; En el Capítulo II, esta contenido el marco teórico de referencia, así como la formulación matemática requerida para este trabajo; En el Capítulo III se hace una breve exposición de la metodología utilizada de investigación; En el Capítulo IV, se expone el manual operativo del software (programa VPP) para el cálculo de las vigas de concreto parcialmente pretensadas; En el Capítulo V, se establecen las conclusiones y recomendaciones finales del trabajo. Igualmente se incluyen anexos en los que se desarrolla un ejercicio de cálculo de vigas parcialmente pretensadas en forma manual y por el mencionado software, y se comparan los resultados obtenidos en cada caso.

CAPITULO I EL PROBLEMA

PLANTEAMIENTO.

La ingeniería estructural es aquella rama de la ingeniería civil que permite el planeamiento y diseño de partes que forman el esqueleto resistente de las edificaciones mas tradicionales, tales como edificaciones urbanas, naves industriales, puentes y otros. Dicho esqueleto es un sistema integrado por partes, denominados elementos estructurales: vigas, columnas, losas y otros.

El análisis de estos elementos se hará siempre de manera similar donde la mayor diferencia que se puede percibir está en el origen y magnitud de las cargas y el medio en que las estructuras se desempeñan.

Existen distintas técnicas de análisis y diseño con las que cuenta el ingeniero civil para resolver sus problemas, entre las que se puede mencionar el concreto preesforzado, reforzado, acero y otros, y muy especialmente en este trabajo, se establecerá la técnica específica del preesforzado parcial en la resolución de vigas estructurales.

En su inicio, el preesforzado consideraba que la fuerza de precompresión que se le aplicaba al elemento era tal que debía eliminar los esfuerzos de tracción en el concreto, debido a la poca capacidad resistente del material a este tipo de sollicitación, pero en la actualidad existe un reconocimiento general sobre las ventajas que ofrece el preesforzado parcial, en el que se permite cierto nivel de esfuerzos en tracción y un grado limitado de agrietamiento bajo ciertas condiciones de carga que no actúan con frecuencia.

El preesforzado parcial permite que la sección transversal de una viga estructural no esté totalmente comprimida, produciéndose grietas, que son controladas mediante el uso de refuerzo no preesforzado, para dar una resistencia a la rotura de la viga mucho mayor y para ayudar a soportar la fuerza de tensión en el concreto.

Esta técnica ofrece algunas ventajas ya que permite al igual que el concreto totalmente preesforzado, salvar grandes luces con sollicitaciones similares, reduciendo la cantidad de acero de alta resistencia, lo que implica un menor numero de anclajes. De manera similar se le permite al concreto absorber cierta cuota de los esfuerzos de tracción.

El análisis y cálculo de este tipo de solicitaciones se dificulta ya que va requerir de una formación básica de cálculo diferencial e integral para resolver ciertas variables, así como de conocimientos de álgebra lineal, ecuaciones diferenciales y métodos numéricos, por lo que se hace necesario elaborar una metodología de análisis que facilite el cálculo de las vigas parcialmente preesforzadas y aportar una herramienta de trabajo a los profesionales dedicados al estudio del preesforzado parcial o, en general, a aquellos que se dedican al cálculo estructural.

En tal sentido, la actividad de vanguardia de la ingeniería estructural en la solución de problemas está concentrada en el uso de poderosos programas computarizados, algunos de los cuales pueden operarse en microcomputadoras electrónicas, equipos que son de fácil acceso al ingeniero civil. El uso de estos programas otorga habilidad para trabajar a gran velocidad, producir resultados “exactos”, almacenar y manejar gran cantidad de información y para llevar a cabo con la mínima intervención humana secuencias de operaciones largas y complejas.

Es por ello que este trabajo consiste en la elaboración de un software (programa VPP) para realizar los cálculos en el diseño y análisis de una viga de concreto parcialmente preesforzada, tomando en cuenta la mayoría de los factores que intervienen en el diseño. Se implementará el programa en lenguaje Visual Basic 6.0 [13] bajo ambiente Windows debido a su versatilidad, proceso de capacitación y manejo más efectivo. Se verificará la efectividad y eficiencia del software por medio de un ejemplo tipo, de análisis y diseño de un elemento parcialmente preesforzado.

FORMULACIÓN

Elaborar Software para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas.

JUSTIFICACIÓN

La técnica del preesforzado parcial, por un lado, es bastante reciente en Latinoamérica, y por el otro, continuamente se están haciendo estudios de investigación, por lo tanto la elaboración de un software aportará a la ingeniería una herramienta de cálculo eficiente en el manejo de los datos y variables que intervienen, evitando engorrosos procesos y proporcionando una mayor precisión, además de permitir emplear menos tiempo operativo y un mayor tiempo en el análisis profesional de los resultados obtenidos de las diferentes alternativas de diseño planteadas.

Ello permitirá de manera sencilla al profesional de la ingeniería civil incursionar en el uso de esta técnica y compararla con los resultados de otras técnicas, y así participar con mayores herramientas en la solución de los problemas complejos que le plantea la sociedad moderna.

OBJETIVOS.

General:

- Elaborar un software que permita el cálculo y análisis en vigas de concreto parcialmente pretensadas.

Específicos:

- Presentar una metodología de diseño y análisis para el cálculo de vigas de concreto parcialmente pretensadas.
- Elaborar un software que permita el cálculo y análisis en vigas de concreto parcialmente pretensadas.

DELIMITACION.

Este trabajo es sólo para el diseño de vigas de concreto parcialmente pretensadas en elementos simplemente apoyados, y en el cual el cable de preesfuerzo viaja horizontalmente.

Se utiliza el método expuesto por los Ingenieros Antoine Naaman [14] y Rafael Sarmiento [19], por lo tanto serán limitaciones del trabajo, las mismas que el método imponga, así como también se podrá usar sus beneficios, entre otros, el método ofrece soluciones para vigas de concreto reforzado y totalmente preesforzado.

El equipo de computación para la ejecución del programa de análisis y diseño de vigas parcialmente pretensadas debe utilizar una versión de Windows 95 o superior.

CAPITULO II MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El pretensado es una técnica antigua, data desde la época de los zunchos de los túneles y las llantas metálicas de las ruedas de madera. Sin embargo, no fue sino hasta 1.886 cuando surgió la primera propuesta de pretensar el hormigón hecha por P.T. Jackson, de San Francisco, California. Doebling fue el que, en el año 1.888, expuso claramente por primera vez el concepto de la pretensión. La aplicación práctica de estos conocimientos no tuvo éxito ya que no se disponía de materiales adecuados.

Posteriormente, en el año 1.906, Koenen volvió sobre el principio pretensión asentado anteriormente por Doebling y estudió su aplicación en obras de ingeniería para sustituir el concreto armado. Un sector de aplicación fue en las vías de los ferrocarriles para evitar la fisuración; pero la baja tensión dada al acero no pudo compensar la pérdida de tensión causada por la tracción y la deformación plástica del concreto.

Como consecuencia de estos fracasos, fue abandonada la investigación sobre el concreto pretensado y no fue hasta el año 1.928 que Eugene Freyssinet de Francia diera a conocer la necesidad de emplear materiales de alta calidad.

Los aceros empleados hasta entonces tenían un límite elástico muy bajo y la tensión quedaba anulada por los fenómenos antes citados. Además, los concretos no tenían compacidad y se desconocían algunos principios básicos sobre la granulometría, relación agua-cemento, vibración, entre otros.

Freyssinet aclaró el comportamiento plástico del concreto bajo el efecto del pretensado. También hizo importantes declaraciones sobre las deformaciones por contracción y estudió ampliamente la deformación diferida. Aconsejó el empleo de concretos de alta calidad y aceros de elevado límite elástico. Después de Freyssinet aparecieron importantes investigadores, destacándose entre ellos Finsterwalder, Hoyer, Magnel, y otros.

En 1.939 apareció un enfoque diferente, cuando el ingeniero Emperger propuso colocar una pequeña cantidad de alambres de acero preesforzado ordinario en una viga de concreto armado; su objetivo fué el de incrementar las cargas de servicio admisibles.

En 1.940, el ingeniero Abeles, desarrolló la idea del pretensado parcial, usando alambres de alta resistencia para minimizar el efecto de las pérdidas de esfuerzos.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Actualmente el pretensado parcial es aceptado en todo el mundo, algunos códigos tienen recomendaciones y varios investigadores se dedican a realizar estudios sobre el concreto parcialmente pretensado. Tal es el caso de los trabajos producidos por Antoine E. Naaman [14] de la Universidad de Michigan en Ann Arbor, Michigan y de Rafael Sarmiento [19] de la Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela que son la fuentes principales para la elaboración de esta investigación.

DESCRIPCIÓN DE LOS CONCEPTOS TEÓRICOS APLICADOS.

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA SECCIÓN.

En la Figura No.0201 se caracteriza el detalle geométrico de la unión viga-losa, en el cual se definen las dimensiones que son necesarias para el cálculo de este ítem e igualmente en la Tabla No. 0201 se indican los cálculos que se requieren para la obtención del ancho participante de la losa según sea el caso que se esté considerando (Flexión o Corte)

La obtención de las características geométricas de la sección sencilla y compuesta para la viga en estudio requiere de las ecuaciones que se indican en las Figuras y Tablas Nos. 0202 y 0203 respectivamente.

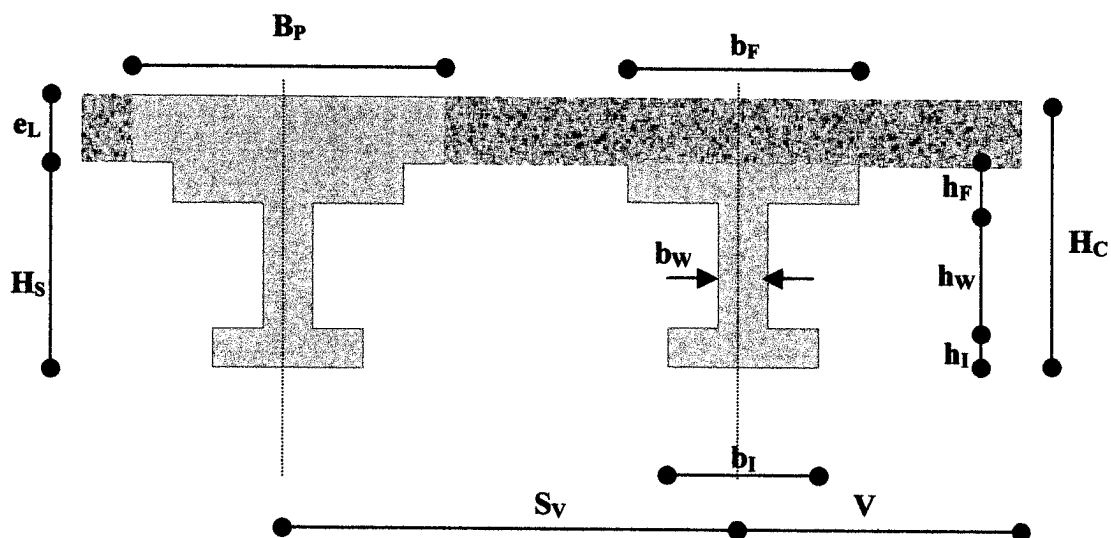
FACTORES DE IMPACTO

Las solicitaciones resultantes de las cargas vivas deben ser afectadas por un factor que considere las vibraciones y el impacto que se produce en el elemento al entrar un camión en la vía. Este Factor de impacto es diferente si se calcula para flexión o para corte, las indicaciones respectivas y ecuaciones se realizan en la Figura y Tabla No. 0204.

FACTOR DE RUEDA

Las normas AASHTO establecen que la carga viva producida por un camión está simbolizada por su línea de ruedas, y tal es el caso que pueden ser varios camiones y vehículos que actúan simultáneamente sobre un puente, en tal sentido, es necesario considerar un factor que incluya el efecto que tienen las cargas que actúan paralelas, el cual va a depender de la separación de las vigas, de la posición de la viga en el puente y otros. En este trabajo, las cargas con las que se trabajan corresponden al camión HS20. En la Figura No. 0205 se realiza un detalle de la calzada con las respectivas vigas, e igualmente en la Tabla No. 0205 se indican las ecuaciones, para el cálculo del factor de rueda según sea el caso.

Figura No. 0201
Detalle Geométrico del Elemento Viga Losa



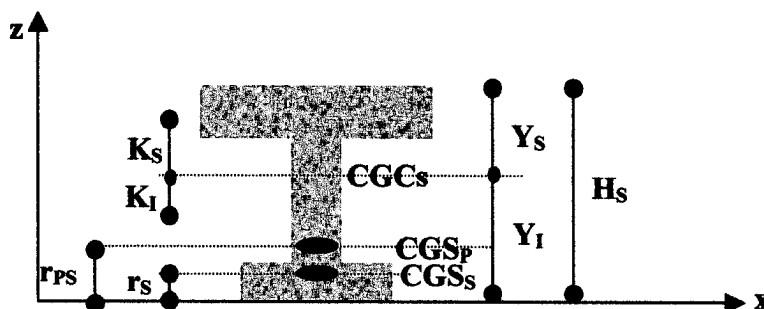
Siendo:

L_v	=	Longitud de viga	B_p	=	Ancho participante losa
S_v	=	Separación entre vigas	b_f	=	Ancho ala superior
V	=	Volado de la Losa	b_w	=	Ancho alma
e_L	=	Espesor de la Losa	b_i	=	Ancho ala inferior
			h_f	=	Altura ala superior
H_s	=	Altura sección sencilla	h_w	=	Altura alma
H_c	=	Altura sección compuesta	h_i	=	Altura ala inferior

Tabla No. 0201
Fórmula para el Cálculo del Ancho Participante de la Losa en Flexión y Corte

DISEÑO	B_1	B_2	B_3	B_{MIN}	B_p
Flexión (Externa)	$\frac{S_v}{2} + V$	$V + \frac{b_w}{2} + 6 * e_L$	$V + \frac{b_w}{2} + \frac{L_v}{12}$	MENOR { B_1, B_2 y B_3 }	$B_{MIN} * \sqrt{\frac{f'c_{LOSA}}{f'c_{VIGA}}}$
Flexión (Interna)	S_v	$b_w + 12 * e_L$	$\frac{L_v}{4}$		
Corte	S_v	$12 * e_L$	$\frac{L_v}{4}$	MENOR { B_1, B_2 y B_3 }	B_{MIN}

Figura No. 0202
Características Geométricas en Sección Sencilla



Siendo:

- CGCs = Centro de gravedad del concreto en sección sencilla
 CGS = Centros de gravedad de los aceros
 rps y rs = Recubrimientos del acero de preesfuerzo y refuerzo
 AC = Área de concreto de la sección sencilla
 I = Inercia con respecto al CGCs
 Ys = Distancia del CGCs a la fibra superior mas alejada
 Yi = Distancia del CGCs a la fibra inferior mas alejada
 Ks = Distancia del CGCs al límite superior del núcleo central
 Ki = Distancia del CGCs al límite inferior del núcleo central
 Ws = Módulo de sección superior
 Wi = Módulo de sección inferior
 Hs = Altura sección sencilla

Ecuaciones utilizadas

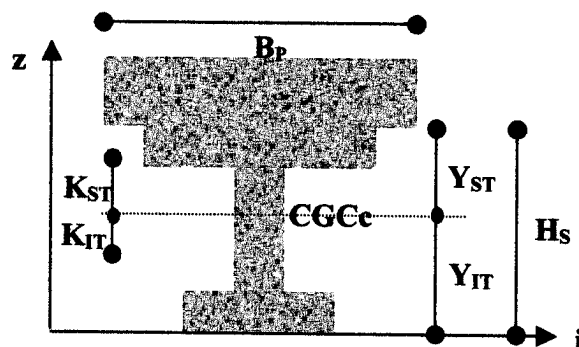
El cálculo de las características geométricas de una sección es ampliamente conocido y sencillo, consiste básicamente en dividir la sección en estudio, en figuras cuyas características geométricas sean conocidas (rectángulo, triángulo y otros), y luego referir estas propiedades de cada elemento con respecto a un eje determinado, para obtener las propiedades geométricas de la sección sencilla completa. Las ecuaciones utilizadas se indican en la Tabla No. 0202.

Tabla No. 0202
Características Geométricas en Sección Sencilla

$A_c = \sum A_c^j$	$Y_i = \frac{\sum A_c^j * y_j}{\sum A_c^j}$	$W_i = \frac{I_{cgc_s}}{Y_i}$	$K_s = \frac{W_i}{A_c}$
	$Y_s = H_s - Y_i$	$W_s = \frac{I_{cgc_s}}{Y_s}$	$K_i = \frac{W_s}{A_c}$

Licencia Creative Commons:

Figura No. 0203
Características Geométricas en Sección Compuesta



Siendo:

- $CGCc$ = Centro de gravedad del concreto en sección compuesta
 A_{CT} = Área de concreto de la sección compuesta
 I_T = Inercia con respecto al $CGCc$
 Y_{ST} = Distancia del $CGCc$ a la fibra superior mas alejada
 Y_{IT} = Distancia del $CGCc$ a la fibra inferior mas alejada
 K_{ST} = Distancia del $CGCc$ al límite superior del núcleo central
 K_{IT} = Distancia del $CGCc$ al límite inferior del núcleo central
 W_{ST} = Módulo de sección superior
 W_{IT} = Módulo de sección inferior
 H_s = Altura sección sencilla

Ecuaciones utilizadas

El cálculo de las características geométricas de la sección compuesta consiste básicamente en agregar a los cálculos previamente realizados en la sección sencilla el rectángulo participante de la losa. Las ecuaciones utilizadas se indican en la Tabla No. 0203.

Figura No. 0203
Características Geométricas En Sección Compuesta

$A_{CT} = \sum A_C^{j+1}$	$Y_{IT} = \frac{\sum A_C^{j+1} * y_{j+1}}{\sum A_C^{j+1}}$	$W_{IT} = \frac{I_{cgc_C}}{Y_{IT}}$	$K_{ST} = \frac{W_{IT}}{A_{CT}}$
	$Y_{ST} = H_s - Y_{IT}$	$W_{ST} = \frac{I_{cgc_C}}{Y_{ST}}$	$K_{IT} = \frac{W_{ST}}{A_{CT}}$

Figura No. 0204
Perfil Longitudinal de la Viga

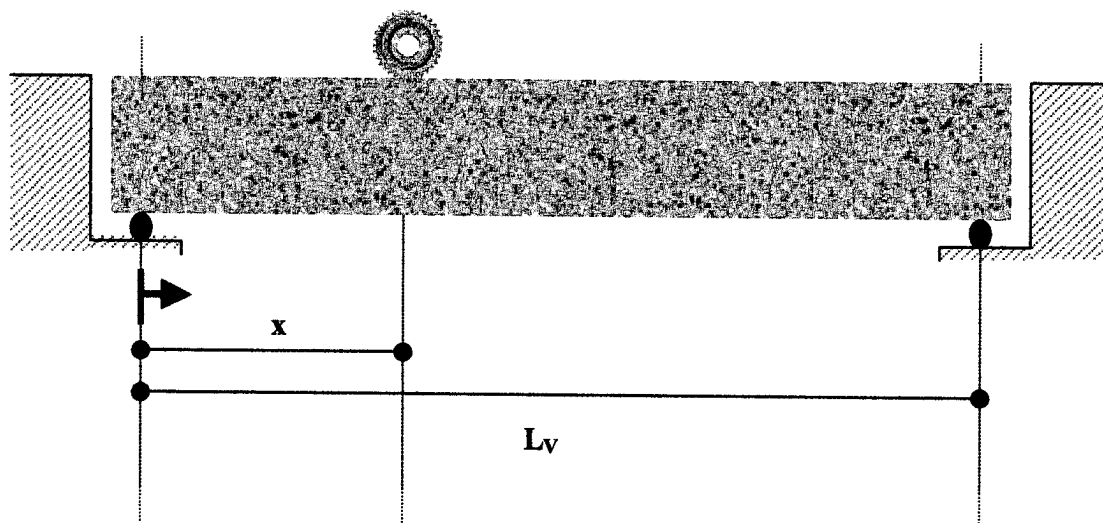


Tabla No. 0204
Fórmulas para el Cálculo de los Factores de Impacto
por Flexión y Corte.

Siendo:

L_v = Longitud de viga. (m.)
 x = Distancia desde el origen hasta la sección considerada.(m.)

FLEXION	CORTE
$FI = 1 + \frac{15}{L_v + 38} \leq 1.30$	$Fiv = 1 + \frac{15}{L_v - x + 38} \leq 1.30$

Figura No. 0205.
Detalle de la Calzada de la Vía

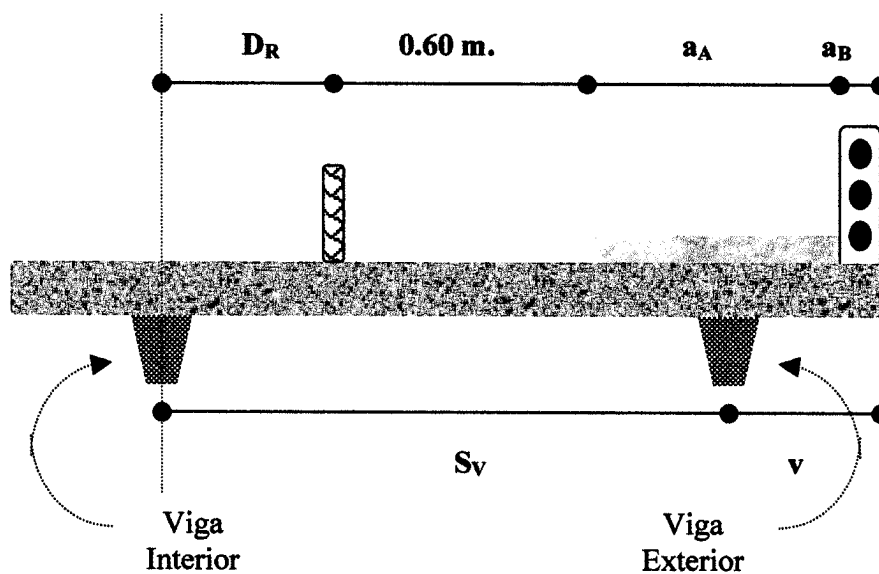


Tabla No. 0205
Fórmulas para el Cálculo del Factor de Rueda.

Siendo:

S_v	=	Separación entre vigas
v	=	Volado de la Losa
a_B	=	Ancho de la Baranda
a_A	=	Ancho de la Acera
D_R	=	Distancia de la rueda a la viga interior

VIGA	
Interior	Exterior
$S_v \leq 4.27$	$FR = \frac{D_R}{S_v}$
$FR = \frac{S_v}{1.676}$	
$S_v > 4.27$	
$FR = 2 - \frac{1.83}{S_v}$	

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

CARGAS PERMANENTES

Las distintas cargas uniformemente distribuidas, indicadas en la Figura No. 0206, y que actúan permanentemente sobre la viga, pueden calcularse de acuerdo con lo establecido en la Tabla No. 0206.

Figura No. 0206
Carga Permanente Uniforme Distribuida

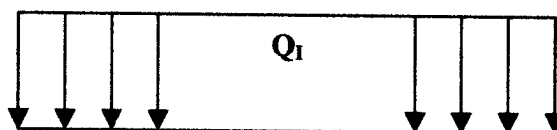


Tabla No. 0206
Fórmulas Básicas para Cálculos de Cargas Permanentes

CARGAS MUERTAS UNIFORMES		
Descripción	Variable	Ecuación
Peso Propio	Q_G	$A_c * \gamma_c$
Losa (Viga Interior)	Q_L	$S_v * e_L * \gamma_c$
Losa (Viga Exterior)	Q_L	$\frac{(S_v + V)^2}{2 * S_v} * e_L * \gamma_c$
Aceras	Q_A	$q_A * \frac{N_A}{N_v}$
Barandas	Q_B	$q_B * \frac{N_B}{N_v}$
Pavimento	a_p	$(N_v - 1) * S_v + 2 * V - 2 * (a_A + a_B)$
	Q_P	$\frac{a_p * e_p * \gamma_p}{N_v}$

Siendo:

A_c	=	Área de concreto de la sección sencilla
γ_c	=	Peso específico del concreto
γ_p	=	Peso específico del pavimento
a_p	=	Ancho de pavimento
S_v	=	Separación de vigas
N_A	=	Número de aceras
N_B	=	Número de brocales
e_p	=	espesor de pavimento
N_v	=	Número de Vigas
a_A	=	Ancho de aceras
a_B	=	Ancho de brocales

q_A	=	Carga por ml. de aceras
q_B	=	Carga por ml. de brocales
e_L	=	Espesor de la losa

CARGAS VIVAS

La determinación de las cargas vivas se hará conforme al análisis, ya que cuando se esté trabajando en flexión el factor de impacto es fijo, y en cambio para corte es variable según la sección que se esté estudiando, por lo tanto se incluirá el mencionado factor, directamente en el momento que se estén calculando las solicitaciones por carga viva. Las ecuaciones a utilizar son las siguientes:

Flexión $P_{CVF} = P_O * K_{VZLA} * F_R * F_I$

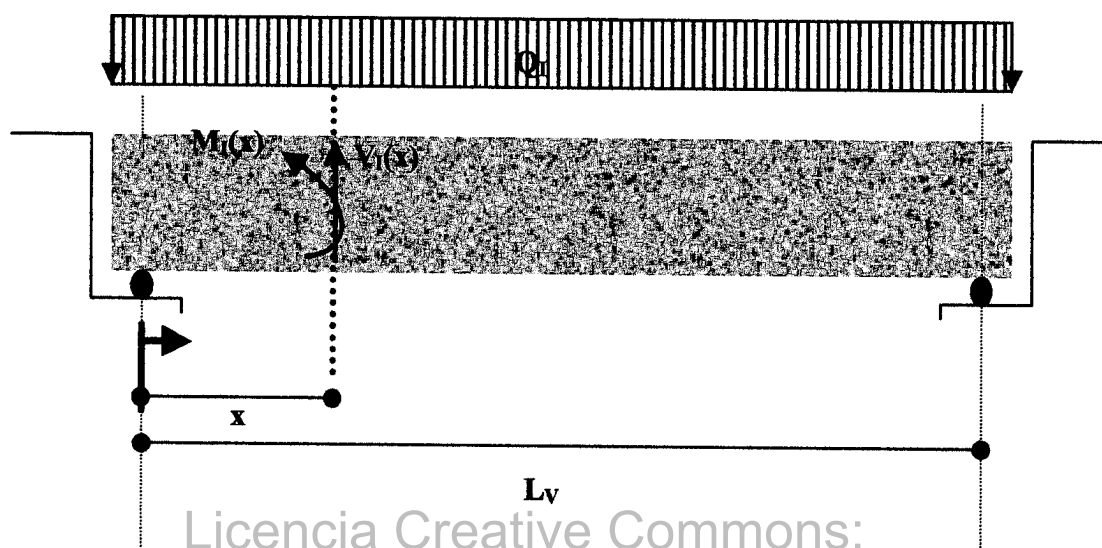
Corte $P_{CVC} = P_O * K_{VZLA} * F_R$

SOLICITACIONES POR CARGA PERMANENTE

CASO CARGAS UNIFORMES

El cálculo del corte y momento se hará de acuerdo con las ecuaciones establecidas en la Tabla No. 0207 en correspondencia con la Figura No. 0207, en la que se muestra el perfil longitudinal de viga.

Figura No 0207.
Solicitaciones Bajo Cargas Uniformes



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla No 0207.
Fórmulas Básicas Para Cálculo De
Corte Y Momento Bajo Cargas Uniformes

CORTE	MOMENTO
$V_I(x) = Q_I * \left(\frac{L_v}{2} - x \right)$	$M_I(x) = Q_I * (L_v - x) * \frac{x}{2}$

CASO CARGAS CONCENTRADAS

El cálculo del corte y momento para este caso correspondiente a las cargas del separador, se hará de acuerdo con las ecuaciones establecidas en Tabla No. 0208 en correspondencia con la Figura No. 0208 en la que se muestra un perfil longitudinal de viga.

Figura No. 0208
Solicitaciones Bajo Cargas Concentradas

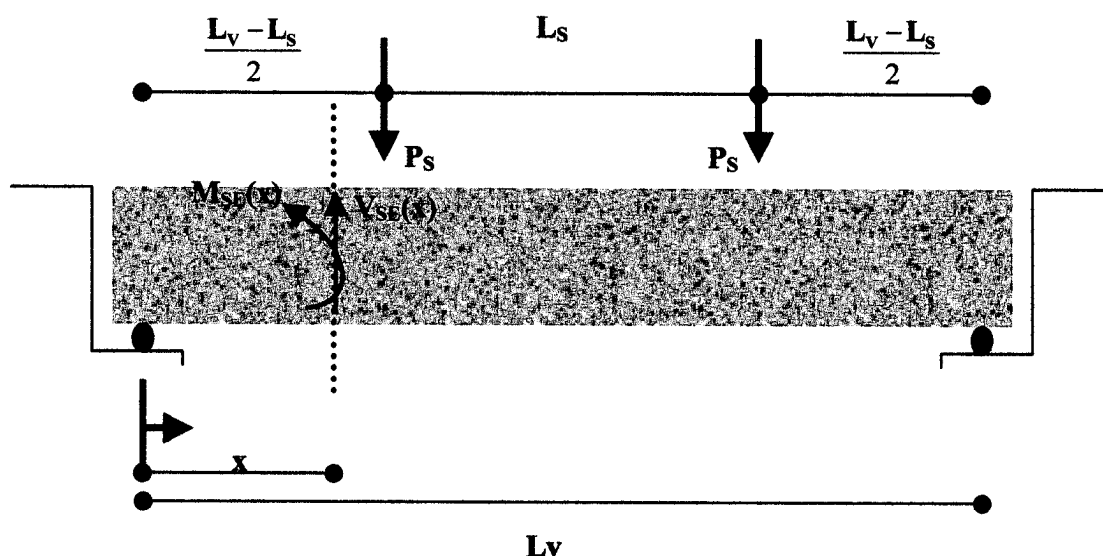


Tabla No. 0208
Ecuaciones para el Cálculo de Solicitaciones en Separadores

CORTE Y MOMENTO EN SEPARADORES		
Distancia	Corte [$V_{se}(X)$]	Momento [$M_{se}(X)$]
$x < \frac{L_v - L_s}{2}$	$V_{SE} = P_s$	$M_{SE} = P_s * x$
$\frac{L_v - L_s}{2} \leq x \leq \frac{L_v}{2}$	$V_{SE} = 0$	$M_{SE} = P_s * \frac{L_v - L_s}{2}$

SOLICITACIONES POR CARGA VIVA

Para obtener los cortes negativos en una viga se utilizan las expresiones indicadas en la Tabla No. 0209, y para el cálculo de los momentos máximos y sus correspondientes cortes (positivos) se utilizan las expresiones indicadas en la Tabla No. 0210. Las mencionadas tablas fundamentalmente prevén un valor de las solicitaciones conforme a la sección que se está tratando, a la longitud de la viga y a la posición más desfavorable del camión HS-20 recomendado por la norma AASHTO.

Tabla No. 0209
Fórmulas para el Cálculo de los Cortes Negativos
en una Viga Simplemente Apoyada

$x < 4.27$		
	Caso I	Caso II
Vx	$-\frac{1}{4} * \frac{Pc}{Lv} * x * Fiv$	$-\frac{1}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (5 * x + 4.27 - Lv) * Fiv$
$4.27 < x < 8.54$		
	Caso I	Caso II
Vx	$-\frac{1}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (5 * x - 17.08) * Fiv$	$-\frac{1}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (9 * x - 12.81 - Lv) * Fiv$
$x > 8.54$		
	Caso I	Caso II
Vx	$-\frac{9}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (9 * x - 5.673) * Fiv$	$-\frac{1}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (9 * x - 12.81 - Lv) * Fiv$

Nota:

El Corte definitivo corresponde al menor valor que se obtenga de evaluar los casos I y II.

Siendo:

- Po = Resultante por eje del camión
 Fvzla = Factor de mayoración de la Norma Venezolana
 FR = Factor de Rueda
 Fiv = Factor de Impacto en Corte
 Lv = Longitud de la Viga
 x = Distancia desde el origen hasta el punto de análisis.
 Pc = Po * Fvzla * FR

Tabla No. 0210
Fórmulas para Calcular los Momentos Máximos
y los Cortes Positivos Asociados en una Viga Simplemente Apoyada

$0 \leq L_v \leq 4.27$		
Vx	$\frac{P_c}{L_v} * [L_v - x] * Fiv$	
Mx	$\frac{P_{cv}}{L_v} * [L_v - x] * x$	
$4.27 \leq L_v \leq 8.54$		
$0 \leq x \leq L_v - 4.27$		
Vx	$2 * \frac{P_c}{L_v} * [L_v - x - 2.135] * Fiv$	$\frac{P_c}{L_v} * [L_v - x] * Fiv$
Mx	$2 * \frac{P_{cv}}{L_v} * [L_v - x - 2.135] * x$	$\frac{P_{cv}}{L_v} * [L_v - x] * x$
$8.54 \leq L_v \leq 12.81$		
$0 < x < L_v / 3$		
$0 \leq x \leq L_v - 8.54$		
Vx	$9 * \frac{P_c}{4} * [L_v - x - 2.85] * Fiv$	$2 * \frac{P_c}{L_v} * [L_v - x - 2.135] * Fiv$
Mx	$9 * \frac{P_{cv}}{4} * [L_v - x - 2.85] * x$	$2 * \frac{P_{cv}}{L_v} * [L_v - x - 2.135] * x$
$L_v / 3 < x < L_v / 2$		
$4.27 \leq x \leq L_v / 2$		
Vx	$\left[\frac{9}{4} * \frac{P_c}{L_v} * (L_v - x - 1.423) - \frac{P_c}{4} \right] * Fiv$	
Mx	$\left[\frac{9}{4} * \frac{P_{cv}}{L_v} * (L_v - x - 1.423) * x - 1.07 * P_{cv} \right]$	

Tabla No. 0210
Fórmulas para Calcular los Momentos Máximos
y los Cortes Positivos Asociados en una Viga Simplemente Apoyada

Lv > 12.81		
	0 < x < Lv / 3	Lv / 3 < x < Lv / 2
Vx	$\frac{9}{4} * \frac{Pc}{Lv} * [Lv - x - 2.85] * Fiv$	$\left[\frac{9}{4} * \frac{Pc}{Lv} * (Lv - x - 1.423) - \frac{Pc}{4} \right] * Fiv$
Mx	$\frac{9}{4} * \frac{Pcv}{Lv} * [Lv - x - 2.85] * x$	$\left[\frac{9}{4} * \frac{Pcv}{Lv} * (Lv - x - 1.423) * x - 1.07 * Pcv \right]$

Siendo:

Po	=	Resultante por eje del camión
Fvzla	=	Factor de Mayoración de la Norma Venezolana
FR	=	Factor de Rueda
FI	=	Factor de Impacto en Flexión
Fiv	=	Factor de Impacto en Corte
Lv	=	Longitud de la Viga
x	=	Distancia desde el origen hasta el punto de análisis.
Pc	=	Po * Fvzla * FR
Pcv	=	Po * Fvzla * FR * FI

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS TEÓRICOS

DISEÑO A FLEXION.

El desarrollo teórico de los conceptos requeridos para el análisis y diseño de vigas parcialmente preesforzadas, están claramente establecidos en los trabajos fuente de esta investigación, por lo tanto, quienes quieran ampliar algunos de los conceptos emitidos deben referirse a los trabajos realizados por Naaman [14] y Sarmiento [19], los cuales están detallados en la bibliografía. En tal sentido, en esta investigación sólo se limitará a exponer un procedimiento operativo y la aclaración de algunos conceptos globales claves.

En la publicación de Naaman [14] se propone la siguiente definición para el preesfuerzo parcial:

“Una combinación necesaria y suficiente para que un miembro de concreto sea llamado parcialmente preesforzado, es la de contener preesfuerzo y refuerzo no preesforzado, intentando resistir cargas externas de la misma naturaleza”.

Ello implica que ambos aceros contribuyen a la resistencia del elemento, y asegura la posible evaluación de tensiones, deformaciones, agrietamientos y otros, bajo la carga de servicio, al igual que la resistencia última sea la adecuada.

El empleo de acero de refuerzo junto con el acero preesforzado, tiene la ventaja de formar una combinación efectiva, uno complementa al otro, el acero preesforzado equilibra una porción de la carga, reduce la deflexión y suministra la mayor parte de la resistencia, mientras que el acero no preesforzado distribuye las grietas, aumenta la resistencia a la rotura, refuerza aquellas porciones que no han sido alcanzadas por el acero preesforzado y suministra seguridad adicional ante las condiciones inesperadas de carga.

El parámetro clave para el análisis y diseño es la Relación de Preesfuerzo Parcial (RPP), considerada como la relación entre el momento último resistente proporcionado por el preesfuerzo y el momento último resistente que ofrece el refuerzo total en tensión. Se presenta la ecuación de acuerdo a la definición y a las recomendaciones del código del AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI) [6].

$$RPP = \frac{(Mu)_p}{(Mu)_{p+s}} = \frac{A_{ps} * f_{ps} * \left(dp - \frac{a}{2}\right)}{A_{ps} * f_{ps} * \left(dp - \frac{a}{2}\right) + A_s * f_y * \left(ds - \frac{a}{2}\right)}$$

Donde:

A_{ps} = Área de acero de preesfuerzo (alta resistencia)
 A_s = Área de acero de refuerzo
 a = Profundidad del bloque de compresión de esfuerzos
 (en estado último)

d_p = Distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del acero de preesfuerzo

d_s = Distancia de la fibra extrema en compresión al centroide del acero de refuerzo (no preesforzado).

f_p = Esfuerzo en el acero preesforzado en el estado último.

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo.

Los códigos americanos recomiendan seleccionar la “relación de pretensado parcial”. El uso de este índice permite tratar en forma similar, en cuanto se refiere a la resistencia última por flexión de las vigas de concreto armado, concreto pretensado y concreto parcialmente pretensado.

Si $d_p = d_s$ o si se define “d” como la distancia de la fibra extrema en compresión al centroide de la fuerza de tensión, el valor RPP queda reducido a la siguiente expresión:

$$RPP = \frac{A_{ps} * f_p}{A_{ps} * f_p + A_s * f_y}$$

En esta ecuación se supone que el acero de refuerzo alcanza los esfuerzos de fluencia cuando la sección se encuentra en estado último, esto ocurre si la viga es subreforzada.

Este parámetro para el análisis y diseño de vigas, tiene grandes ventajas ya que considera las dos condiciones extremas: concreto armado ($RPP=0$) y concreto totalmente preesforzado ($RPP=1$).

ANÁLISIS POR FLEXIÓN.

En el diseño a flexión se deben tomar en cuenta dos condiciones:

- Diseñar el elemento para el estado último, que implica garantizar que el momento último resistente sea al menos igual al momento último actuante.
- Revisar el comportamiento del elemento, en cuanto a esfuerzos, ancho de grietas, deflexiones y otros para las condiciones de servicio.

FILOSOFÍA DE DISEÑO.

El concepto de diseño de Estado Límite está muy bien establecido. Los estados de límite final (diseño de resistencia), corresponden a la máxima carga mientras que los estados de durabilidad límite corresponden al criterio en donde interviene la fatiga, fisuras y deflexión. El diseño de esfuerzo (que es primordialmente usado para concreto preesforzado) es un límite basado en la frontera de los esfuerzos actuantes. El objetivo del diseño bajo estado límite, es asegurar que haya una aceptable probabilidad de que la estructura no llegue al estado límite.

El diseño de vigas parcialmente preesforzada cae en algún lugar entre el diseño de vigas totalmente preesforzada y el diseño de vigas reforzadas. Este diseño no está descrito directamente en la norma ACI [6].

El diseño implica la determinación de algunas incógnitas, las cuales incluyen no solamente el reforzamiento sino también las dimensiones de la sección. La determinación de las dimensiones de la sección de una viga parcialmente preesforzada puede realizarse en concordancia a los procedimientos usados para concreto reforzado y totalmente preesforzado. Sin embargo, la determinación del refuerzo, incluye una variable adicional y requiere un tratamiento especial.

DISEÑO DEL REFUERZO.

Suponiendo que las características geométricas de la sección de concreto están dadas y el requerimiento al refuerzo es estimado, dos incógnitas se pueden determinar satisfaciendo dos ecuaciones de equilibrio (fuerza y momento). Las incógnitas A_s y c para concreto reforzado y A_{ps} y c para concreto totalmente preesforzado, siendo A_s y A_{ps} las áreas de acero del refuerzo y de preesfuerzo y c la profundidad del eje neutro. En el concreto parcialmente preesforzado se tendrán tres incógnitas: A_s , A_{ps} y c , por lo que una tercera ecuación es necesaria para obtener una solución.

Es preferible adoptar un procedimiento de diseño para elementos de concreto parcialmente preesforzado que también pueda aplicarse para las condiciones extremas, especialmente al concreto reforzado, como el diseño del refuerzo está basado en requerimientos de resistencia es conveniente generar una tercera ecuación asignando un valor a priori a la razón de preesfuerzo parcial. La razón de preesfuerzo parcial es la razón del momento de resistencia nominal apto para el acero de preesfuerzo entre el momento de resistencia nominal que es apto para el acero total. Es preciso no mezclar los requerimientos de resistencia última y de servicio, y este procedimiento es el único que provee un tratamiento unificado del diseño de resistencia.

Una vez que las áreas de acero de preesforzado y no preesforzado son determinadas, el diseño prosigue en forma similar al caso del concreto reforzado, chequeando criterios de durabilidad (fisuras, fatiga, deflexión y otros), e igualmente comparando los esfuerzos actuantes con los permisibles.

El diseño de vigas de concreto parcialmente preesforzado está dividido en dos etapas: en la primera etapa hay que calcular los valores del área de acero preesforzado (A_{ps}) y el área del acero de refuerzo (A_s) de modo que se satisfagan las condiciones para el estado último; y en la segunda etapa es necesario analizar la sección agrietada para chequear las condiciones bajo cargas de servicio, tales como agrietamiento, fatiga y deflexiones.

Cálculo de A_{ps} y A_s .

El proceso operativo quedaría resuelto de acuerdo a la siguiente secuencia:

- 1) Estimar la relación de pretensado parcial requerida utilizando como primeras aproximaciones las siguientes expresiones:

$$RPP = \frac{1.4 * M_{muerta}^{carga}}{1.4 * M_{muerta}^{carga} + 1.7 * M_{viva}^{carga}} \quad \text{o} \quad RPP = \frac{M_{muerta}^{carga}}{M_{muerta}^{carga} + M_{viva}^{carga}}$$

También se pueden utilizar los valores indicados en la Tabla No. 0211.

Tabla No. 0211
Valores Recomendados para el RPP

Tipo de Elemento	RPP
Vigas "T" o Doble "T"	0.60
Vigas Cajón	0.65
Losas Macizas	0.85

- 2) Estimar la altura útil usando la siguiente ecuación:

$$d = d_p * RPP + (1 - RPP) * d_s$$

- 3) Se calcula el índice de preesfuerzo ($\bar{w}$), y se debe verificar que $\bar{w} > 0.36 * \beta_1$, en caso contrario, se reinicia el proceso realizando cambios a la sección transversal y a la resistencia de los materiales.

$$\bar{w} * (1 - 0.59 * \bar{w}) = \frac{M_{ultimo}^{actuante}}{\phi_r * b_r * d^2 * f_c} > 0.36 * \beta_1$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$\text{Siendo } \beta_1 = \left\{ \begin{array}{ll} 0,85 & \Rightarrow (f'c = 280 \text{ kg/cm}^2) \\ 1,05 - \frac{f'c}{1400} & \Rightarrow (280 < f'c < 560 \text{ kg/cm}^2) \\ 0,65 & \Rightarrow (f'c = 560 \text{ kg/cm}^2) \end{array} \right\}$$

4)) Se chequea que la sección es rectangular o trabaja como rectangular {profundidad "c" del diagrama en compresión menor o igual que el espesor del ala superior "hf"}. Si es rectangular se pasa al paso 8.

$$c = 1.18 * \bar{w} * \frac{d}{\beta_1} \leq h_f$$

5) Se calcula el momento último actuante para el caso de sección T.

$$Mu_w = Mu - 0.85 * \phi_c * f'c * (b_f - b_w) * h_f * \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

6) Se calcula el índice de preesfuerzo ($\bar{w}_w$), y se verifica que $\bar{w}_w > 0.36 * \beta_1$, en caso contrario, se reinicia el proceso realizando cambios a la sección transversal y a la resistencia de los materiales.

$$\bar{w}_w * (1 - 0.59 * \bar{w}_w) = \frac{Mu_w}{\phi_f * b_w * d^2 * f'c} > 0.36 * \beta_1$$

7) Se calcula la fuerza total (Cn) y la profundidad (c) en sección T. Se pasa al paso 9.

$$C_N = f'c * [0.85 * \phi_f * (b_f - b_w) * h_f] + \bar{w}_w * b_w * d$$

$$c = 1.18 * \bar{w}_w * \frac{d}{\beta_1}$$

8) Se calcula la fuerza total (Cn) y profundidad (c) ya está calculada en sección rectangular.

$$C_N = f'c * b_f * d * w$$

9) Se calcula la fuerza a absorber por el acero de preesfuerzo (Fu) y por el de refuerzo (Tu).

$$Fu = C_N * RPP$$

y

$$Tu = C_N * (1 - RPP)$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

10) Se ajusta el valor del esfuerzo del acero de preesfuerzo (fps).

$$fps = fpu * \left(1 - 0.3 * \frac{c}{d}\right)$$

11) Se calculan las áreas de los aceros de preesfuerzo (Aps) y refuerzo (As), y se ajustan esas áreas a valores comerciales.

$$Aps = \frac{Fu}{fps} \Rightarrow Aps_{comercial} \quad y \quad As = \frac{Tu}{fy} \Rightarrow As_{comercial}$$

Chequeo si es satisfactorio el valor de la altura útil de la sección (d).

12) Se calcula el valor del índice de preesfuerzo ($\bar{w}$) en función a los valores de área comerciales calculados.

$$\bar{w} = \frac{Aps * fps + As * fy}{b_f * d * f'c}$$

13) Se recalcula el valor de profundidad en compresión (c) y del esfuerzo del acero de preesfuerzo (fps), utilizando las ecuaciones indicadas en los pasos 4 y 10.

14) Se calcula el valor de la altura del rectángulo en compresión (a).

$$a = \frac{Aps * fps + As * fy}{0.85 * f'c * b_f}$$

15) Se calcula exactamente el valor de RPP.

$$RPP = \frac{Aps * fps * \left(dp - \frac{a}{2}\right)}{Aps * fps * \left(dp - \frac{a}{2}\right) + As * fy * \left(ds - \frac{a}{2}\right)}$$

16) Se rectifica el valor de la altura útil de la sección, utilizando la ecuación indicada en el paso 2.

17) Se calcula el momento último resistente (Mu), y se verifica que sea mayor que el momento último actuante. De satisfacerse esta condición, habría que chequear si se satisface holgadamente, y en ese caso se debe reducir RPP hasta llegar a una solución en la que el orden en magnitud de ambos momentos sea similar, y queda

concluido este proceso de diseño en el estado último, pero en caso contrario, se debe incrementar la relación hasta que sea posible ($RPP=1$), y obtener una solución satisfactoria. De no ser posible cumplir con la condición, se deberán modificar las dimensiones de la sección y las resistencias de los materiales.

CHEQUEO DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO

Una vez que A_{ps} y A_s han sido determinados, y se ha satisfecho la condición de resistencia en el estado último, la sección puede ser analizada para diferentes criterios de carga de servicio. Esto requiere el uso de ecuaciones matemáticas para el análisis de secciones agrietadas. Se deben seguir los siguientes pasos:

Pérdidas de Preesfuerzo

Por Acortamiento Elástico (ES)

Es la pérdida de tensado debida al acortamiento que sufre el acero, al acortarse el concreto, y ambos materiales están unidos.

$$ES = \frac{E_{ps}}{E_{ci}} * f_{CIR} \quad f_{CIR} = \frac{F_i}{A_c} + \frac{F_i * e^2}{I} - \frac{M^{carga\ muerta} * e}{I}$$

Siendo:

E_{ps}	=	Módulo de elasticidad del acero de preesfuerzo.
E_{ci}	=	Módulo de elasticidad inicial del concreto
F_i	=	Fuerza aplicada en la sección, antes de las pérdidas
e	=	Excentricidad del acero preesforzado
I	=	Inercia de la sección transversal de concreto
A_c	=	Área de concreto
f_{CIR}	=	Esfuerzo en el concreto antes de pérdidas, en el centro de gravedad del acero preesforzado debido a la fuerza de pretensado y la carga muerta.

Retracción (SH)

Es la pérdida de tensado debida al acortamiento que sufre el acero, al acortarse el concreto por efecto de la retracción.

$$SH = 1195 - 10.55 * RH$$

donde:

RH = Humedad relativa promedio anual en porcentaje

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Por Fluencia (CRc)

Es la pérdida de tensado debida al acortamiento que sufre el acero, al acortarse el concreto debido a los efectos de carga sostenida sobre algunas propiedades del material y al tiempo de aplicación.

$$CRc = 12 * f_{CIR} - 7 * f_{CDS}$$

$$f_{CDS} = \frac{M_{losa+separ}}{I} * e + \frac{M_{acera+brocal+pav}}{I_T} * e_t$$

Siendo:

- e_t = Excentricidad del acero preesforzado (sección compuesta).
 e = Excentricidad del acero preesforzado (sección sencilla).
 I = Inercia de la sección sencilla transversal en el concreto.
 I_T = Inercia de la sección compuesta transversal en el concreto.
 f_{CDS} = Esfuerzo en el concreto, en el centro de gravedad del acero preesforzado debido a todas las cargas permanentes excepto el peso propio.

Por Relajación (CRs)

Es la pérdida de tensado en el acero por mantenerse a longitud constante en el tiempo.

$$CRs = 1406 - 04 * ES - 0.2 * (SH * CRc)$$

Fuerza de Servicio.

$$F_{SERVICIO}(x) = F_{SERVICIO}^{INICIAL}(x) - \{ES(x) + SH + CRc(x) + CRs(x)\} * A_{ps}(x)$$

Estudio de los casos de carga.

Leonhart citado por Sarmiento [19], realizó un estudio sobre la distribución de frecuencia de la carga viva, en el que encontró que en más del 95% de los casos, la carga real aplicada sobre una estructura variaba desde un 20% hasta un 70% de la carga viva especificada, y los valores mas frecuentes oscilaban entre 40% y 50%, por lo tanto, sobre la base de esa información estadística se hace la siguiente propuesta en la Tabla No. 0212 para los diferentes niveles de servicio:

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla No. 0212
Niveles de Servicio de la Viga

Casos de Carga	Análisis
$M_{\text{CARGA MUERTA}}$	Chequear con M_{cr}
$M_{\text{CARGA MUERTA}} + 0.45 \cdot M_{\text{CARGA VIVA}}$	Chequear con M_{cr}
$M_{\text{CARGA MUERTA}} + 0.70 \cdot M_{\text{CARGA VIVA}}$	Chequear con M_{cr}
$M_{\text{CARGA MUERTA}} + M_{\text{CARGA VIVA}}$	Chequear con M_{cr}
$M_{\text{AGRIETAMIENTO}} (M_{cr})$	Sección no agrietada
$M_{\text{AGRIETAMIENTO}} (M_{cr})$	Sección agrietada

Verificación de los esfuerzos actuantes en los materiales

De acuerdo con los casos de carga que se plantean se procede a conocer en cada caso, los esfuerzos del acero de preesfuerzo, de refuerzo, y del concreto, de acuerdo con las ecuaciones propuestas en las Tablas Nos. 0213 y 0214, según sea el caso en cuanto a la magnitud del momento en estudio, con respecto al momento de agrietamiento de la sección. Igualmente se hace necesario conocer las diferencias o cambios de esfuerzos para conocer la fatiga que hay de acuerdo con los movimientos de carga viva propuestos con respecto al caso inicial de carga muerta.

Controles propuestos

Para la fase de servicio son los siguientes:

a) Acero de preesfuerzo.

El esfuerzo nunca podrá exceder $f_{ps\text{admisible}} < 0.70 \cdot f_{pu}$ y el rango de esfuerzos en tensión bajo cargas de servicio repetitivas no deben exceder de:

$$\Delta f_{ps} = 0,10 \cdot f_{pu} \quad (\text{para guayas}); \text{ y}$$

$$\Delta f_{ps} = 0,12 \cdot f_{pu} \quad (\text{para alambres de alta resistencia})$$

Esto da un rango límite de variación de esfuerzos:

$$\text{de } 27 \text{ Ksi} = 1.900 \text{ Kg/cm}^2 \text{ para guayas y}$$

$$\text{de } 30 \text{ Ksi} = 2.100 \text{ Kg/cm}^2 \text{ para alambres.}$$

b) Acero de refuerzo.

El esfuerzo nunca podrá exceder $f_{s\text{admisible}} < 0.50 \cdot f_y$ y el rango de esfuerzos en tensión o la combinación de esfuerzos de tensión bajo cargas repetitivas de servicio no deben exceder de:

$$\Delta f_s = 1.400 \text{ Kg/cm}^2 \quad (20 \text{ Ksi})$$

Tabla No. 0213
Fórmulas para los Esfuerzos en Secciones No Agrietadas
 $M \leq M_{CR}$

CALCULO DE ESFUERZOS ACTUANTES PARA F + M CON $M \Rightarrow M_{CMT} \leq M \leq M_{CR}$	
$M_{CR} = \frac{\left[I \cdot \frac{E_C}{E_{PS}} + A_{PS} \cdot (r_g^2 + e_{PS}^2) \right] \cdot \left[A_{PS} \cdot f_{SE} \cdot (e_{PS} + K_S) + 2 \cdot W_l \cdot \sqrt{f'_c} \right] - \left[A_{PS} \cdot (e_{PS} + K_S) \cdot e_{PS} \cdot M_{CMT} \right]}{\left[I \cdot \frac{E_C}{E_{PS}} + A_{PS} \cdot (r_g^2 - e_{PS} \cdot K_S) \right]}$	
f_{PS}	$f_{SE} + \frac{(M - M_{CMT}) \cdot e_{PS}}{I \cdot \frac{E_C}{E_{PS}} + A_{PS} \cdot (r_g^2 + e_{PS}^2)}$
f_{CNS}	$f_{PS} \cdot \frac{A_{PS}}{A_C} \cdot \left[1 + \frac{e_{PS} \cdot (d_s - Y_s)}{r_g^2} \right] - \frac{M \cdot (d_s - Y_s)}{I}$
f_s	$-\frac{E_s}{E_C} \cdot f_{CNS}$
f_{CT}	$f_{PS} \cdot \frac{A_{PS}}{A_C} \cdot \left[1 - \frac{e_{PS}}{K_l} \right] - \frac{M \cdot Y_s}{I}$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla No. 0214
Fórmulas para los Esfuerzos en Secciones Agrietadas
 $M > M_{CR}$

CALCULO DE ESFUERZOS ACTUANTES PARA F + M CON $M > M_{CR}$			
ϵ_{SE}	$\frac{f_{SE}}{E_{PS}}$		
ϵ_{CE}	$\left[\frac{A_{PS} * f_{SE} * (r_g^2 + e_{PS}^2) - M_{CMT} * e_{PS}}{I * E_C} \right]$		
λ_1	$\frac{1}{3} * E_{PS} * A_{PS} * b_w * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE})$		
λ_2	$E_{PS} * A_{PS} * b_w * d_{PS} * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE})$		
λ_3	$2 * (b - b_w) * h_F + \frac{2}{E_C} * (A_S * E_S + A'_S * E'_S + A_{PS} * E_{PS})$		
λ_4	$2 * E_{PS} * A_{PS} * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE}) * \left[\frac{(b - b_w) * h_F * d_{PS} - (b - b_w) * \frac{h_F^2}{2} - A_S * \frac{E_S}{E_C} * (d_S - d_{PS}) - A'_S * \frac{E'_S}{E_C} * (d'_S - d_{PS})}{2} \right]$		
λ_5	$2 * (b - b_w) * h_F^2 + \frac{2}{E_C} * (A_S * E_S * d_S + A'_S * E'_S * d'_S + A_{PS} * E_{PS} * d_{PS})$		
λ_6	$E_{PS} * A_{PS} * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE}) * \left[\frac{2}{3} * (b - b_w) * h_F^3 - (b - b_w) * h_F^2 * d_{PS} + 2 * A_S * \frac{E_S}{E_C} * (d_S - d_{PS}) * d_S + 2 * A'_S * \frac{E'_S}{E_C} * (d'_S - d_{PS}) * d'_S \right]$		
c	$\frac{\lambda_1}{M} * c^3 + \left(b_w - \frac{\lambda_2}{M} \right) * c^2 + \left(\lambda_3 - \frac{\lambda_4}{M} \right) * c - \left(\lambda_5 - \frac{\lambda_6}{M} \right) = 0$		
f_{CT}	$\frac{E_{PS} * A_{PS} * c * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE})}{\frac{b * c^2}{2} - \left[\left(\frac{b - b_w}{2} \right) * (c - h_F)^2 \right] - A_{PS} * \frac{E_{PS}}{E_C} * (d_{PS} - c) - A_S * \frac{E_S}{E_C} * (d_S - c) - A'_S * \frac{E'_S}{E_C} * (d'_S - c)}$		
f_s	$\frac{E_S}{E_C} * \left(\frac{d_S - c}{c} \right) * f_{CT}$		
f_{PS}	$E_{PS} * (\epsilon_{SE} + \epsilon_{CE}) + \frac{E_S}{E_C} * \left(\frac{d_{PS} - c}{c} \right) * f_{CT}$		
ϵ_{PS}	$\frac{f_{PS}}{E_{PS}}$	ϵ_S	$\frac{f_s}{E_s}$

Licencia Creative Commons:

c)Concreto.

El rango de esfuerzos de compresión en el concreto debido a las cargas de servicio repetitivas no debe exceder de:

$$\Delta f_c = 0.4 * f'_c - \frac{f_{min}}{2} \quad f_{min} = F * \left[\frac{1}{A_c} + \frac{e^2}{I} \right] - \frac{M_{muerta} * e}{I}$$

Donde:

- f'_c = Resistencia a la compresión del concreto.
 f_{min} = Esfuerzo mínimo en el concreto, debido a la carga muerta y al preesfuerzo.
 e = Excentricidad del acero preesforzado.
 I = Inercia de la sección transversal de concreto.
 A_c = Área de concreto.

Control de fisuración

De acuerdo con los casos de carga que se plantean se procede a realizar el control de fisuración, el cual se hace necesario ya que todo miembro a flexión se encuentra agrietado en la zona de tracción, y requiere controlar las grietas a fin de garantizar el comportamiento satisfactorio de la viga ante los efectos de la corrosión de los aceros. En tal sentido, es necesario garantizar muchas fisuras de poco ancho antes que pocas fisuras de gran profundidad. La ecuación de cálculo y control está descrita en la Tabla No. 0215

Tabla No. 0215

Fórmulas Básicas para el Control de Fisuración

Siendo:

- f_y = Límite elástico del acero de refuerzo.
 d_c = Dimensión en centímetros desde el interior de la fibra traccionada hasta el centro de la cabilla mas cerca al exterior.
 A = Área efectiva de concreto en tracción que bordea la armadura en flexión y que tiene el mismo baricentro de tal armadura, dividida por el número de cabillas.
 r_s = Recubrimiento del acero de refuerzo mas al borde.
 N_s = Numero de cabillas del acero de refuerzo.
 b_l = Ancho ala inferior.

$$f_{FIS} = 060 * f_y * \sqrt[3]{d_c * A} = 0.60 * f_y * \sqrt[3]{\frac{2 * r_s * b_l * d_l}{N_s}} \leq 26000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

Nota: Cuando se tengan cabillas de diferentes diámetros se tomara la de mayor diámetro.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Chequeo del ancho máximo de grietas

Las vigas de concreto parcialmente preesforzadas están generalmente diseñadas para soportar las solicitaciones bajo cargas de servicio. Para estas cargas de servicio el agrietamiento máximo debe ser menor que los límites recomendados por el código para el ancho de grietas. El máximo ancho de grietas es el admitido y recomendado por el comité ACI 224 en miembros reforzados indicada en la Tabla No.0216 y que pueden ser usados, preferiblemente con algún factor de reducción, en miembros de concreto preesforzado y parcialmente preesforzado. Para seleccionar los factores de reducción, el criterio de ingeniería debería ser aplicado considerando el menor diámetro de los elementos de refuerzo (barras y cables), el recubrimiento del refuerzo y las condiciones de exposición.

Tabla No. 0216
Valores Permisibles del Ancho de Grietas (A.C.I. 224)

Condición Ambiental	Ancho máximo(mm)
Exposición interior	0.40
Exposición exterior	0.33
Exposición alternada en agua de mar	0.15
Estructuras de depósitos de agua	0.10
Químicos anticongelantes	0.18

Sólo pocas ecuaciones se ponen en práctica para predecir ancho de grietas en miembros de concreto flexionados. Por cuanto los factores que inciden en el ancho de grietas son básicamente los mismos para miembros de concreto reforzado y parcialmente preesforzado. Las fórmulas existentes para concretos reforzados pueden ser adaptadas al concreto parcialmente preesforzado. En este trabajo se utilizará la de Nawy&Chiang que se describe a continuación:

$$\omega_{\max} = 0.145 * 10^{-5} * \chi * \beta * \frac{\Delta t}{\Sigma_o} * \Delta f_s$$

Donde:

$\omega_{\max}$	=	Ancho máximo de grieta (mm).
Δt	=	Área de concreto sometida a tracción (cm ²).
Δf_s	=	Cambio neto de esfuerzos en el acero preesforzado después de la descompresión (kg/cm ²).
Σ_o	=	Suma del perímetro de los elementos de refuerzo adheridos (cms).
χ	=	5,85 para pretensado y 6,51 para postensado.
β	=	Relación entre la fibra mas alejada en tracción , desde el centroide del acero al eje neutro.

Chequeo de la deflexión

El chequeo se realiza en el centro de la viga, bajo la totalidad cargas vivas y cargas sostenidas y para compararla con la Tabla 9.5b del ACI de la cual se extrae el valor de control establecido en la Tabla No. 0217.

Igualmente se presentan las ecuaciones para el cálculo de flecha actuante, solo como una relación de la flecha instantánea. Las flechas instantáneas pueden ser calculadas de acuerdo con los casos expuestos en la Tabla No. 0218.

Tabla No. 0217
Fórmulas Básicas para Control de la Deflexión Máxima Permitida
en el Centro De La Viga

FLECHAS MÁXIMAS PERMITIDAS		
Miembro	Flecha a Considerarse	Flecha Limite
Techos o entresijos que soportan o están unidos a elementos no estructurales susceptibles de ser dañados por grandes flechas.	Aquella parte de la flecha total que se produce después de la fijación de los elementos no estructurales (suma de la flecha a largo plazo o diferida debida a las cargas muertas y la flecha instantánea debida a cualquier carga viva adicional aplicada después de la fijación de los elementos no estructurales).	$\frac{L_v}{480}$

Flechas Diferidas.

$$\Delta_{\text{DIFERIDA}} = \lambda * \Delta_{\text{INSTANTANEA}} \quad \text{Para un tiempo de cinco años} \Rightarrow \lambda = 2$$

Flecha Actuante.

$$\Delta_{\text{ACTUANTE}} = \lambda * \Delta_{\text{INSTANTANEA}}^{\text{Carga Muerta}} + \Delta_{\text{INSTANTANEA}}^{\text{Carga Viva}} \leq \frac{L_v}{480}$$

Momento de Inercia de la Sección Agrietada.

$$I_{CR}(k) = \left[\frac{b * c^3(8, k)}{3} - \frac{(b - b_w) * [c(8, k) - h_F]^3}{3} + A_{PS}(8) * \frac{E_{PS}}{E_C} * [d_P - c(8, k)]^2 + A_S(8) * \frac{E_S}{E_C} * [d_S - c(8, k)]^2 \right]$$

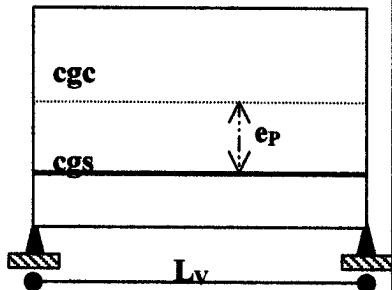
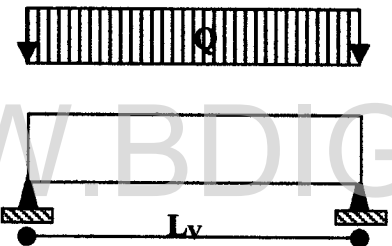
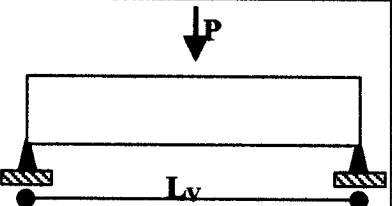
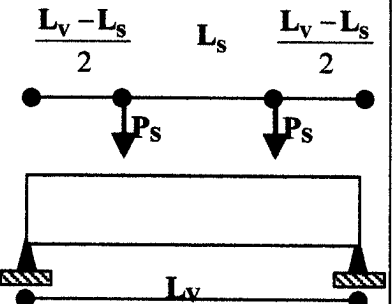
Momento Efectivo de Inercia de la Sección.

$$I_{EF}(k) = I_{CR}(k) + \left[\frac{M_{CR}(8)}{M_{CC}(k)} \right]^3 * [I - I_{CR}(k)]$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Tabla No.0218
Fórmulas Básicas para Cálculo de Deflexiones y
Contraflechas Instantáneas en el Centro de la Viga

CONTRAFLECHA DEBIDA A LA FUERZA PRETENSORA	
	$\Delta_F = - \frac{F_{SER} * e_{PS} * L_v^2}{8 * E_C * I_{EF}}$
FLECHA DEBIDA A CARGAS UNIFORMEMENTE REPARTIDAS	
	$\Delta_Q = \frac{5}{384} * \frac{Q * L_v^4}{E * I_{EF}}$
FLECHA DEBIDA A UNA CARGA CONCENTRADA CENTRADA	
	$\Delta_P = \frac{1}{48} * \frac{P * L_v^3}{E * I_{EF}}$
FLECHA DEBIDA A DOS CARGAS CONCENTRADAS EQUIDISTANTES	
	$\Delta_{P_s} = \frac{1}{48} * \frac{P_s}{E * I_{EF}} * (L_v^3 - 3 * L_v * L_s^2 + L_s^3)$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

DISEÑO POR CORTE

El diseño de los elementos preesforzados al corte se basa en la resistencia última del elemento, a tal efecto se utilizan cargas mayoradas.

El intervalo de diseño por corte se establece para la longitud comprendida entre $H_s/2$ y $L_v - H_s/2$, siendo la resistencia la que se obtiene de:

1) El corte que resiste directamente el concreto (V_c), que es el menor valor entre el que corresponde a la resistencia que ofrece el concreto cuando ocurre la falla Tipo I de Flexión-Corte (V_{ci}) y cuando ocurre la falla Tipo II de Alma-Corte (V_{cw}), cuyos valores se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones:

Falla Tipo I

$$V_{ci} = 0.16 * \sqrt{f_c} * b_w * d + V_g + \frac{V_i}{M_{max}} * \Delta M_{cr} \geq 0.45 * \sqrt{f_c} * b_w * d$$

$$V_i = 1.30 * \left[V_{Ac+Br+Pav} + \frac{5}{3} * V_{cv} \right] \quad M_{max} = 1.30 * \left[M_{Ac+Br+Pav} + \frac{5}{3} * M_{cv} \right]$$

$$\Delta M_{cr} = \frac{I_t}{Y_{st}} \left[1.59 * \sqrt{f_c} + f_{pe} - f_g \right]$$

$$f_{pe} = F_{ser} * \left[\frac{1}{A_c} + \frac{e_{ps}}{W_i} \right]$$

$$f_g = \frac{M_{pesopropio} + M_{losa+sep}}{W_i}$$

Falla Tipo II

$$V_{cw} = \left[0.93 \sqrt{f_c} + 0.30 * f_{pc} \right] * b_w * d + V_p$$

$$f_{pc} = F_{ser} * \left[\frac{1}{A_{ct}} + \frac{e_{pt}^2}{I_t} \right]$$

Corte Resistente del Concreto

$$V_c = \text{Minimo}[V_{ci}; V_{cw}]$$

Siendo:

f_c = Resistencia final del concreto.

b_w = Ancho del Alma.

d = Altura Útil de la Sección (Debe ser mayor de $0.30 * H_c$).

V_g	=	Corte debido al peso propio (Considerar peso losa en sección compuesta).
V_i	=	Corte máximo mayorado.
M_{max}	=	Momento máximo mayorado.
A_c	=	Área de concreto de la sección sencilla.
A_{ct}	=	Área de concreto de la sección compuesta.
ΔM_{cr}	=	Incremento del momento de agrietamiento por concepto de carga externa, cuando el módulo de rotura es $1.59\sqrt{f'_c}$.
I_t	=	Momento de inercia de la sección compuesta.
Y_{st}	=	Distancia del CGCs a la fibra superior mas alejada.
f_{pe}	=	Esfuerzo de compresión producido por la fuerza pretensora después de pérdidas en el borde inferior de la viga.
f_g	=	Esfuerzo en la fibra inferior debido al peso propio sin factorar. En sección compuesta se toma el peso de la losa, y para puentes el peso del separador.
f_{pc}	=	Esfuerzo de compresión en el centroide del acero debido a la fuerza pretensora.
W_i	=	Módulo de sección inferior.
H_s	=	Altura sección sencilla.
e_{ps}	=	Excentricidad del acero de preesfuerzo en sección sencilla.
e_{pt}	=	Excentricidad del acero de preesfuerzo en sección compuesta.
V_p	=	Corte que absorbe el acero de preesfuerzo. En este caso $V_p=0$ por ser cable recto.

2) Se debe resistir con acero el exceso de corte que no absorbe el concreto de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$V_s = \frac{V_{ACT}^{ULT}}{\phi_c} - V_c \leq V_{ACT}^{ULT} = 1,3 * \left[V_{PESO}^{PROPIO} + V_{LOSA} + V_{SEP} + V_{ACERA}^{BROC+PAV} + \frac{5}{3} * V_{CARGA}^{VIVA} \right]$$

Dicho valor no puede exceder de $V_{s_{max}} = 2.12 * \sqrt{f'_c} * b_w * d$, ya que en tal caso habría que diseñar nuevamente la sección.

Siendo:

f'_c	=	Resistencia final del concreto.
b_w	=	Ancho del Alma.
d	=	Altura Útil de la Sección (Debe ser mayor de $0.80 * H_c$).
V_c	=	Corte que absorbe el concreto.
V_{ACT}^{ULT}	=	Corte actuante mayorado (último).
ϕ_c	=	Factor de ineficacia por corte.
V_s	=	Corte que debe absorber el acero.

Separación del acero

Se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación $S = \frac{A_v * f_y * d}{V_s}$ sabiendo que el área de los estribos es $A_v = A_{s_{cabilla}} * N_{ramas}$ y en ningún caso podrá ser inferior a $A_{v_{min}} = \frac{3.5 * b_w * S}{f_y}$

Siendo:

S	=	Separación de los estribos.
A_v	=	Área del estribo.
f_y	=	Límite elástico del acero de refuerzo transversal.
d	=	Altura Útil de la Sección (Debe ser mayor de $0.80 * H_c$).
V_s	=	Corte que absorbe el acero.

La separación mínima entre estribos es $S_{min} = 7$ cms, para que se pueda operar adecuadamente el concreto fresco, ya que valores inferiores impedirían el acceso del agregado grueso y la vibración adecuada del material fresco.

La separación máxima se establece de acuerdo con el valor del corte que absorbe el acero V_s :

$$V_s = \begin{cases} \leq 1.06 * \sqrt{f_c} * b_w * d \Rightarrow S_{max} = \text{menor} \left(\frac{3}{4} * H_s; 60 \text{cms} \right) \\ > 1.06 * \sqrt{f_c} * b_w * d \Rightarrow S_{max} = \text{menor} \left(\frac{3}{8} * H_s; 60 \text{cms} \right) \end{cases}$$

DISEÑO DE CONECTORES

En general, el armado primario de acero de la losa de concreto es perpendicular al de las vigas principales, solo teniendo la losa un armado secundario en la dirección de las vigas para satisfacer demandas por concepto de repartición de cargas y retracción de fraguado; de hecho ambos elementos estructurales se diseñan para que actúen independientemente, pero es real que la losa descansa sobre la viga, y si así se considera, y se toman las debidas previsiones, se puede incorporar la losa como parte de la viga, aumentando su ala en compresión, su resistencia y su rigidez.

Esta unión viga-losa, tiene tendencia al deslizamiento y es de comportamiento variable, ya que es máxima en los apoyos y nula en la mitad de la viga, por lo tanto no se debe conformar con la unión viga-losa en donde la resistencia al deslizamiento se satisface solo por fricción de ambas superficies, sino que se deben establecer

uniones mediante el uso de conectores especiales de cortante, para que se desarrolle adecuadamente la acción compuesta en ambos elementos, pudiendo transferir el cortante horizontal con deformaciones insignificantes.

De acuerdo con las especificaciones de la AASHTO, los conectores de cortante deben diseñarse por fatiga, y luego chequearse por resistencia. En cuanto a especificaciones geométricas y de colocación, los conectores deben tener un espesor libre de recubrimiento de concreto por encima de la cabeza de mas de 5 cms., e igualmente deben al menos penetrar 5 cms. La distancia entre el borde del ala de la viga y el conector debe ser mayor de 2.5 cms.

DISEÑO POR FATIGA

La variación de cortante externo en la unión viga-losa se determina por la ecuación

$$S_r = \frac{V_r * Q}{I}$$

Siendo:

S_r = Intervalo de cortante horizontal por unidad de longitud
 V_r = Intervalo de cortante externa
 Q = Momento estático de área de concreto con respecto al cgs
 I = Inercia de la sección

El intervalo admisible por cortante (Z_r) para un conector se establece en la norma AASHTO para el caso de cabillas soldadas como $Z_r = \alpha * \theta^2$

Siendo:

Z_r = Intervalo admisible de cortante horizontal para una cabilla
 θ = Diámetro de la cabilla.
 α = Factor de ajuste de los ciclos de carga indicado en la Tabla No. 0219.

Tabla No. 0219
Valores de α para Diferentes Ciclos de Carga

α (lbs/plg ²)	α (Kgs/Cm ²)	Ciclos
13000	915	100000
10600	746	500000
7850	553	2000000
5500	387	>2000000

El paso p es el resultado de dividir el intervalo admisible de cortante horizontal de todos los conectores en determinada sección transversal, $\sum Z_r$, entre el intervalo de cortante horizontal S_r

$$p = \frac{\sum Z_r}{S_r} \quad \text{donde } p_{\max} = 60 \text{ cms.}$$

DISEÑO POR RESISTENCIA

La resistencia última S_u de un conector es: $S_u = 0.4 * \theta^2 * \sqrt{f'_c * E_c}$

El número necesario de conectores por resistencia N_r , desde el apoyo hasta el momento máximo positivo es:

$$N_r = \frac{P}{\phi_c * S_u} \quad \text{siendo } P \leq \text{Menor} \left\{ \begin{array}{l} P_1 = C_N \\ P_2 = 0.85 * f'_c * B_p * e_L \end{array} \right\}$$

Siendo:

P = Fuerza a considerar, la menor entre P_1 y P_2 .

ϕ_c = Factor de ineficacia por corte.

S_u = Resistencia última de un conector.

C_N = Fuerza total en el punto de máximo momento.

f'_c = Resistencia final del concreto.

B_p = Ancho participante de la losa.

e_L = Espesor de la losa.

ALGUNOS OTROS CONTROLES

CHEQUEO DE LA RESISTENCIA FINAL DEL CONCRETO

Se debe garantizar que la resistencia inicial del concreto (f'_c) sea mayor de 280 kg/cm² y la final (f'_c) mayor de 350 kg/cm²

SECCIÓN SATISFACTORIA

Se debe asegurar que la sección con la cual se inicia el diseño de vigas parcialmente preesforzadas, cumpla con los requisitos de suficiencia para vigas totalmente preesforzadas.

En tal sentido, es necesario comprobar que los módulos de sección mínimos son inferiores que los reales de la sección en estudio. Para ello, se hará uso de las ecuaciones indicadas a continuación:

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$W_{S(MIN)} = \frac{[M_{TOT}(Lv/2) - \eta * M_G(Lv/2)]}{(\eta * f_{SI} + f_{SF})} < W_s$$

$$W_{I(MIN)} = \frac{[M_{TOT}(Lv/2) - \eta * M_G(Lv/2)]}{(\eta * f_{II} + f_{IF})} < W_i$$

Donde:

$M_{TOT}(Lv/2)$ = Momento total de la viga en $Lv/2$.
 $M_G(Lv/2)$ = Momento por peso propio de la viga en $Lv/2$.
 η = Factor de pérdidas ($0.85 > \eta > 1$).

El resto de los parámetros involucrados son los esfuerzos admisibles del concreto, que se considerarán de la siguiente forma:

f_{II} = Compresión Inicial < $0.55 * f_{ci}$
 f_{SI} = Tracción Inicial > $-0.8 * (f_{ci})^{0.5}$
 f_{SF} = Compresión Final < $0.40 * f_c$
 f_{IF} = Tracción Final > $-1.6 * (f_c)^{0.5}$

SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE VIGAS PARCIALMENTE PRETENSADAS.

Una vez concluido el desarrollo de cada uno de los conceptos teóricos requeridos para el diseño de vigas parcialmente preesforzadas, éstos se integran secuencialmente en conformidad con los métodos expuestos, para conformar un procedimiento completo que permite el análisis y diseño de vigas parcialmente preesforzadas, el cual queda establecido en el diagrama de flujo indicado en la Figura No. 0209. Este diagrama de flujo es la base principal para la realización del programa en lenguaje Visual Basic [13] en ambiente Windows, el cual permite tener un recurso eficiente que de manera amigable se interna en la teoría de rotura y elástica para el diseño de elementos de concreto.

Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

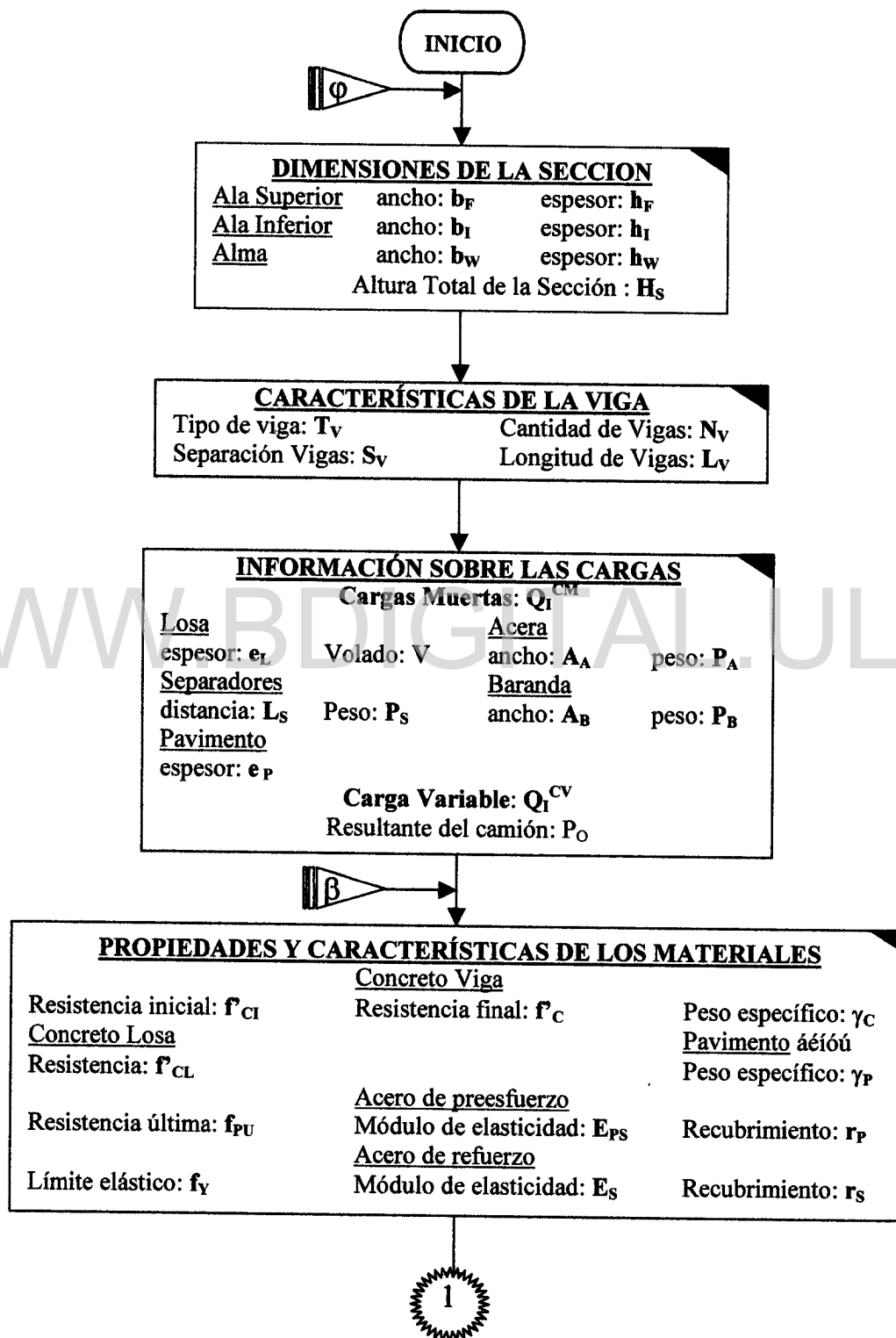


Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

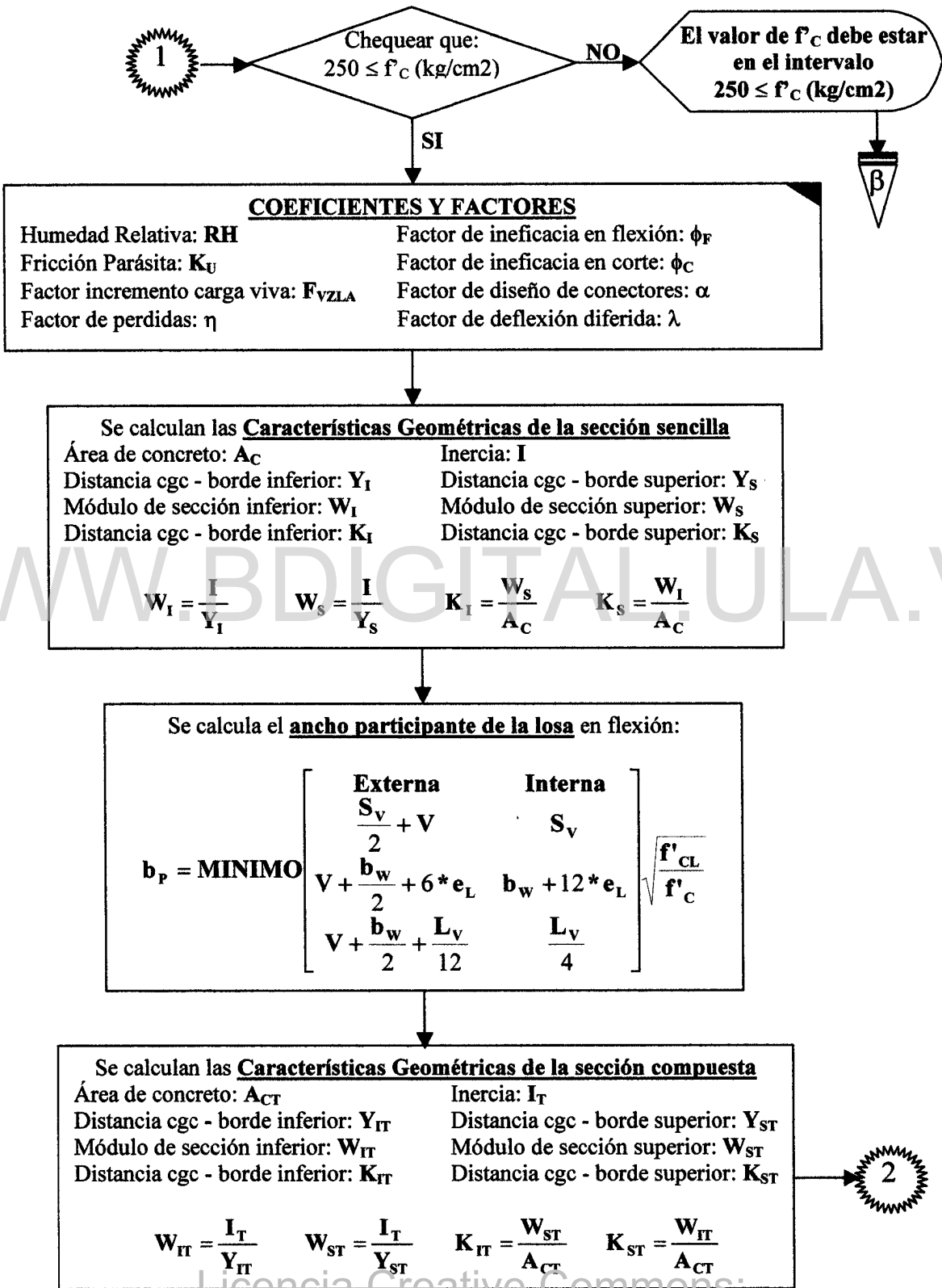
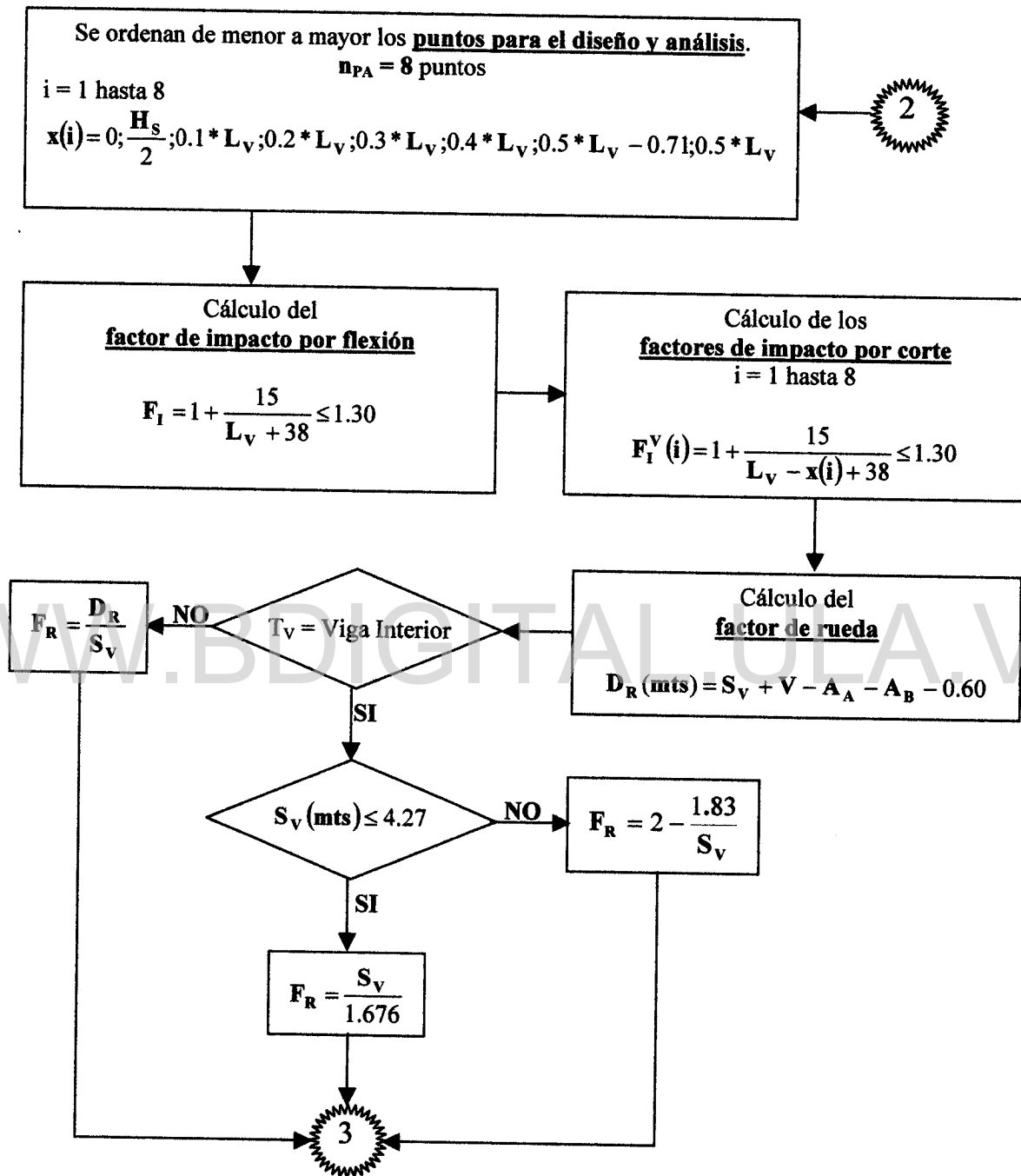


Figura No. 0209

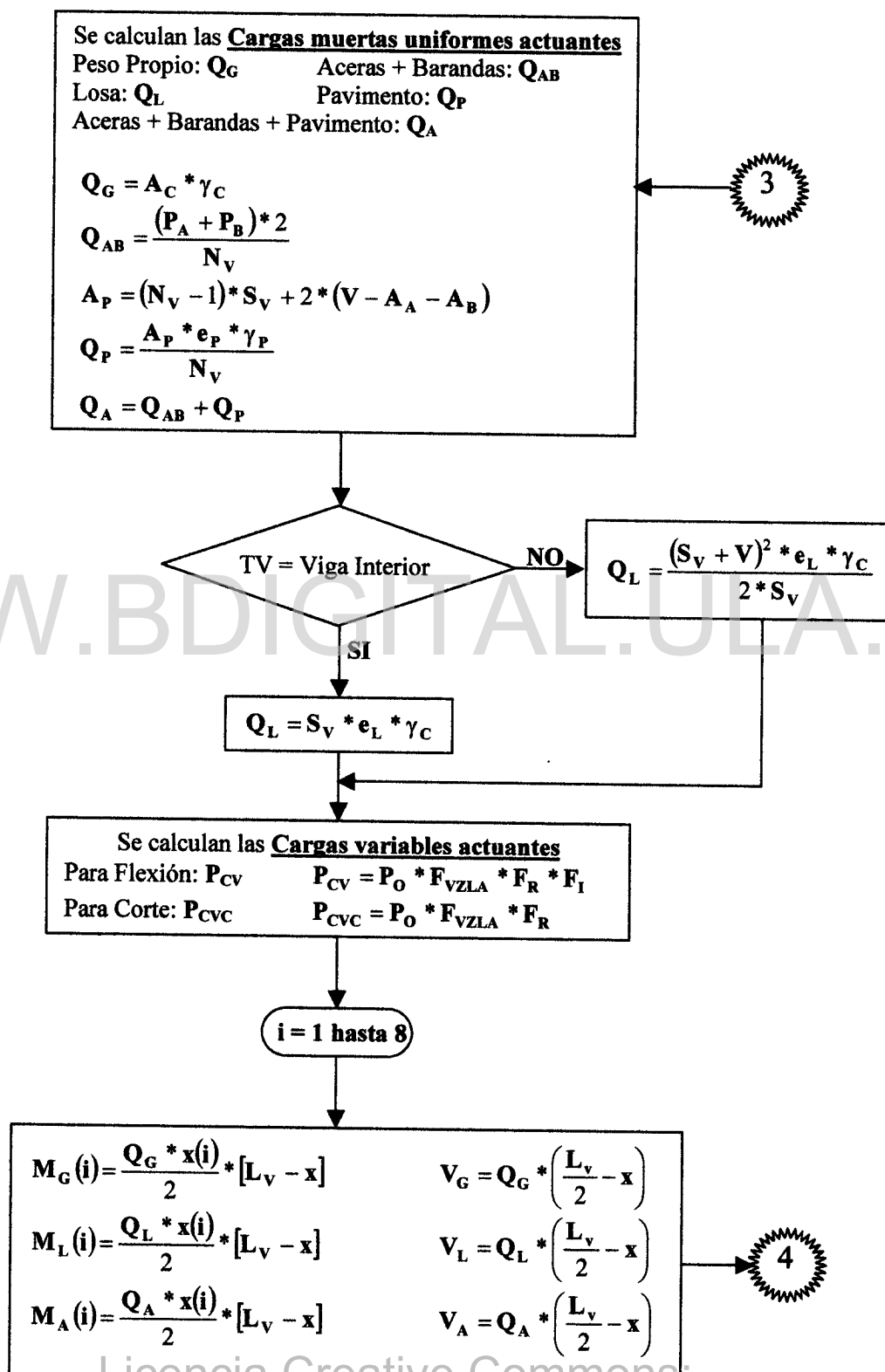
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons:

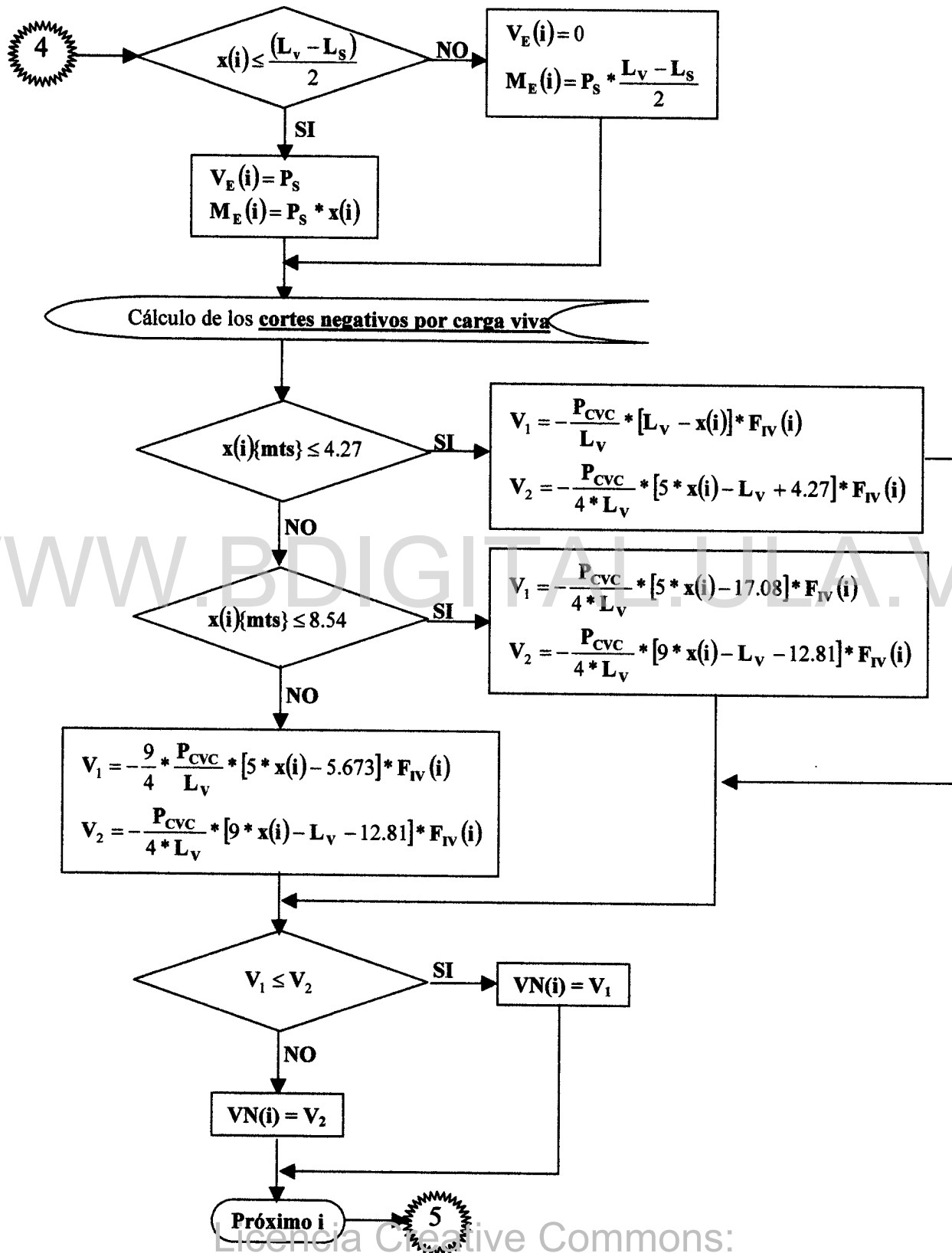
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons:

Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons:

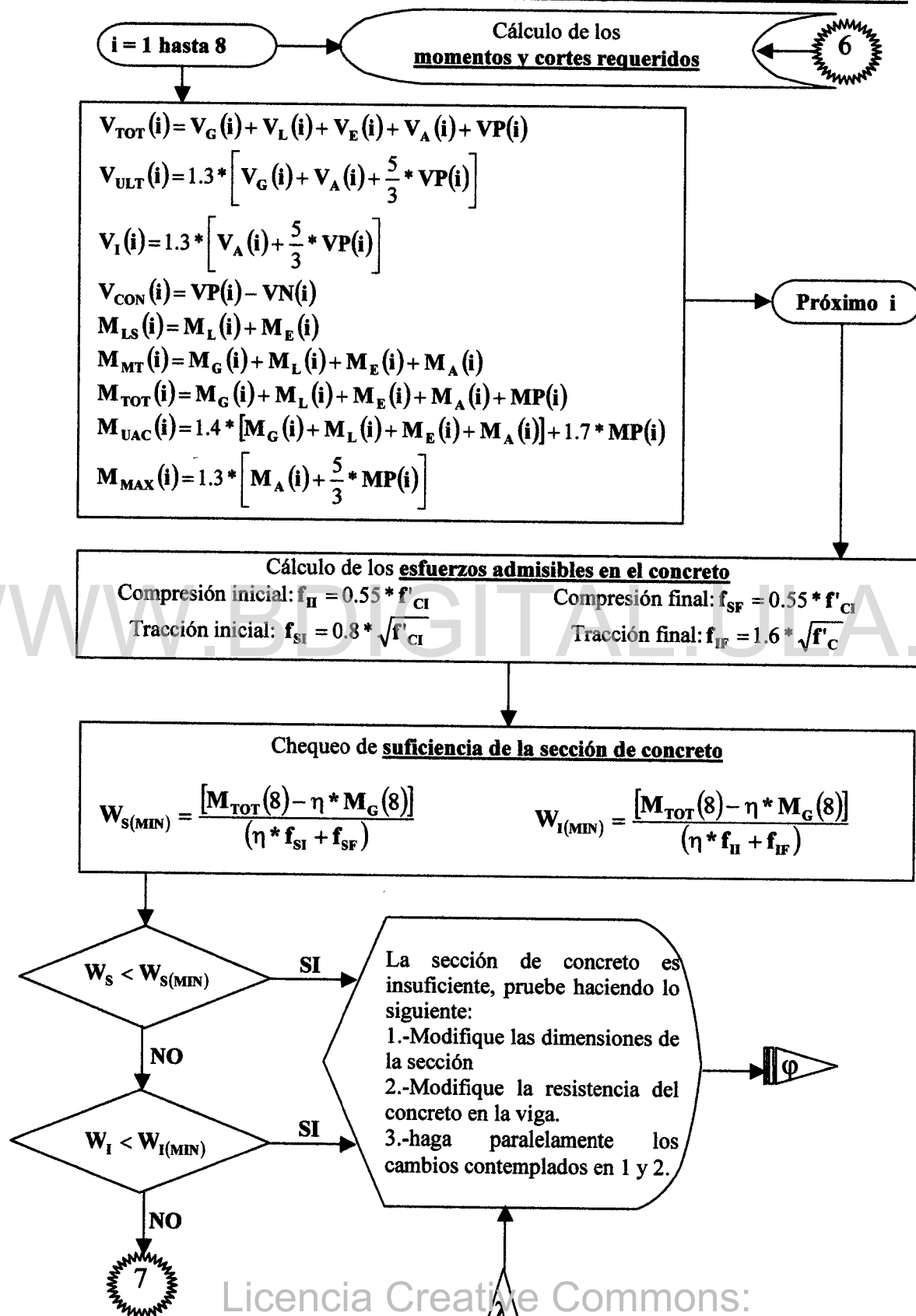
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
 (CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$VP(i) = 2 * \frac{P_{CVC}}{L_v} * [L_v - x(i) - 2.135] * F_v(i)$$



Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

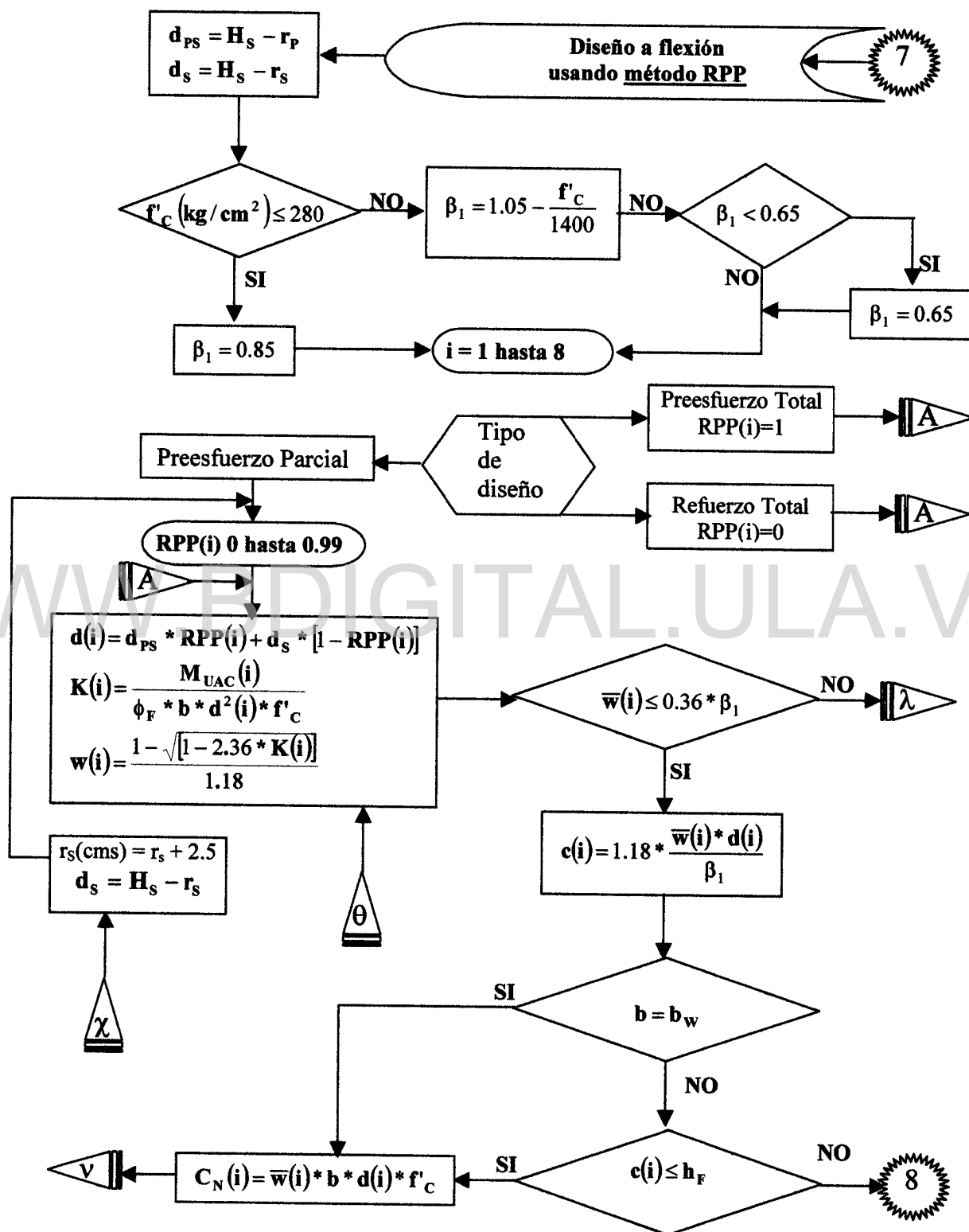


Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

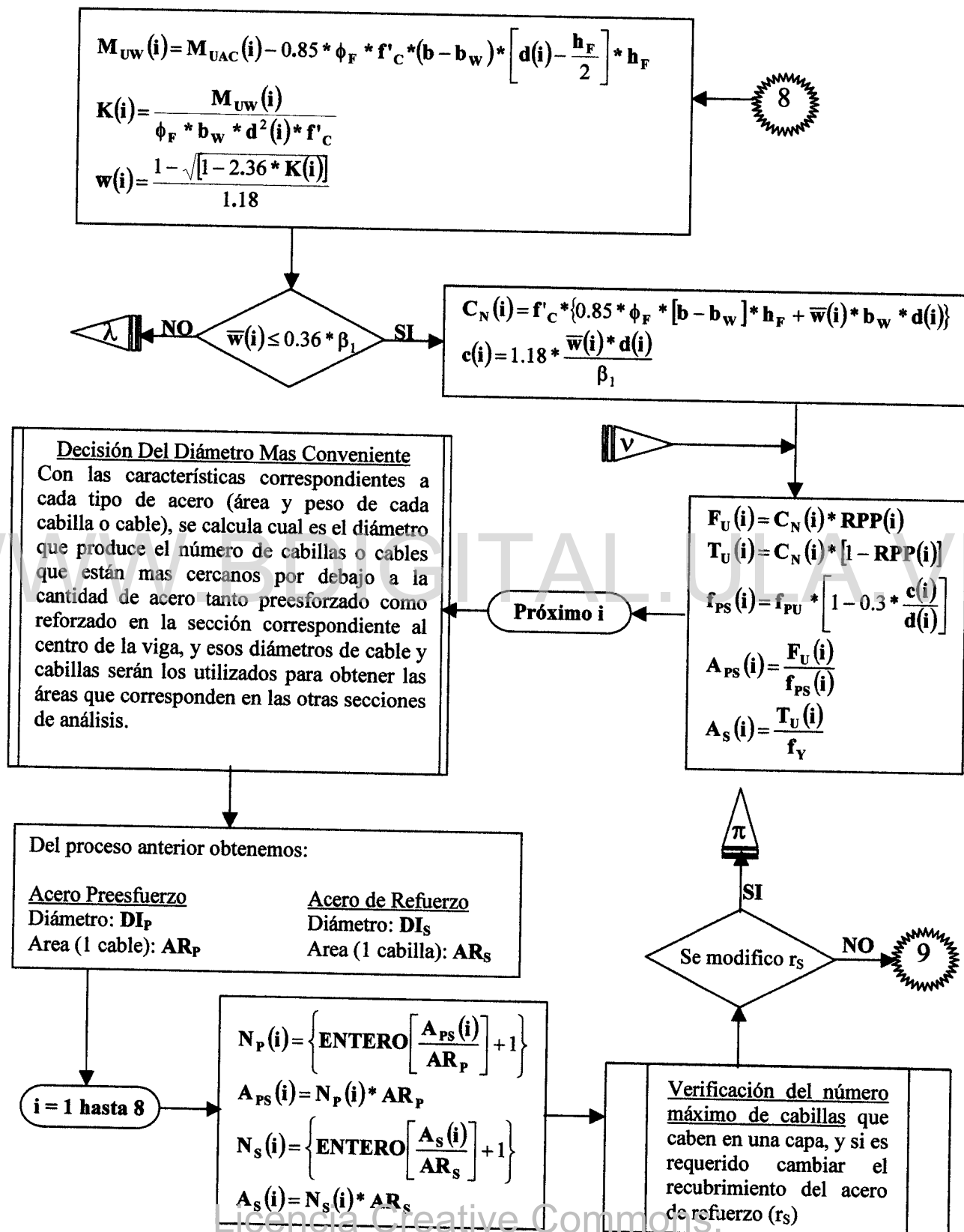


Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

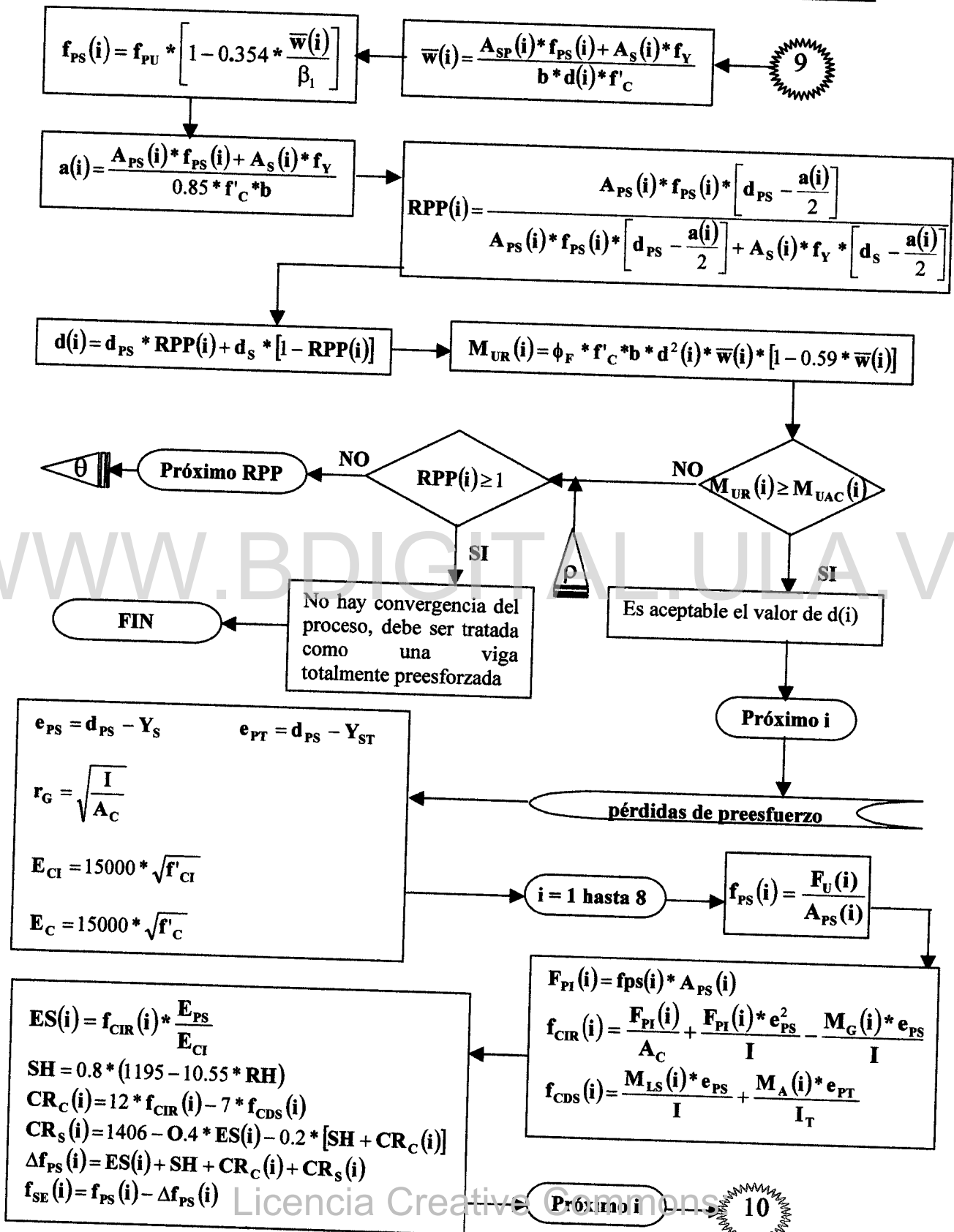
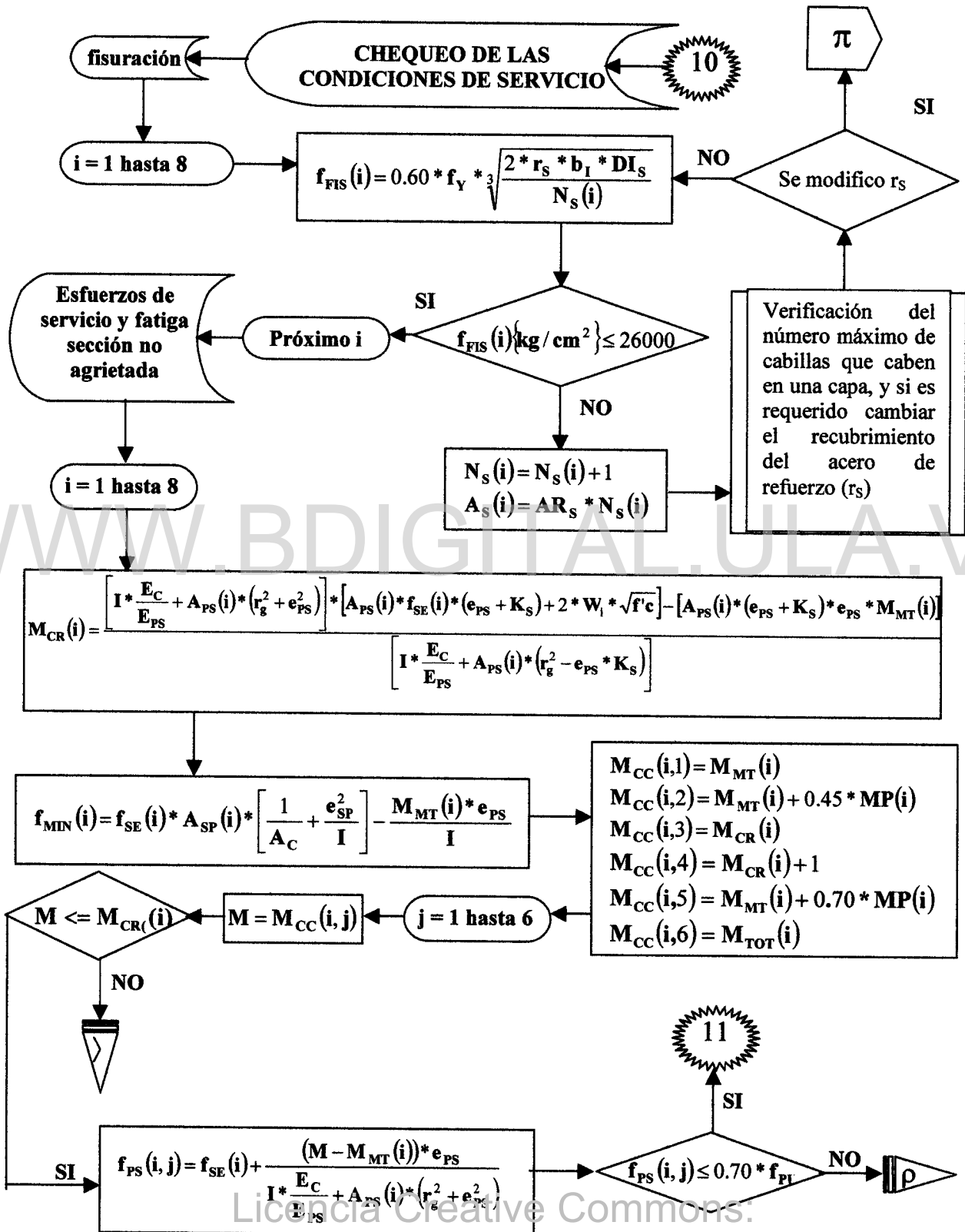


Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

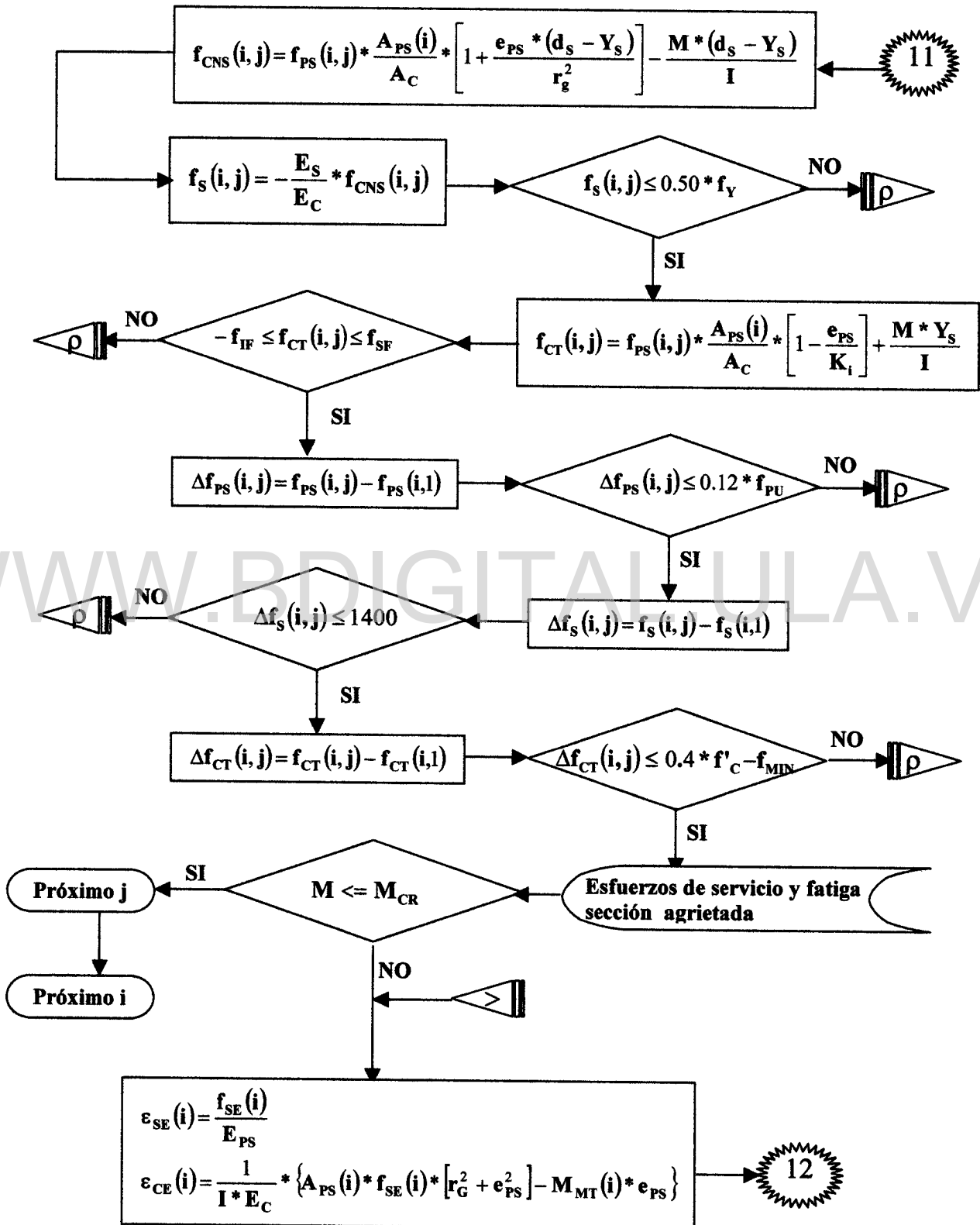


Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

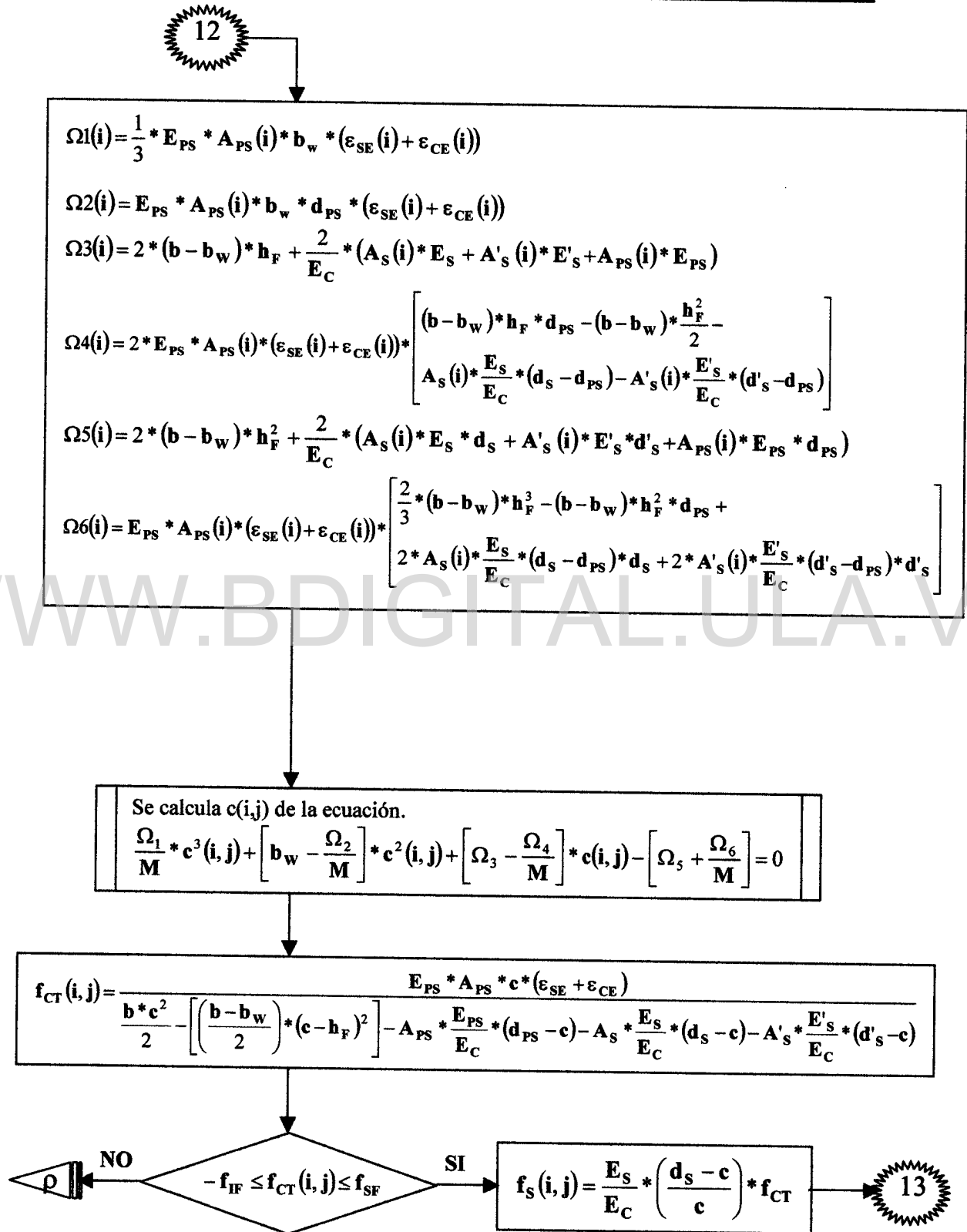


Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

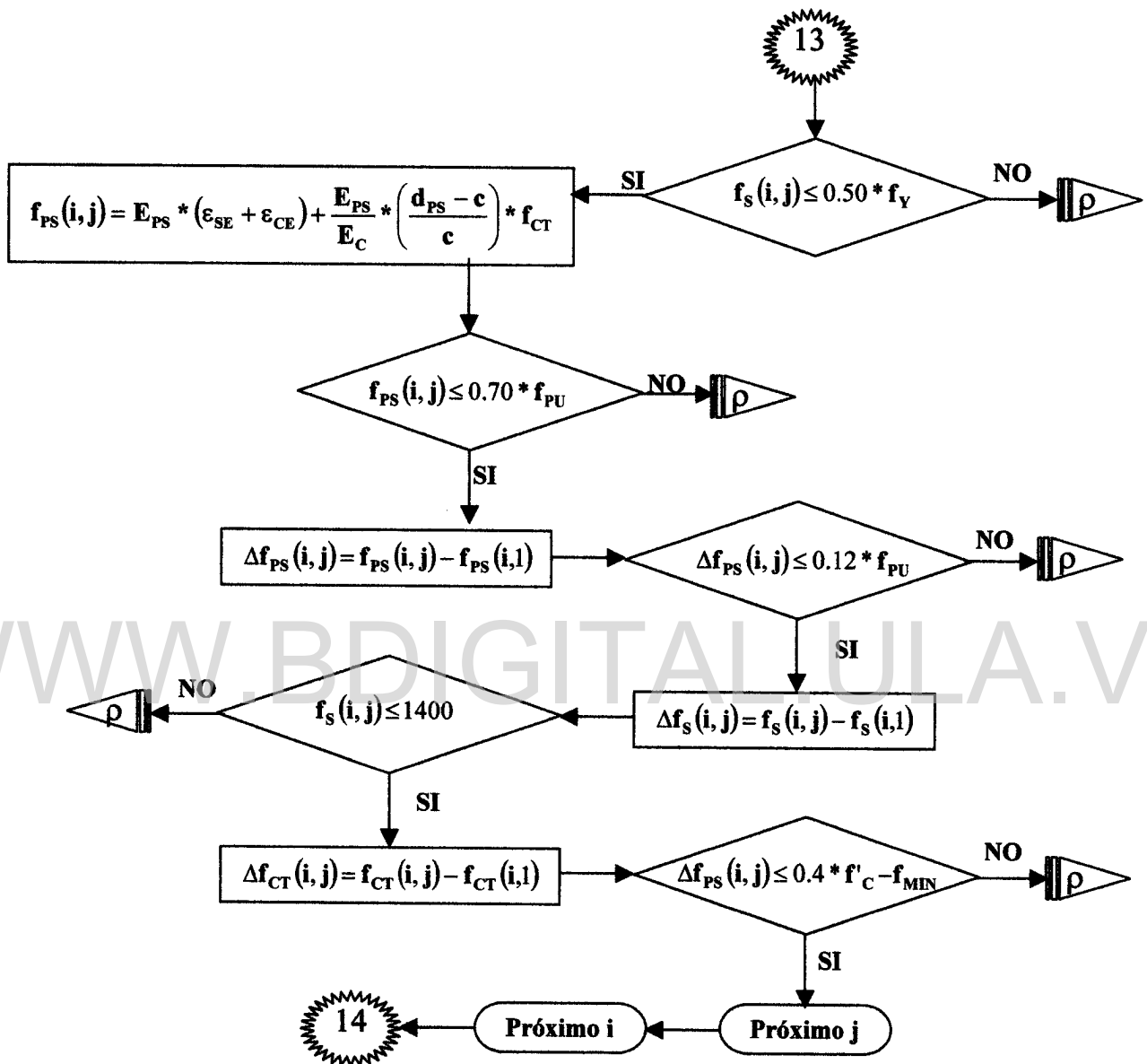


Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

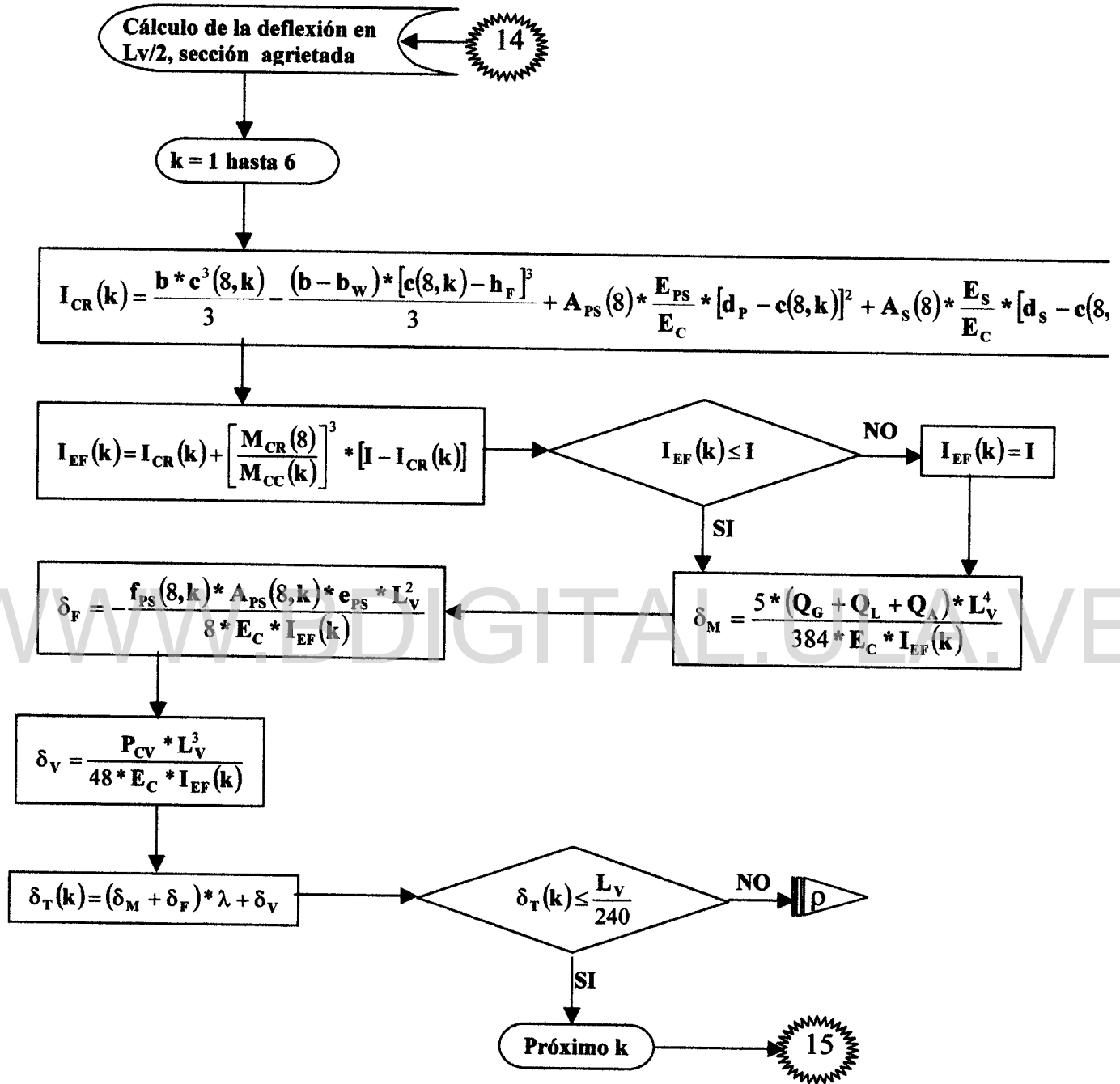


Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

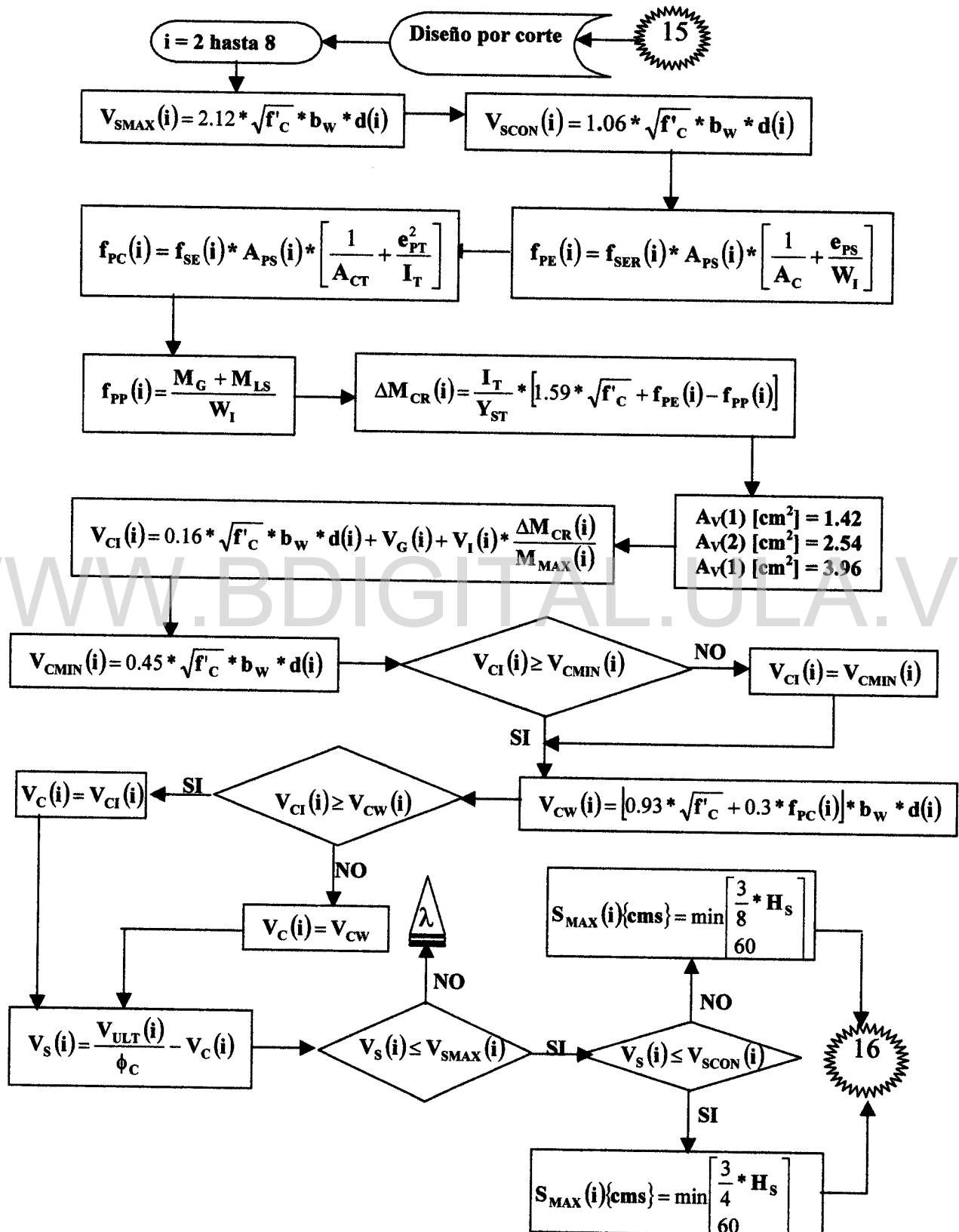


Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. 0209
Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas

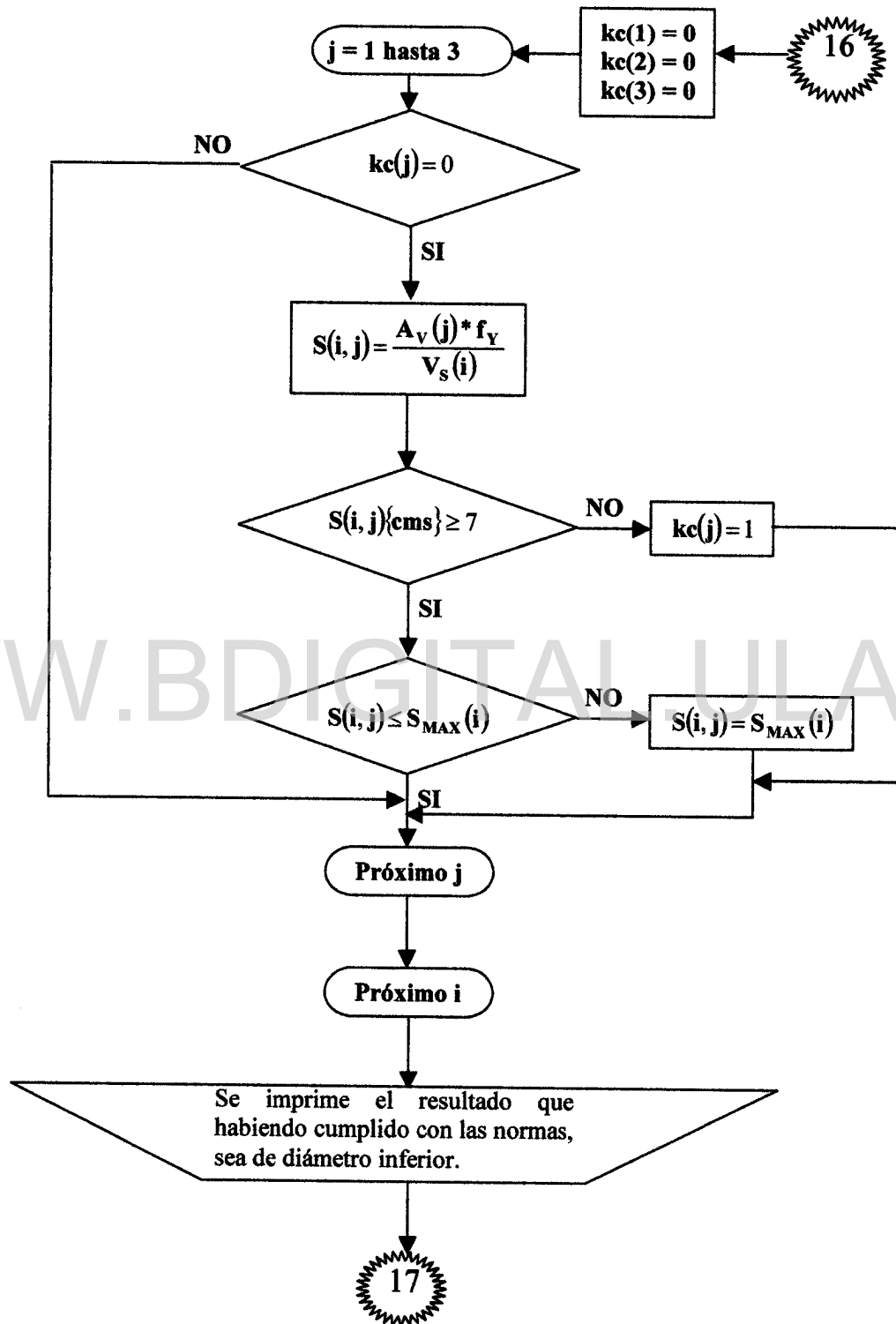
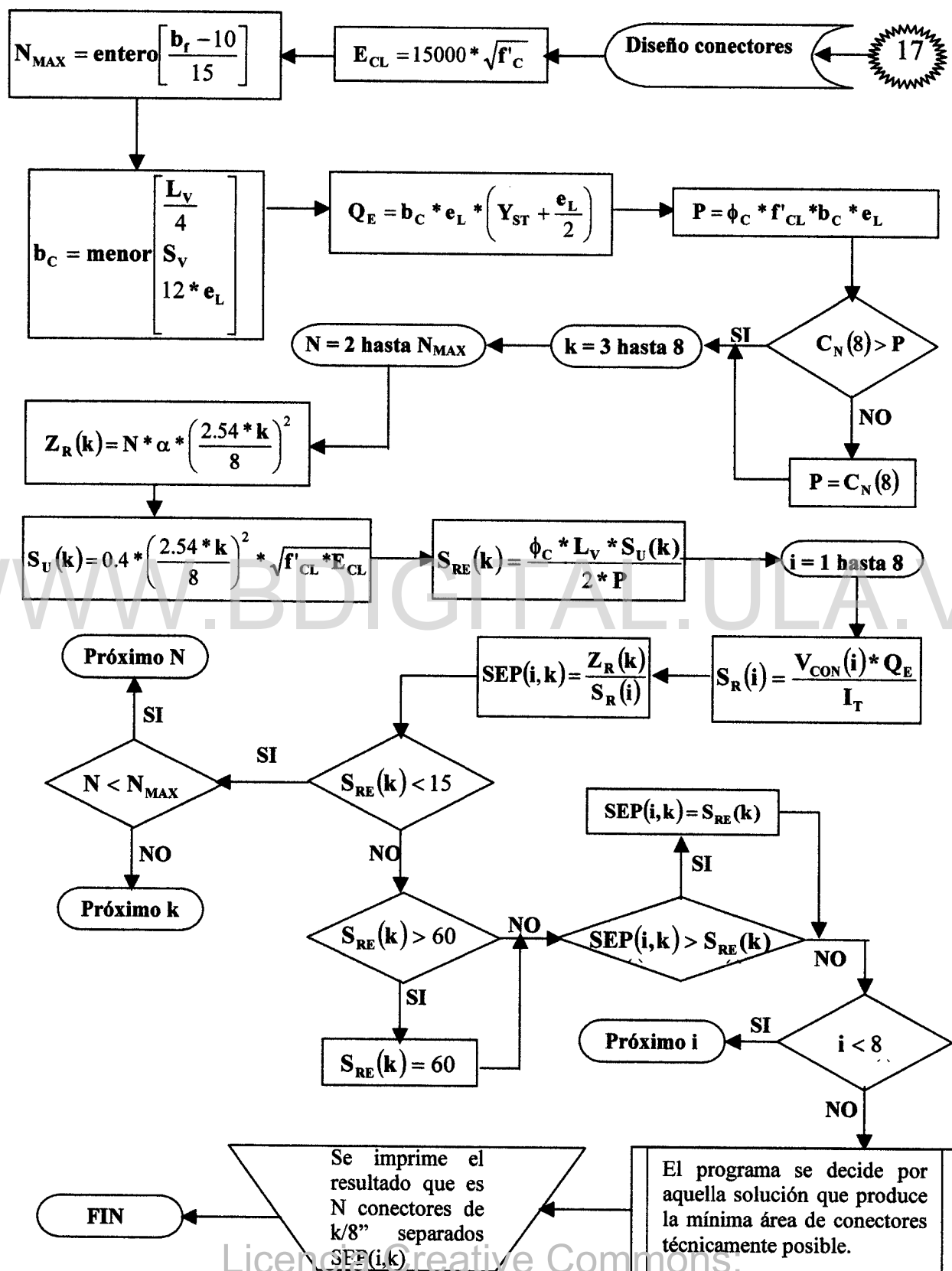


Figura No. 0209

Diagrama de Flujo para el Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Pretensadas



Licencia Creative Commons.

CAPITULO III METODOLOGÍA

CONSIDERACIONES GENERALES.

Este trabajo tiene por objetivo proponer un método para el análisis y diseño de vigas parcialmente pretensadas y el software a tales fines, por lo tanto, el procedimiento de orden metodológico utilizado queda delimitado por el buen funcionamiento integral de diversos métodos teóricos probados, y la validación que ofrezca la normativa vigente a las variables mas importantes del problema en estudio.

NATURALEZA DE LA INVESTIGACIÓN.

El estudio que se pretende realizar tiene un diseño bibliográfico, ya que los datos se obtienen a partir de la aplicación de las técnicas documentales, tales como:

- Informes de otras investigaciones.
- Libros específicos de diseño de elementos de concreto.
- Y en general, a través de diversas fuentes documentales.

UNIVERSO DE ESTUDIO

El estudio quedará limitado a todas aquellas variables importantes, para las cuales la normativa vigente del concreto ofrece restricciones. El elemento en el cual se evaluará, corresponde a vigas simplemente apoyadas que estén parcialmente preesforzadas, con cables rectos, y en las que no se renuncia a la adherencia entre el acero y el concreto.

MUESTRA DE ESTUDIO

En este tipo de investigación, en la que ya existe una gran parte del estudio recorrido y probado, no tiene mucho sentido establecer este tópico, pero en cualquier caso, las muestras del estudio, son todas aquellas pruebas que se realizan al elemento mencionado en el ítem anterior, y que son verificadas por la normativa vigente.

INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN.

Por el trabajo limitarse a un método específico de diseño de vigas de concreto, el cual está previamente estudiado por Sarmiento [19] y Naaman [14], el esfuerzo principal estará concentrado en la interpretación de los métodos expuestos por los autores mencionados anteriormente. Sin duda que esta técnica tiene similitudes con otras técnicas de diseño de concreto utilizadas en el ámbito de la Ingeniería Civil, por lo cual se utiliza toda la bibliografía necesaria y referente a esta área, así como también la experiencia docente personal de algunos años.

VARIABLES Y SUS NIVELES DE MEDICIÓN.

Las variables significativas en este estudio quedan limitadas a aquellas que son de uso general en este tipo de métodos, a saber, esfuerzos en los diversos materiales, deflexión, agrietamiento y otros.

El cálculo de las variables se hará a través de la formulación matemática existente y establecida por los autores que la proponen, e igualmente se aplicarán los principios básicos que prevé la mecánica, resistencia de materiales y estructuras de concreto.

El chequeo y revisión de las diferentes variables, se determinará a través de la normativa del ACI [6] para análisis y diseño de vigas de concreto. Igualmente, para garantizar el buen funcionamiento lógico y matemático y evitar la posibilidad de errores en el software resultado (Programa VPP) será chequeado a través de hojas de calculo realizadas a tales efectos, las cuales a su vez se revisarán con ejercicios resueltos manualmente.

FORMACIÓN DE UN MODELO DE CALCULO INTEGRAL EN CONCRETO

Cuando se inició este informe escrito, se dijo que el principal objetivo del ingeniero estructural es diseñar estructuras seguras, efectivas y económicas, por lo tanto es importante para él la familiarización con todos aquellos procedimientos de diseño. En tal sentido, es necesario hacer llegar propuestas a los profesionales que no se alejen demasiado de la cultura de cálculo, y este método satisface esa inquietud, solo falta saber si cumple adecuadamente con los preceptos normativos, además de presentar soluciones económicas.

El autor otorga importancia principal al aspecto cultural, ya que en la medida que este método satisfaga a mas profesionales, mayor será su uso y crecimiento. Es bien conocido la historia de controversias que se genero en el año 1950, cuando en Estados Unidos aparece el concreto preesforzado, e intenta competir contra toda una costumbre de construcciones en concreto reforzado.

Las argumentaciones que se generaron, en aquel momento, no pasan de ser relativas, muy específicas, y en algunos casos subjetivas. Ya en el siglo XXI, el tiempo ha pasado, y ha dejado demostrado que ambos tipos de construcción son útiles y que cada uno de ellos tiene sus limitaciones en cuanto a factibilidad y economía, de modo que será posible usarlos en unos casos y en otros no.

En virtud que el método que se pretende proponer y evaluar está en la gran intersección del Concreto Preesforzado y Reforzado, y puede ofrecer resultados para sus límites, se quiere, por lo tanto, hacer llegar el método a los usuarios de la forma mas sencilla y comprensible posible, de tal manera que el análisis crítico a que pueda estar sujeto, sea lo mas constructivo.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

CAPITULO IV

MANUAL DEL USUARIO DEL PROGRAMA VPP

PRELIMINARES

El programa está concebido para diseñar vigas parcialmente pretensadas que se encuentren simplemente apoyadas, pudiéndose alternar su uso para el cálculo de vigas de concreto totalmente preesforzado y reforzado.

Este programa de manera flexible y sencilla, permitirá abordar la selección de secciones de formas usuales, distintas cargas permanentes y vivas, las propiedades de los diferentes materiales y definir una serie de coeficientes que son requeridos en el diseño.

OBJETIVO DEL MANUAL

Mostrar de una forma fácil y precisa la mejor forma de utilizar el programa VPP, para poder abordar con eficiencia el cálculo de vigas parcialmente preesforzadas.

PROPÓSITO DEL PROGRAMA.

Proporcionar una herramienta para el análisis y diseño de vigas de concreto parcialmente pretensadas.

REQUISITOS OPERATIVOS.

Los requisitos operativos se podrían establecer de la siguiente forma:

- El sistema operativo para el funcionamiento del programa es Windows 95 o superior, preferiblemente usar versión en español.
- La resolución de la pantalla debe tener como mínimo 800 x 600 píxeles.
- El sistema operativo debe estar configurado de tal manera que los puntos “.” sean los signos que definan los espacios decimales.
- Se recomienda que el programa sea operado por Ingenieros Civiles preferiblemente especializados en estructuras. Cuando ello no sea posible, estos profesionales deberán revisar las entradas de datos y las salidas de resultados que el programa permite.

INSTALACIÓN DEL PROGRAMA

Este paso inicial se puede realizar por dos vías, las cuales se mencionan a continuación:

Unidad Floppy

Se requiere de dos disquetes para la instalación. Primero se debe insertar dentro la unidad floppy el disquete marcado con el No. 1, en él se debe ubicar el archivo instalador (***SET UP. EXE***), y proceder a su ejecución para que almacene parte de los archivos necesarios en la unidad C. Posteriormente solicitara insertar el disquete marcado con el No. 2, para completar el almacenamiento de los archivos requeridos.

Unidad CD

Se requiere del CD para la instalación, incluido en el Anexo No.0603. Éste CD se debe insertar dentro la unidad respectiva, y ubicar el archivo instalador (***SET UP. EXE***), para proceder a su ejecución y seguidamente el, almacene los archivos necesarios en la unidad C.

El programa independiente de la vía de instalación que se utilice, se alojará en la barra de ***Inicio*** de Windows, el archivo de ejecución llamado ***VPP.exe***

ARRANQUE

Las órdenes necesarias para cargar el programa en memoria desde el almacenamiento secundario (disco) y arrancar su funcionamiento, se harían de acuerdo con los pasos que se indican a continuación:

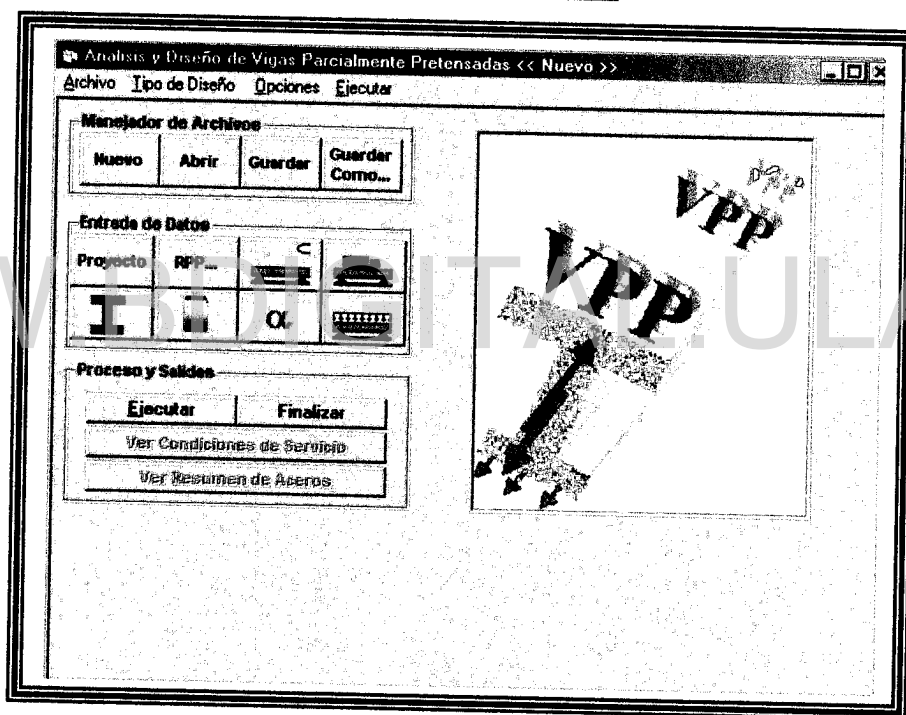
1. Ir a la barra de ***Inicio***, hacer clic
2. ***Programas***, hacer clic
3. ***VPP***, hacer clic.
4. ***VPP.exe***, hacer clic (Este es el archivo de ejecución).

A partir de este momento le aparece por unos segundos, una pantalla de identificación del programa VPP, para luego permanecer en la pantalla principal del programa (pantalla de presentación), la cual le permite llevar a cabo todos los procesos que son requeridos, de los que mas adelante se hará mención detallada.

PLANTILLA DE PRESENTACIÓN

El proceso de cálculo de una viga se realiza con la ayuda de la plantilla de presentación indicada en la Figura No. 0401, y viene a ser la primera herramienta de comunicación entre el usuario y el programa. En la mencionada plantilla están definidos todos los procesos que pueden hacerse en el programa, y que se irán abordando en el desarrollo de este manual.

Figura No. 0401
Plantilla de Presentación



FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA

El programa VPP funciona con una estructura lógica simple, constando de tres fases para su funcionamiento. Este proceso se denominará secuencia natural de ejecución:

1. Entrada De Datos.
2. Proceso.
3. Salida De Resultados.

Seguidamente se hará una descripción de la función realizada y pantallas (o plantillas) utilizadas por el programa.

ENTRADA DE DATOS

La entrada de datos es la parte en que se suministra toda la información requerida para poder realizar el proceso, para ello se hace uso de distintas plantillas de entrada. VPP esta compuesto por seis plantillas de entrada de datos, y dos botones de definición del tipo de proceso, seguidamente se mencionan:

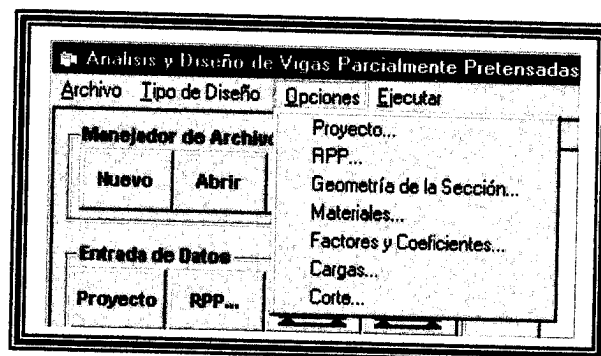
- Plantilla de Datos del Proyecto.
- Plantilla de Relación de Preesfuerzo Parcial.
- Plantilla de Geometría de la Sección.
- Plantilla de Propiedades de los Materiales.
- Plantilla de Factores y Coeficientes.
- Plantilla de Cargas y Dimensiones.
- Botones Tipo de Diseño (2).

Todas las Plantillas de entrada son flexibles (Entradas Flexibles), ya que en ellas se presentan valores predeterminados o calculados, pero que podrán ser modificados cuando el usuario así lo requiera. Otra forma de entrada de datos es por medio de archivos, los cuales tendrán que ser guardados anteriormente; este tópico se detallará mas adelante.

Para todas las plantillas de entrada, a medida que se posicione sobre un dato para ingresarlo, el recuadro del fondo se tornará amarillo. Igualmente en el recuadro azul ubicado en el extremo inferior derecho, se podrán conocer las unidades en que deben ser ingresadas las diferentes variables o datos numéricos.

Las Plantillas antes mencionadas así como otras Plantillas secundarias que se presentarán posteriormente, cumplen con la Fase de Entrada De Datos para la ejecución del proceso. A todas estas plantillas se les puede acceder desde el menú, pulsando **Opciones** que aparece en el margen superior de la plantilla de presentación, y luego la selección de su preferencia, tal como se indica en la Figura No. 0402.

Figura No. 0402
Plantilla General de Entrada



A continuación se realiza la descripción detallada de las plantillas de entrada de datos para el VPP.

PLANTILLA DE DATOS DEL PROYECTO.

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **Proyecto...**, o bien, simplemente haciendo clic en la tecla >> **Proyecto** << disponible en la plantilla de presentación.

En esta plantilla de entrada se ingresarán los datos correspondientes a la obra y el profesional que realiza el calculo, y otros. Una vez este conforme con los datos se pulsa la tecla **Aceptar** o si no está conforme la tecla **Cancelar** para salir de la plantilla. La plantilla de entrada de datos del proyecto se indica en la Figura No. 0403.

Figura No. 0403
Plantilla Entrada Datos del Proyecto

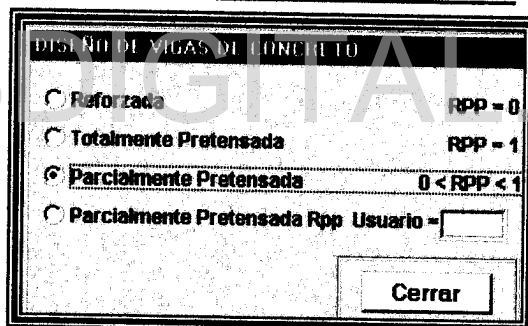
PLANTILLA DE RELACIÓN DE PREESFUERZO PARCIAL.

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **RPP...**, o bien,

simplemente haciendo clic en la tecla >>  << disponible en la plantilla de presentación.

En esta plantilla de entrada se seleccionará el tipo de diseño de la viga conforme a si es reforzada, totalmente o parcialmente preesforzada, es decir, de acuerdo con los aceros que se vayan a utilizar. Para el caso de las vigas parcialmente preesforzadas también se puede establecer el valor de RPP. Una vez se haga la selección se pulsa la tecla **Cerrar**. Esta plantilla por defecto siempre selecciona vigas parcialmente preesforzadas. La plantilla de entrada de datos de relación de preesfuerzo parcial se indica en la Figura No. 0404.

FIGURA No. 0404
Plantilla Entrada Datos
de la Relación de Preesfuerzo Parcial



PLANTILLA DE LA GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **Geometría de la**

sección.., o bien, simplemente haciendo clic en la tecla >>  << disponible en la plantilla de presentación.

En esta plantilla de entrada se seleccionará el tipo de geometría de la sección de viga que se desea diseñar. Esta selección sólo se realiza al hacer clic sobre el tipo de sección deseada. La plantilla de entrada geometría de sección se indica en la Figura No. 0405.

Figura No. 0405
Plantilla Entrada de Geometría de la Sección

Una vez seleccionada la sección deseada, se presentará en la misma plantilla en el recuadro negro superior derecho la forma de la sección seleccionada, y debajo de ella todas las dimensiones que se deben introducir. A medida que se posicione sobre un dato el fondo del mismo se pondrá amarillo, y en el dibujo de la sección se le indicará la dimensión a que se refiere. La sección presentará dimensiones proporcionadas en la medida que se ingresen los datos. En el recuadro azul ubicado en el extremo inferior derecho, se indicarán las unidades en que se debe ingresar cada dimensión.

Paralelamente con esos pasos en el recuadro negro inferior izquierdo se expondrán las características geométricas de la sección. Una vez esté conforme con los datos se pulsa la tecla **Aceptar** o si no está conforme la tecla **Cancelar** para salir de la plantilla. Un ejemplo para una sección rectangular de la plantilla de entrada resultante de la geometría de la sección se indica en la Figura No. 0406.

Figura No. 0406
Plantilla Entrada Ejemplo de Sección Seleccionada

Características de la Viga

Tipo de Sección

Longitud de la Viga

Lv= 25

t1= 60	b1= 50	rs= 5
		rp= 12

Aceptar Cancelar Unidades: mts.

Dentro de esta Plantilla denominada Sección Seleccionada, se requiere r_s y r_p (distancia desde la fibra más comprimida hasta el baricentro del acero de refuerzo y acero presfuerzo, respectivamente). Se establecen los siguientes criterios para los valores de los mencionados recubrimientos:

- El recubrimiento mínimo del acero de refuerzo no será menor de 5 cm.
- El recubrimiento mínimo del acero pretensado no será menor de 12 cm.

Los valores de r_s y r_p pueden ser modificados ya que éstas son entradas flexibles.

PLANTILLA DE LAS PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **Materiales..**, o

bien, simplemente haciendo clic en la tecla >>  << disponible en la plantilla de presentación.

En esta Plantilla se introducirán las características y propiedades de los materiales: concreto, acero de refuerzo y acero preesforzado, igualmente permitirá seleccionar a priori el diámetro de los aceros de preesfuerzo y corte. Esta plantilla toma los siguientes valores por defecto:

- Acero de Preesfuerzo
 - De 250 PSI $\Rightarrow$ Alambres de $\phi = 1/2''$
 - De 270 PSI $\Rightarrow$ Alambres de $\phi = 1/2''$
- Acero de Corte $\Rightarrow$ Estribos de $\phi = 3/8''$ de 2 Ramas

De la misma forma que la plantilla anterior en la medida que posicione sobre un dato, el fondo de la casilla se tornará amarillo y en el recuadro **Unidades** se dará la información correspondiente. Esta plantilla se indica en la Figura No. 0407.

Figura No. 0407
Plantilla Entrada de los Materiales

Propiedades y Características de los Materiales.

Concreto.

Viga.

Resistencia Inicial (f_{ci}) =

Resistencia Final (f_c) =

Peso Específico (γ) =

Losa

Resistencia (f_c) =

Pavimento

Peso Específico (γ) =

Acero de Preesfuerzo.

Modulo de Elasticidad (E_{ps}) =

Resistencia Ultima (f_{pu}) = ☐ 250 Psi ☐ 270 Psi

Diseño Con Diámetro

☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 7/16" ☐ 1/2" ☐ 5/8"

Acero de Refuerzo.

Limite Elastico (f_y) =

Modulo de Elasticidad (E_s) =

Acero de Estribos

Esfuerzo Admisible (f_v) =

Diseño Corte

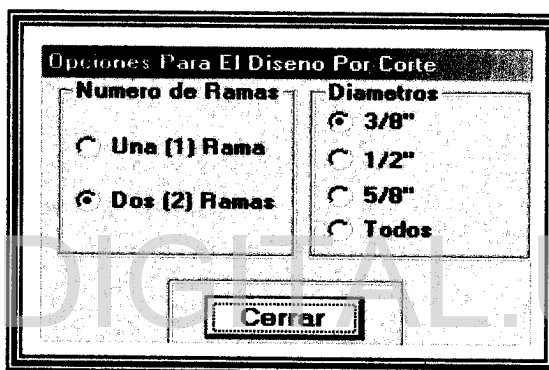
Ramas y Diámetro de los Estribos

Unidades: Kg/cm²

Es de hacer notar que esta plantilla tendrá desactivada la zona correspondiente a la losa y pavimento cuando la viga a diseñar sea en sección simple.

La selección de los estribos para corte se realiza de acuerdo con la plantilla secundaria para la selección de las características de los mismos, tal como se indica en la Figura No. 0408. Esta plantilla se activa pulsando **Ramas y Diámetro de los Estribos** o a través del cuadro de diálogo haciendo clic en **Opciones** y luego en **Corte...**

Figura No. 0408
Plantilla Entrada Secundaria de los Estribos



Opciones Para El Diseño Por Corte

Numero de Ramas	Diametros
☐ Una (1) Rama	☒ 3/8"
☒ Dos (2) Ramas	☐ 1/2"
	☐ 5/8"
	☐ Todos

Cerrar

PLANTILLA DE FACTORES Y COEFICIENTES.

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **Factores y**

Coeficientes, o bien, simplemente haciendo clic en la tecla >>  << disponible en la plantilla de presentación.

En esta plantilla se determina los valores de los factores y coeficientes que son requeridos en el diseño. La plantilla de entrada de factores se indica en la Figura No. 0409.

Figura No. 0409
Plantilla Entrada Factores y Coeficientes

Información Adicional

Coeficientes y Factores.

Humedad Relativa.	(RH)	
Factor de Ineficacia en Flexión.	(ϕ_f)	
Factor de Ineficiencia en Corte.	(ϕ_c)	
Factor de Pérdida	(η)	
Factor de Deflexión Diferida.	(λ)	
Factor de Conectores	(α)	
Incremento de Carga Viva	(Fvzla)	

PLANTILLA DE CARGAS Y DIMENSIONES.

Se accede a esta Plantilla haciendo clic en **Opciones** y luego en **Cargas..**, o bien,

simplemente haciendo clic en la tecla >>  << disponible en la plantilla de presentación.

El nombre de esta plantilla se debe a que las cargas permanentes dependen en gran medida de las dimensiones que se indican en esta plantilla y de acuerdo con la normativa vigente. En la Plantilla nombrada cargas y dimensiones, se introducirán las dimensiones losa, detalles de la calzada y otros, así como también las cargas de aceras, separadores y otras. Esta plantilla solicitará datos conforme al botón de tipo de diseño que esté activado. La plantilla de entrada cargas y dimensiones para una viga calculada en sección compuesta se indica en la Figura No. 0410.

Figura No. 0410
Plantilla Entrada Cargas y Dimensiones
Tipo de Diseño: Sección Compuesta

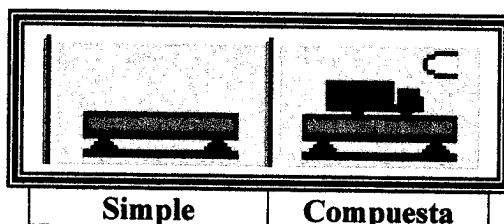
BOTONES DEL TIPO DE DISEÑO.

Se accede a estos botones haciendo clic en *Tipo de diseño* e inmediatamente se le presentarán las opciones: *Diseño de Viga Simple* o *Diseño de Viga Compuesta*. La plantilla de entrada del tipo de diseño se indica en la Figura No. 0411.

Figura No. 0411
Plantilla Entrada General del Tipo de Diseño

Otra forma de acceder al tipo de diseño de viga es a través de los botones que aparecen en la pantalla de presentación, los cuales son indicados en la Figura No. 0412.

Figura No. 0412
Botones Entrada del Tipo de Diseño



Se conoce que el botón se encuentra activado cuando en la parte superior derecha del mismo, se encuentra la nube verde (☁).

Esta selección del tipo de diseño modificará la información requerida en las plantillas Propiedades de los Materiales y en la de Cargas y Dimensiones. En la Figura No. 0413, se muestra la plantilla de materiales para tipo de diseño de viga simple, el cual puede ser comparado con la otra plantilla indicada en la Figura 0407 que es para diseño de viga compuesta.

Igualmente en la Figura No. 0414 se muestra la plantilla de cargas y dimensiones para un tipo de diseño de viga simple, el cual puede ser comparado con la otra plantilla indicada en la Figura 0410 que es para diseño de viga compuesta.

Figura No. 0413
Plantilla Entrada de los Materiales
Tipo de Diseño: Sección Sencilla

Propiedades y Características de los Materiales.

Concreto. Viga. Resistencia Inicial (f'_{ci}) = Resistencia Final (f'_c) = Peso Específico (γ) = Losa. Resistencia (f'_c) =		Acero de Presfuerzo. Modulo de Elasticidad (E_{ps}) = Resistencia Ultima (f_{pu}) = 250 ksi / 270 Psi Diseño Con Diámetro ☐ 1/4" ☐ 3/8" ☐ 7/16" ☐ 1/2" ☐ 5/8"
Pavimento. Peso Específico (γ) =		Acero de Refuerzo. Límite Elástico (f_y) = Modulo de Elasticidad (E_s) =
		Acero de Estribos. Esfuerzo Admisible (f_v) =
		Diseño Corte Ramas y Diámetro de los Estribos
Aceptar Cancelar		Unidades Kg/cm²

Figura No. 0414
Plantilla Entrada Cargas y Dimensiones
Tipo de Diseño: Sección Sencilla

Cargas

Cargas Permanentes Peso Propio = SobreCarga =	Cargas No Permanentes Carga Viva =
Aceptar Cancelar	
Unidades Kg/mts	

PROCESO

En el proceso se cumplen con todos los pasos indicados en la Figura No. 0209, los cuales seguidamente se indican, y sólo se harán algunas aclaratorias cuando se consideren necesarias.

- Características Geométricas de la Sección Sencilla y Compuesta.
 - Puntos de Análisis y Diseño.
 - Factores de Impacto y Rueda.
 - Cargas, Cortes y Momentos
 - Esfuerzos Admisibles.
 - Chequeo de Suficiencia de la Sección
 - Diseño a Flexión usando la RPP.
- Se debe definir la alternativa correspondiente al tipo de diseño en cuanto a si el tratamiento va ser de viga parcialmente presforzada (RPP variable) o de concreto reforzado (RPP=0) o de concreto totalmente presforzado (RPP=1).
 - El diseño consta de dos partes:
 1. Diseño a partir de la teoría de los Estados Límites en el que se realiza:
 - Se establece una altura útil ponderada entre las correspondientes alturas útiles de los aceros de preesfuerzo y refuerzo, a través de la Relación de preesforzado parcial.
 - Se trabaja con sección Te o Rectangular según sea la profundidad del bloque de compresión.
 - Se chequea que el índice de refuerzo no exceda el límite $w_{MAX}=0,36*\beta_1$.
 - La elección de diámetros para el acero de refuerzo se realiza de tal manera que resulten los mas económicos para la sección central, y esos diámetros son los utilizados en el resto de las secciones, la selección de los aceros de preesfuerzo se realiza al inicio del problema de acuerdo con las disponibilidades en el mercado.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

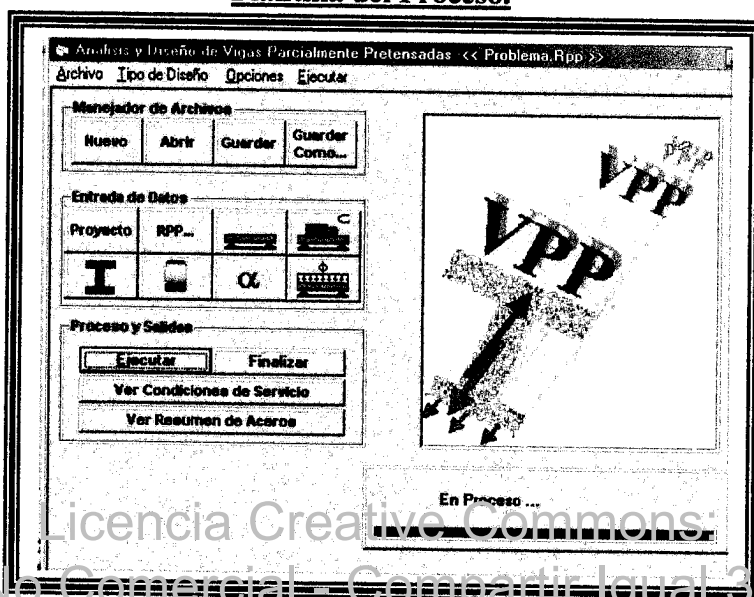
- El programa está provisto de una subrutina que calcula el máximo número de cabillas por capa de acero, y hace la distribución correspondiente trabajando hasta un máximo de dos capas.
- Esta etapa finaliza con la aceptación del valor de la altura útil de la sección, la cual se satisface cuando el momento último resistente es igual o mayor al momento último actuante en cada una de las secciones.

2. Chequeo de las condiciones de servicio. En esta fase se calculan las pérdidas a que esta sujeto el concreto preesforzado, para luego calcular, controlar y chequear fisuración, agrietamiento, deflexiones y esfuerzos en los diversos materiales para distintos casos de carga.

- Diseño por Corte, se realiza siempre y cuando se cumpla que la altura útil sea inferior al 80% de la altura de la sección compuesta.
- Diseño de Conectores.

El acceso a la fase del proceso se puede realizar, pulsando directamente en el menú **Ejecutar** o a través de la tecla Ejecutar, disponible en la plantilla de presentación, inmediatamente aparecerá un aviso (**En Proceso ...**) que le indicará que espere mientras realiza todos los pasos internos y llega a una solución. El proceso habrá concluido una vez se enciendan las Tablas de las Condiciones de Servicio y Tabla de Resultados Finales, y aparezca el mensaje **Ver Salidas ...**. En la Figura No. 0415 se presenta la plantilla del proceso.

Figura No. 0415
Plantilla del Proceso.



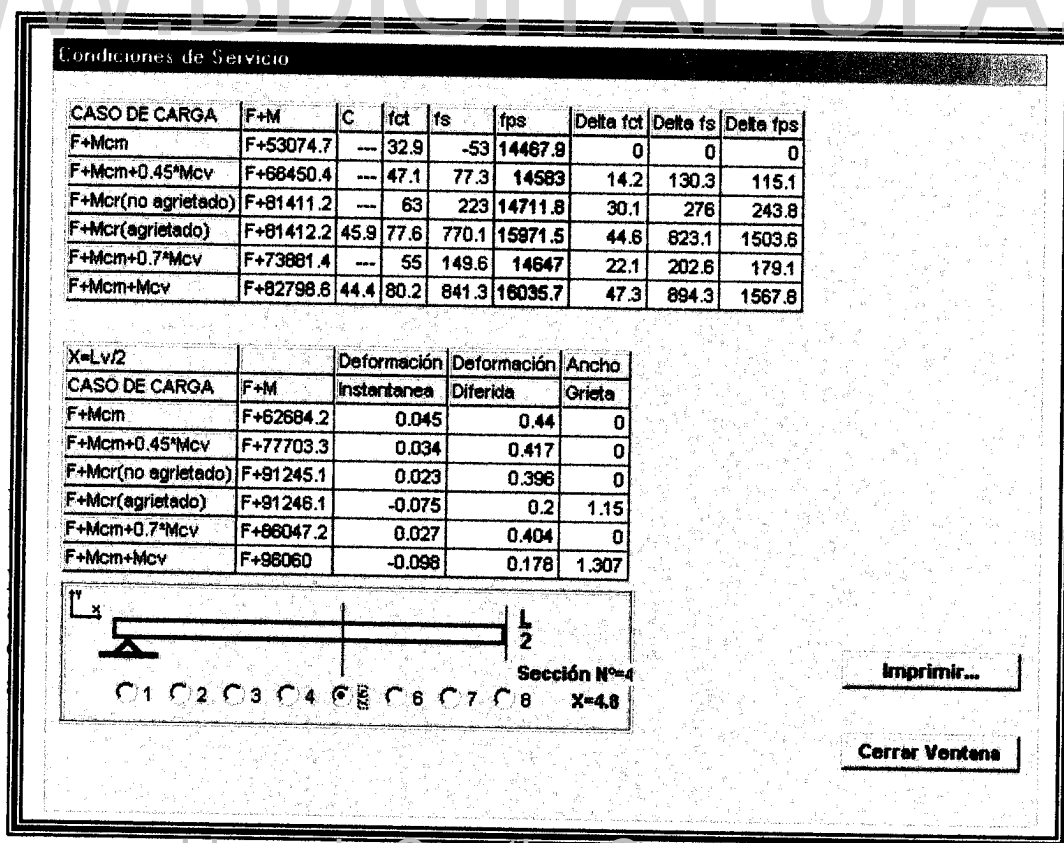
SALIDAS

Las salidas tanto por impresora como por pantalla son similares. Una vez, se seleccione algunas de las salidas por pantalla, se está en posibilidad de seleccionar la salida por impresora. Dentro del programa se presentan dos salidas:

- Tabla de las Condiciones de Servicio (Ver Figura No.0416). En esta tabla se presentan para cada punto de diseño, los esfuerzos actuantes y fatiga en cada punto de diseño y para cada caso de carga, y los resultados de ancho de grietas y deflexiones para el punto central. Todas estas variables son controladas con los valores admisibles que se indicaron en el proceso. Esta tabla deberá ser analizada y comparada con las normas vigentes de diseño y de los materiales.

Figura No. 0416

Plantilla Salida Tabla Condiciones de Servicio



Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Tabla de Resultados Finales (Ver Figura No. 0417), se presentan los resultados finales para los aceros de preesfuerzo, refuerzo, por corte y por conectores.

Figura No. 0417
Plantilla Salida de Resultados del Diseño

Tabla Resumen								
Proyecto:								
								
Distancia X	0	0.6	1.6	3.2	4.8	6.4	7.29	8
Acero de Refuerzo	2#5/8	2#5/8	3#5/8	2#5/8 3#5/8	3#5/8 3#5/8	3#5/8 4#5/8	3#5/8 4#5/8	3#5/8 4#5/8
Nº de Guayas	1#1/2	1#1/2	2#1/2	4#1/2	5#1/2	6#1/2	6#1/2	6#1/2
Sv(corte) #3/8	7.41	7.41	13.55	24.21	22.83	33.48	48.54	60
Sv(conectores) #1/2	18	18	19	22	23	24	24	24
N Conectores	3	3	3	3	3	3	3	3
Imprimir... Cerrar Ventana								

Ambas plantillas tienen disponible la tecla de impresión, que lo lleva a las opciones disponibles que se indican a continuación:

- Tabla de las Condiciones de Servicio, se imprime en las dos partes, tales como las que se presentan por pantalla, una para la información correspondiente a esfuerzos, la cual varía de acuerdo a la sección en que se está ubicado, y la otra, correspondiente a deformaciones y ancho de grietas, que es fija, por solo calcularse en el centro de la viga. Las opciones están claramente identificadas en la Figura No. 0418.

Figura No. 0418
Plantilla Salida Impresora Condiciones de Servicio

The image shows a software window titled "Impresion de Resultados". Inside, there is a section labeled "Seleccione" which contains eight checkboxes arranged in two columns: "Sección [1]", "Sección [2]", "Sección [3]", "Sección [4]" on the left, and "Sección [5]", "Sección [6]", "Sección [7]", "Sección [8]" on the right. Below these is a checkbox labeled "Todas las Secciones". To the right of the "Seleccione" section are two buttons: "Imprimir Secciones" and "Imprimir Deformaciones y Grietas". At the bottom right of the window is a button labeled "Cerrar".

- Tabla de Resultados Finales, es impresa en la misma forma que se presenta por pantalla, al solo pulsar la tecla *Imprimir* .

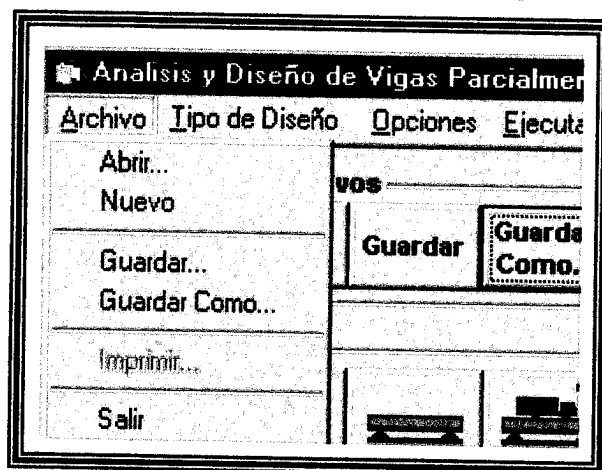
Nota

Asegúrese que la impresora esté correctamente conectada. En algunas ocasiones el imprimir tardará, dependiendo de la configuración de la impresora en el equipo en cuestión.

PROCESAMIENTO DE DATOS POR MEDIO DE ARCHIVOS

Debido a la gran cantidad de datos de entrada se ha diseñado el programa para que pueda trabajar por medio de archivos. A todas estas plantillas se les puede acceder desde el menú principal, pulsando Archivo que aparece en el margen superior de la plantilla de presentación, y luego la selección de su preferencia, tal como se indica en la Figura No. 0419.

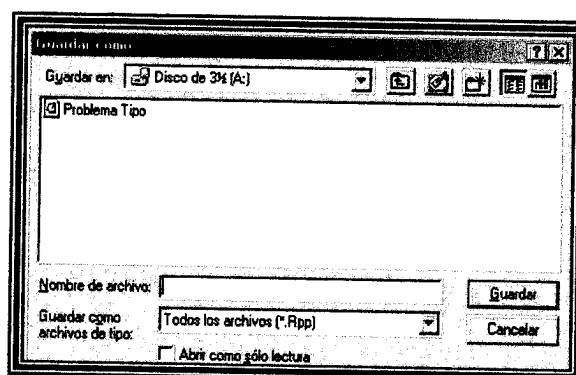
Figura No. 0419
Plantilla General de Archivo



La forma correcta de trabajar con los archivos es:

- Llenar las Plantillas de entradas con los datos requeridos.
- Verificar que no falte ningún dato.
- Ir al Menú Principal, **Archivo** y seleccionar la opción **Guardar Como...**, al escoger esta opción se mostrara la plantilla para el almacenamiento de datos (Ver Figura No. 0420), con la cual se nombrará el archivo que contendrá toda la información que se encuentre en las Plantillas de Entrada de Datos, o bien seleccionando directamente la opción **Guardar como** directamente en la plantilla de presentación.

Figura No. 0420
Plantilla Almacenamiento Datos

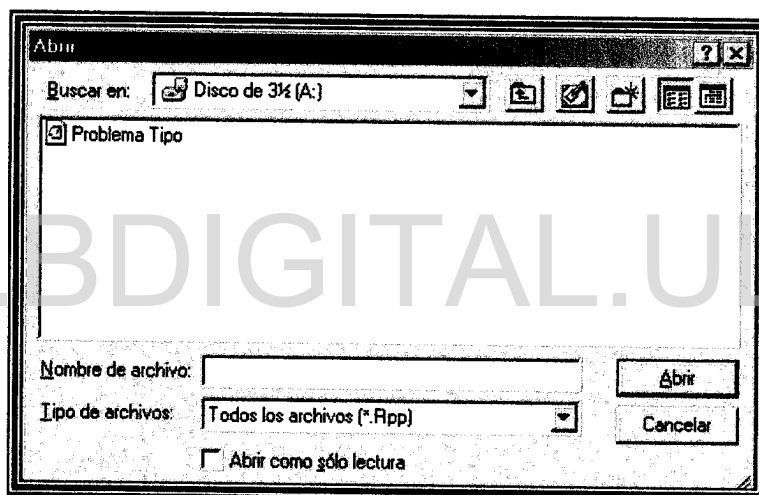


Para guardar los datos, solo escriba el nombre que le dará al archivo (conjunto de datos). Los archivos utilizados por VPP tendrán extensión **.vpp**.

Para cargar un archivo deseado solo siga los siguientes pasos:

En el Menú Principal, **A**rchivo y seleccionar **A**brir... . Se presentará una ventana donde se mostrarán solamente todos los archivo **.vpp** o bien seleccionando directamente la opción **A**brir directamente en la plantilla de presentación (Ver Figura No. 0421). Escoja el archivo de su interés. Luego de cargados los datos se podrá Ejecutar el Programa VPP.

Figura No. 0421
Plantilla Entrada por Archivo



FIN DEL PROCESO

En el Menú Principal, Archivo, se encuentra el ítem Salir, por medio del cual se debe cerrar el programa VPP, o bien utilizar la tecla **Finalizar**, disponible en la plantilla de presentación.

Nota: Se recomienda cerrar el programa por medio de esta opción.

MENSAJES DE INFORMACIÓN.

El programa VPP está provisto de una serie de mensajes para minimizar las dificultades en la manipulación del mismo. Estos mensajes se encuentran en distintas fases del programa, tales como, en la entrada de datos (sección, materiales, dimensiones, cargas, factores), en el inicio del proceso, como

resultados de cálculos de sección insuficiente o limitaciones del programa mismo. Seguidamente en la Tabla 0401, se ofrecerá la lista de los mensajes, ubicación y motivo de ocurrencia.

Tabla No. 0401
Descripción Detallada De Mensajes

Mensaje	Motivo / Ubicación
<i>Dimensión Insuficiente. Las Dimensiones de la Sección deben ser Mayores de 2.5 cm.</i>	No se permite que ninguna dimensión de la sección sea inferior a 2.5 cm./ Entrada de Datos
<i>rs Debe ser Mayor o Igual a 5 cm.</i>	No se permite que el recubrimiento del acero de refuerzo sea inferior a 5 cm./ Entrada de Datos.
<i>rp Debe ser Mayor o Igual a 12 cm.</i>	No se permite que el recubrimiento del acero de preesfuerzo sea inferior a 12 cm./ Entrada de Datos.
<i>La Diferencia rp-rs Debe ser Mayor o Igual a 7 cm</i>	Solo se permite una diferencia entre los recubrimientos de los aceros de preesfuerzo y refuerzo de 7 cm., debido a que hay posibilidad que exista hasta una segunda capa de acero de refuerzo / Entrada de Datos.
<i>Faltan Datos para Realizar el Proceso ¿ Esta Seguro que Desea Continuar?</i>	Existe la posibilidad que el usuario llene parcialmente alguna plantilla durante la entrada de datos, y este mensaje le alerta que debe completar la información antes de iniciar el proceso. / Entrada de Datos
<i>Separación de vigas debe ser Mayor o Igual a "valor" m.</i>	Evitar pasar al tramo siguiente de losa, y obtener una distancia negativa de D_R . / Entrada de Datos.
<i>Su Dimensión es muy Grande, ¿ Esta Seguro?</i>	Se realizan algunos controles en el ingreso de dimensiones, debido a que existe la posibilidad de errores, al confundir metros (m.) con centímetros (cm.) o viceversa. Este mensaje aparece cuando: El Espesor de la losa es mayor de 30 cm.; La Separación entre Vigas es mayor que 4 m.; El Ancho de Baranda es Mayor de 0,50 m. El Ancho de Acera es mayor de 1,5 m.; y El Espesor de Pavimento es Mayor de 8 cm./ Entrada de Datos
<i>La Separación entre Vigas Debe Superar al Mayor Ancho de la Sección</i>	Garantizar que la Separación entre Vigas sea superior que el mayor Ancho de la Sección./ Entrada de Datos

Tabla No. 0401
Descripción Detallada de Mensajes

Mensaje	Motivo/Ubicación
<i>R_p no debe ser mayor que el "valor de Y_l"</i>	Para garantizar que los aceros trabajen en la zona de tracción./ Entrada de Datos
<i>La altura de la sección es Insuficiente</i>	Cuando la Altura de la Sección Sencilla es menor que 2 veces el Recubrimiento del Acero de Preesfuerzo en Vigas Total o Parcialmente Preesforzadas, o menor que 2 veces el Recubrimiento del Acero de Refuerzo en Vigas Reforzadas. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 280 kg/cm². a "valor de f_c"</i>	No se permite que la Resistencia Inicial de Concreto sea menor de 280 kg/cm ² ., ni mayor que la Resistencia final. / Entrada de Datos
<i>f_c Debe Ser Mayor de 350 kg/cm²</i>	No se permite que la Resistencia final del Concreto sea inferior a 350 kg/cm ² ./ Entrada de Datos.
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 210 a "valor de f_c"</i>	No se permite que la Resistencia del Concreto de la Losa sea menor 210 kg/cm ² , ni mayor de la resistencia final del concreto de la viga. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 1400 a "valor de f_y"</i>	No se permite que el Esfuerzo Elástico del Acero de Refuerzo Transversal sea menor de 1400 kg/cm ² y mayor del Esfuerzo Elástico del Acero de Refuerzo Longitudinal. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 2500 a 6000</i>	No se permite que el Esfuerzo Elástico del Acero de Refuerzo sea menor de 2500 y mayor de 6000 kg/cm ² . / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 1500000 a 3000000</i>	No se permite que el peso específico del concreto y pavimento sean menores de 1500000 y mayores de 3000000 kg/cm ² . / Entrada de Datos
<i>Seleccione la sección de diseño</i>	Recordando que debe seleccionar una sección para poder completar los datos en la plantilla de entrada de la Geometría de la sección. / Entrada de Datos
<i>Mensajes varios que tienen que ver con las dimensiones de la sección</i>	Estos prevén que el usuario, coloque unas dimensiones a la sección seleccionada correspondientes con la forma elegida, además de garantizar algunas dimensiones mínimas en las secciones. / Entrada de Datos
<i>El espesor losa (pavimento) debe ser mayor de 10 (5) cm.</i>	No se permite que los espesores de losa y pavimento sean menores de 10 y 5cm. respectivamente / Entrada de Datos

Tabla No. 0401
Descripción Detallada de Mensajes

<i>Mensaje</i>	<i>Motivo/Ubicación</i>
<i>El numero de Vigas debe ser por lo menos 2</i>	No se acepta que el número de vigas sea inferior a dos./ Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado el rango es $0 < RH < 100$</i>	No se permite que la Humedad Relativa sea menor que cero y mayor que cien. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 0,80 a 0,95. Se Recomienda 0.90</i>	No se permite que el Factor de Ineficacia por Flexión sea menor de 0,70 y mayor de 0,90. Se expone la Recomendación Normativa. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 0,80 a 0,90. Se Recomienda 0.85</i>	No se permite que el Factor de Ineficacia por Corte sea menor de 0,70 y mayor de 0,90. Se expone la Recomendación Normativa. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 0.80 a 1,00</i>	No se permite que el Factor de Pérdidas sea menor de 0,80 y mayor de 1,00. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 1 a 2. Se Recomienda 2,00</i>	No se permite que el Factor de Deflexión Diferida sea menor de 1,00 y mayor de 2,00. Se expone la Recomendación para un tiempo de cinco años. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 350 a 950</i>	No se permite que el Factor de Conectores sea menor de 350 y mayor de 950. Se debe elegir de acuerdo con el tiempo en servicio de la obra. / Entrada de Datos
<i>Valor Inadecuado, el rango es de 1500000 a 2500000</i>	No se permite que el Módulo de Elasticidad de cualquier Acero sea menor de 1500000 y mayor de 2500000 kg/cm ² . / Entrada de Datos
<i>Datos Incompletos para el Proceso</i>	Existe la posibilidad que el usuario haya llenado parcialmente alguna plantilla durante la entrada de datos, y este mensaje le alerta que debe completar la información antes de iniciar el proceso. / Proceso
<i>En Proceso...</i>	Este mensaje aparecerá una vez se pulse la tecla ejecutar y se de inicio al proceso. / Proceso

Tabla No. 0401
Descripción Detallada de Mensajes

Mensaje	Motivo/Ubicación
<i>La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando los Módulos de Sección sean Insuficientes o cuando se haya excedido el límite normativo del índice de preesfuerzo. / Proceso
<i>No Se Puede Cumplir Con La Separación Mínima Entre Cabillas por Adherencia.</i>	Al no ser posible distribuir el acero de refuerzo en dos capas por adherencia. / Proceso
<i>No Se Puede Cumplir Con La Separación Mínima Entre Cabillas por Fisuración.</i>	Al no ser posible distribuir el acero de refuerzo en dos capas por fisuración. / Proceso
<i>Viga Reforzada con $M_{actu} > M_{resis}$. La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando el Momento Último Actuante es mayor que el Resistente, para el caso de una Viga Reforzada. / Proceso
<i>Viga Pretensada con $M_{actu} > M_{resis}$. La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando el Momento Último Actuante es mayor que el Resistente, para el caso de una Viga Preesforzada. / Proceso
<i>Viga Parcialmente Pretensada con $M_{actu} > M_{resis}$. La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando el Momento Último Actuante es mayor que el Resistente, para el caso de una Viga Parcialmente Preesforzada, y ya se probó con todos los RPP. / Proceso

Tabla No. 0401
Descripción Detallada de Mensajes

Mensaje	Motivo/Ubicación
<i>Se Incumple Requerimiento de Corte. La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando el valor de la altura útil es menor que el 80% de la altura de la Sección Compuesta. / Proceso
<i>Se Excede Cortante Máximo para el Acero. La Sección De Concreto Es Insuficiente, Pruebe Haciendo Lo Siguiente: [1] Modifique Las Dimensiones De La Sección [2] Modifique La Resistencia Del Concreto De La Viga [3] Haga Paralelamente [1] y [2]</i>	Cuando se excede el cortante máximo del acero $V_{S\text{MAX}} = 2.12 * \sqrt{f'c} * b_w * d$./ Proceso
<i>Ver Salidas</i>	Fin del proceso, invita a ver resultados. / Proceso
<i>Creando Plantillas Nuevas...</i>	Cuando se pulsa la tecla Nuevo , limpia la información en las plantillas, y para dejar disponible un nuevo archivo. / Archivo.
<i>Plantillas Creadas</i>	Ya limpió las plantillas, y deja disponible un nuevo archivo. / Archivo.
<i>Cargando: & Nombre del archivo</i>	Cuando se solicita abrir y cargar un archivo existente. / Archivo.
<i>Subrutina de errores, dados por Windows</i>	Al cargar archivo que no corresponde o que se ha manipulado indebidamente. / Archivo.
<i>Guardando Archivo....</i>	Cuando guardamos archivo. / Archivo.

Existen otros tipos de mensajes que son tácitos, y están incluidos en los chequeos que se realizan a las condiciones de servicio. Estos mensajes se presentan de la siguiente forma, el fondo de los recuadros de la Plantilla de Condiciones de Servicio es azul, y solo cambia a color amarillo, cuando las condiciones normativas previstas son excedidas en menos de un diez por ciento, y a rojo cuando son excedidas en porcentaje mayor al diez por ciento.

Igualmente para la salida por impresora, se tiene previsto que los valores resultados sean acompañados por signos asterisco de acuerdo con la siguiente exposición:

- Cuando las condiciones normativas previstas son excedidas en menos de un diez por ciento, aparecerá un signo asterisco “*” y
- Cuando son excedidas en porcentaje mayor al diez por ciento, dos signos asterisco “**”.

ARCHIVOS EXTERNOS DE PROGRAMA

Los archivos externos a los que accede el programa se pueden clasificar en seis categorías:

1. EJECUTABLES

EjecutaVpp.exe: Archivo de ejecución.

2. VENTANAS

CaraViga.frm: Ventana de las características geométricas de la sección.

CargSIMPLE.frm: Ventana de las cargas para la viga simple.

InfCARGAS.frm: Ventana de las cargas para la viga compuesta.

InfADICIONAL.frm: Ventana de los coeficientes y factores.

Mate.frm: Ventana de las propiedades y características de los materiales.

OptCorte.frm: Ventana para el número de ramas y diámetro de los estribos por corte.

RPPoption.frm: Ventana para la selección del valor de la relación de preesfuerzo parcial.

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

TablaED.frm:	Ventana de salida de resultados de las condiciones de servicio para los distintos estados de carga en cada sección.
TablaRE.frm:	Ventana de salida de resultados de los diferentes aceros.
Primero.frm:	Ventana Inicial.
FromPADRE.frm:	Ventana de presentación. MDI porque contiene todas las ventanas del programa.

3. MÓDULOS

CorteConectores.bas:	Módulo de calculo de corte y conectores.
ProcesoCalculo.bas:	Módulo general de proceso a flexión.
Variables.bas:	Módulo de Definición de parte de las variables de proceso.
vARIABLES2.bas:	Módulo de Definición del resto de las variables de proceso.
Module2.bas:	Módulo de calculo secundarios.

4. CONFIGURACIONES DE VENTANA

CaraViga.frx:	Configuración de la Ventana de las características geométricas de la sección.
InfCARGAS.frx:	Configuración de la Ventana de las cargas para la viga compuesta.
Mate.frx:	Configuración de la Ventana de las propiedades y características de los materiales.
TablaED.frx:	Configuración de la Ventana de salida de resultados de las condiciones de servicio para los distintos estados de carga en cada sección.
Primero.frx:	Configuración de la Ventana Inicial.
FromPADRE.frx:	Configuración de la Ventana de presentación. MDI porque contiene todas las ventanas del programa.
Mate.log:	Configuración lógica de la Ventana de las propiedades y características de los materiales.

4. IMPRESIÓN

ImpriED.frm: Ventana de impresión de resultados de las condiciones de servicio para los distintos estados de carga en cada sección.

ImpriRE.frm: Ventana de impresión de resultados de los diferentes aceros.

5. INTEGRALES

RPP2000.vbp: Archivo de todo el proyecto.

RPP2000.pdm: Archivo de Configuración de todo el proyecto.

WWW.BDIGITAL.ULA.VE

CAPITULO V

ANÁLISIS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez que se han desarrollado los capítulos previos que sustentan el método para el análisis y diseño de vigas parcialmente pretensadas, y hechas las pruebas correspondientes al software (Programa VPP), de lo cual solo se deja la evidencia incluida en los Anexos Nos. 0601 y 0602, que contienen el mismo ejemplo resuelto manualmente y por el programa, respectivamente, se puede pasar a realizar el análisis correspondiente, del cual se derivaran las conclusiones y recomendaciones del estudio.

ANÁLISIS.

Este ítem se va enfocar en dos direcciones, una en cuanto al programa, y la otra en referencia a los resultados obtenidos en el ejemplo presentado en los anexos.

En cuanto a la validación del programa.

De acuerdo con la metodología establecida, los problemas de prueba fueron realizados por tres vías, de acuerdo con la siguiente secuencia:

Resolución Paso a Paso Manual => Hoja Excel => Programa

Esto permitió verificar que tanto la lógica del procedimiento establecido en el marco teórico así como los resultados parciales de las ecuaciones involucradas, estuviesen funcionando adecuadamente. Mas allá, se realizaron decenas de ensayos entre el programa y la hoja de Excel ya probada, obteniéndose resultados similares, lo que conduce a afirmar que el objetivo propuesto ha sido satisfecho.

Igualmente es importante aclarar que realizado el chequeo paso a paso del programa existen algunas diferencias entre los resultados obtenidos en forma manual y los obtenidos por el programa VPP, y estas son debidas a lo siguiente:

1. En la forma manual sólo se esta presentando una iteración (Ver Anexo No. 0601), mientras que el programa realiza varias iteraciones hasta llegar a un valor de Momento Último Resistente muy cercano al Momento Último Actuante, de tal manera que la altura útil “d” de la sección es ligeramente diferente por ambos procedimientos. Esta diferencia en la forma de cálculo de la altura útil genera las primeras variaciones entre los resultados.

2. En el programa, por un lado, se calcula la altura útil del refuerzo de acuerdo con las capas que existan y las respectivas áreas de acero de refuerzo en cada capa, y luego se calcula el baricentro del acero total por la relación de preesfuerzo parcial. En el proceso manual se estima que el recubrimiento del refuerzo sube 2.5 cms., cada vez que se incrementa una capa.
3. Se pudo observar que las mayores diferencias se obtienen en aquellas ecuaciones que corresponden a la condición agrietada, ya que, por un lado, son mas sensibles por su conformación con valores elevados a diferentes potencias, y por el otro, dependen del cálculo de la profundidad de bloque de compresión, la cual en el programa se calcula por Newton Raphson y en el caso manual (Ver Anexo No. 0601), simplemente se estima con un nivel satisfactorio de aproximación.
4. En la Tabla No. 0501, se presentan algunos de los resultados que presentan mayor variación en el ejemplo expuesto, la cual es tolerable y justificada en base a las premisas previas.

TABLA No. 0501
Diferencias en los Resultados

Punto Diseño/ Caso de Carga	Valores Obtenidos Problema Ejemplo			
	<u>Variable</u>	<u>Manual</u> (Kg/Cm ²)	<u>Program</u> <u>a</u> (Kg/Cm ²)	<u>Error</u> (%)
x=0.60 F+M _{CR} (Agrietado)	f _{ps}	15462.41	16179.00	4.43
x=0.60 F+M _{CR} (Agrietado)	f _s	3900.86	3995.9	2.38
x=0.60 F+M _{CR} (Agrietado)	f _{CT}	74.99	82.3	8.88
X=6.40 F+M _{MT} +M _P (Agrietado)	f _{ps}	14659.82	15032.5	2.48

En cuanto al manejo del programa.

El manual del usuario es una herramienta indispensable para el manejo eficiente de cualquier software, aunque es evidente lo sencillo que resulta la resolución de problemas con el uso del programa, y el poco tiempo que se requiere para ello, al evitarse los cálculos largos y engorrosos de cierta dificultad matemática. Todo esto se traduce en economía de tiempo de uso profesional y por lo tanto en menor costo.

En cuanto a la versatilidad del programa.

Este programa es solo la primera fase de un instrumento de cálculo que debe abarcar múltiples opciones de diseño estructural, por lo tanto es importante que el solo hecho de creer que el preesforzado parcial es una alternativa factible, exige preparar herramientas que cumpliendo con su propósito principal, sean atractivas para aquellos que van a dar continuidad a esta investigación.

En ese sentido, por una parte, la escogencia del lenguaje Visual Basic y su posibilidad de actuar bajo ambiente Windows ha sido determinante, y por la otra, el hecho de poder alternar el cálculo en diferentes métodos de diseño para el concreto son características que le dan los primeros visos de versatilidad.

En cuanto al cumplimiento de los límites normativos de las variables en el ejemplo.

1. En las Tablas Nos. A202 y A203 correspondientes a los Puntos de Diseño Nos. 2 y 3 respectivamente, para el caso de Fuerza mas Momento de Agrietamiento ($F + M_{CR}$), se observa que existen dos casillas con fondo rojo o de excedencia de valores admisibles, las cuales pertenecen al esfuerzo del acero de refuerzo o su incremento. Pero es el caso, que para esos puntos, el momento total tiene poca posibilidad de alcanzar al momento de agrietamiento, por lo tanto, esta situación no se califica como grave.
2. En las Tablas del No. A203 al No. A208, correspondientes a los Puntos de Diseño comprendidos entre los Nos. 3 y 8, respectivamente, para todos los casos expuestos se supera el esfuerzo admisible en el acero de preesfuerzo, aunque nunca se excede en mas de un diez por ciento del admisible.

3. En la Tabla No. A209 correspondientes al Punto de Diseño No. 8, se puede observar que el ancho de grieta en el centro de viga, es excedido para los casos de Fuerza mas Momento de Agrietamiento ($F + M_{CR}$) y Fuerza mas Momento Total ($F + M_{TOT}$), aunque sus valores se consideran tolerables, ya que no excede el valor previsto para exposición interior (0.40 mm) en la Tabla No. 0216.

En cuanto a economía de materiales en el ejemplo.

Al hacer algunas consideraciones generales del concreto parcialmente preesforzado con respecto al concreto reforzado y concreto totalmente preesforzado, se puede establecer lo siguiente:

1. Con respecto al Concreto Reforzado, es evidente que habrá menores cantidades de materiales, por sus mayores resistencias y el menor peso muerto del elemento. Aunque, estos materiales son de un costo mayor, a la vez que se requiere mano de obra especializada y algunas otras técnicas auxiliares. Es difícil establecer en base a premisas generales cual técnica será la más económica.
2. Con respecto al Concreto Preesforzado, las ventajas y desventajas anteriores se equiparan y la economía prácticamente queda condicionada, por los costos de los aceros resultantes.

En base a este último análisis, en la Tabla No. 0502 se presentan los resultados obtenidos para los aceros correspondientes al punto de diseño del centro de la luz para el problema incluido en el Anexo No. 0601, usando distintas técnicas en el diseño del concreto.

Tabla No. 0502
Aceros En $x = 8$ m.
Problema Anexo No. 0601

Aceros	CONCRETO		
	Reforzado	Pretensado	Parcialmente Pretensado
RPP	0	1	0,65
$A_{SP} (cm^2)$	0	8,37	5,33
$A_S (cm^2)$	34,35	0	12,46

Partiendo de una relación de costo a la fecha, entre el acero de alta resistencia y el acero de baja resistencia de 5, se podría estimar cuál técnica es más económica en cuanto al acero utilizado.

De acuerdo con los resultados presentados se pueden obtener los costos en cada caso:

$$\text{Costo Parcialmente Pretensada} = 5,33 \cdot 5 + 12,46 \cdot 1 = 39,11 \cdot \text{CABR}$$

1. Costo Concreto Reforzado

$$= 34,35 \cdot 1 = 34,35 \cdot \text{CABR} < 39,11 \cdot \text{CABR} \quad (\text{mas Económica en Acero}).$$

2. Costo concreto Totalmente Pretensado.

$$= 8,37 \cdot 5 = 41,85 \cdot \text{CABR} > 39,11 \cdot \text{CABR} \quad (\text{mas Costosa en Acero}).$$

Siendo:

CABR = Costo del Acero de Baja Resistencia.

Para este problema y punto específico, se verifica que para el momento que se revisaron los costos del acero, la viga de concreto reforzado es la más económica (34,35), seguida de la parcialmente pretensada (39,11), y luego la totalmente pretensada (41,85).

Utilizando los resultados anteriores, y haciendo el análisis en base a las cantidades de aceros en cada caso, se verá cuál sería la situación general para establecer la economía de los aceros en cualquier momento:

- En cuanto al concreto reforzado, se puede observar que la diferencia de aceros de refuerzo es $34,35 - 12,46 = 21,89 \text{ cm}^2$, lo que equivale a decir que la viga parcialmente preesforzada, será de menor costo en acero que la reforzada, siempre y cuando el costo unitario del acero de alta resistencia sea mayor de $(21,89/5,33 =) 4,11$ veces que el del acero ordinario.
- En cuanto al concreto totalmente preesforzado, se puede observar que la diferencia de aceros de preesfuerzo es $8,37 - 5,36 = 3,01 \text{ cm}^2$, lo que equivale a decir que la viga parcialmente preesforzada, será de menor costo en acero que la totalmente preesforzada, siempre y cuando el costo

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

unitario del acero de alta resistencia sea menor de $(12,46/3,01 \Rightarrow) 4,14$ veces que el del acero ordinario.

Como se puede observar, el valor obtenido en ambos casos es similar, y lo aproximaremos a 4,1. Esto deja al concreto parcialmente pretensado sin un rango de valores en el cual, él pudiera ser más económico, ya que por encima de 4,1 esta el concreto reforzado y por debajo el concreto totalmente pretensado.

Es importante establecer que este razonamiento se realiza en base a un sólo ejemplo, una viga de luz ligeramente grande y en un punto específico. Resulta claro que el acero no es el único parámetro a considerar, y por lo tanto es vital realizar investigaciones en este sentido, a fin de establecer claramente la relación de costos entre las técnicas consideradas.

CONCLUSIONES

1. En este trabajo se ha recopilado información importante en referencia al preesforzado parcial y se establecen los tópicos básicos para el análisis y diseño de vigas usando la mencionada técnica.
2. El software elaborado es una herramienta útil para el propósito que se desarrolló, permitiendo al usuario iniciarse de manera amigable en el cálculo de las vigas parcialmente pretensadas. Ello pudiera ser un elemento de motivación para inducir a una cultura de trabajo integral en este campo.
3. Es indiscutible la diferencia en la velocidad de operación y precisión de los cálculos mediante la realización del problema-ejemplo, manualmente y utilizando el software propuesto, permitiendo al profesional tener un mayor escenario de soluciones y mayor tiempo para el análisis, todo ello a un costo menor de tiempo profesional.
4. La relación de preesfuerzo parcial (RPP) ha permitido establecer las fronteras de cualquier diseño de vigas de concreto, siendo cero para concreto armado y uno para totalmente preesforzado. Sin duda, que la mayor ventaja que este hecho ofrece, es poder interactuar paralelamente en tres tipos de diseño, con materiales y solicitaciones iguales pero con respuestas de servicio diferentes.

5. En ningún caso se pudo lograr cumplir con el límite normativo ($0,70 * f_{pu}$) para el acero de preesfuerzo, en las secciones correspondientes al tercio central de viga, aunque se obtuvieron valores que están muy cercanos a ese límite.
6. La deflexión normativa se satisface holgadamente en cualquier caso, aún en los casos donde la deflexión diferida es la más acentuada.
7. No se pudo lograr cumplir con el límite normativo para el ancho de grietas, aunque se obtuvieron valores aceptables para exposición interior de acuerdo a la Tabla No. 0216 (ancho máximo normativo).
8. De acuerdo con las dos conclusiones anteriores (6 y 7), se nota la falta de correspondencia entre el ancho de grieta y la deflexión, cuyas fórmulas provienen de ensayos experimentales y de principios de la resistencia de materiales.
9. No se logro controlar el agrietamiento, a pesar de que por un lado, antes de hacer los cálculos de servicio se ha realizado un control de fisuración en cada sección de la viga, y por el otro, conocer de la bibliografía existente que con este tipo de técnica se limita la formación de grietas.
10. Las conclusiones previas, indican la necesidad prioritaria de establecer unos criterios normativos que guíen específicamente, el cálculo de elementos parcialmente preesforzados.

RECOMENDACIONES

En virtud que se ha dado un nuevo paso, en el análisis y diseño de vigas parcialmente preesforzadas, se considera conveniente hacer las recomendaciones siguientes:

1. Se sugiere a las Universidades, y muy específicamente a las áreas de ingeniería civil, que por ser el Preesforzado Parcial una técnica nueva en el país, se continúe investigando en los distintos tópicos que aborda este campo y los de la ingeniería estructural misma, realizando comparaciones de los valores que arrojan la formulación teórica matemática y el resultado de los experimentos en laboratorio.

2. En correspondencia con la recomendación No. 1, se sugiere la revisión experimental del cálculo del ancho de grietas por la Formula de Nawy & Chiang, por las razones expuestas en las conclusiones Nos. 8 y 9.
3. Es importante también, realizar investigaciones en cuanto a la economía que este tipo de técnica ofrece, ya que la generalización de su uso, estará bien condicionada por este aspecto.
4. Los tópicos para abordar en trabajos futuros son muchos, por lo tanto las recomendaciones que se pueden realizar son demasiadas, de tal manera que habria que ir complicando el problema en un orden lógico y aceptable:
 - Continuar este trabajo con clave curvo.
 - Probar con otros métodos en los que se trabaje con el diagrama real del bloque de compresión (análisis no lineal) y variación de Menegotto-Pinto para el diagrama del acero de alta resistencia.
 - Trabajar con vigas postensadas.
 - Limitar la contribución de la adherencia sólo al concreto reforzado.
 - Incorporar elementos para el diseño sísmico.

COMENTARIO FINAL

En definitiva, el autor considera necesario seguir investigando para lograr ubicar el ámbito en el cual el concreto parcialmente preesforzado permite, tanto desde el punto de vista teórico como del práctico, lograr soluciones óptimas y por lo tanto económicas, para que así su uso pueda hacerse más popular.

BIBLIOGRAFIA

1. ALLEN. A. H.: Introducción al Concreto Preesforzado, México, Instituto Mexicano del Concreto y Cemento, 1979.
2. ARNAL, Eduardo: Manual para el Calculo de Elementos de Concreto Armado, Venezuela, Sidetur, 1988.
3. AYARZA, Ángel y Otros: Temas de Hormigón, Vigas de Grandes Luces. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1980.
4. BALESTRINI, Miriam: Como se elabora el Proyecto de Investigación, Venezuela, BL Consultores Asociados, 1998.
5. BRANSON, Dan: Diseño de Vigas de Concreto Preesforzado, México, Instituto Mexicano del Concreto y Cemento, 1981.
6. CODE REQUIREMENTS FOR STRUCTURAL CONCRETE AND COMMENTARY. ACI Committee 318. 1995. Estados Unidos.
7. INSTITUTO MEXICANO DE CEMENTO Y CONCRETO: Concreto Preesforzado Sometido a bajas Temperaturas, México, 1985.
8. LANDA, Carlos: Interpretación de las Normas de Concreto Armado, Venezuela, Sidetur, 2000.
9. LEONHART, Fritz: Estructuras de Hormigón Armado, Hormigón Pretensado (Tomo V), Buenos Aires, El Ateneo, 1986.
10. LIBBY, James: Modern Prestressed Concrete, New York, Van Nostrand Reinhold Company, 1984.
11. LIN, T.Y.: Diseño de Estructuras de Concreto Preesforzado, New York, Jhon Wiley & Sons , 1974.
12. McCracken, D.D. y Dorn, W.S.: Métodos Numéricos y Programación FORTRAN, México, Limusa-Wiley, 1969.
13. MICROSOFT CORPORATION. Microsoft Visual Basic 6.0, E.E.U.U, 1998.

14. NAAMAN, Antoine: Review y Recommendations of Partially Prestressed Concrete, E.E.U.U., PCI Journal, Vol. 22, 1985.
15. NILSON, Arthur y WINTER, George: Diseño de Estructuras de Concreto, Colombia, McGraw-Hill, 1993.
16. PREVENCA. Manual de Diseño, Venezuela, 1972.
17. PAYA, M.: Hormigón Pretensado, España, CEAC, 1979.
18. SARMIENTO, Rafael: Diseño y Evaluación de Vigas y Pilas Preesforzadas. Trabajo de Ascenso ULA, Venezuela, 1993.
19. SARMIENTO, Rafael: Miembros de Concreto Parcialmente Pretensados sometidos a Flexión. Trabajo de Ascenso ULA, Venezuela, 1995.
20. SARRÍA, Alberto: Introducción a la Ingeniería Civil, Colombia, McGraw-Hill, 1999.
21. TADROS, Maher: Expedient Service Load, Analysis of Cracked Pretensed Concrete Sections, E.E.U.U., PCI Journal, Vol. 28, 1983.

ANEXO No. 0601

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

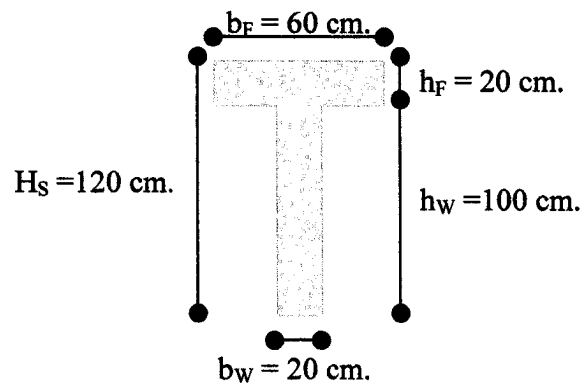
ANEXO No. 0601

**EJEMPLO NUMERICO RESUELTO MANUALMENTE PARA
EL CALCULO DE VIGAS PARCIALMENTE PREESFORZADAS**

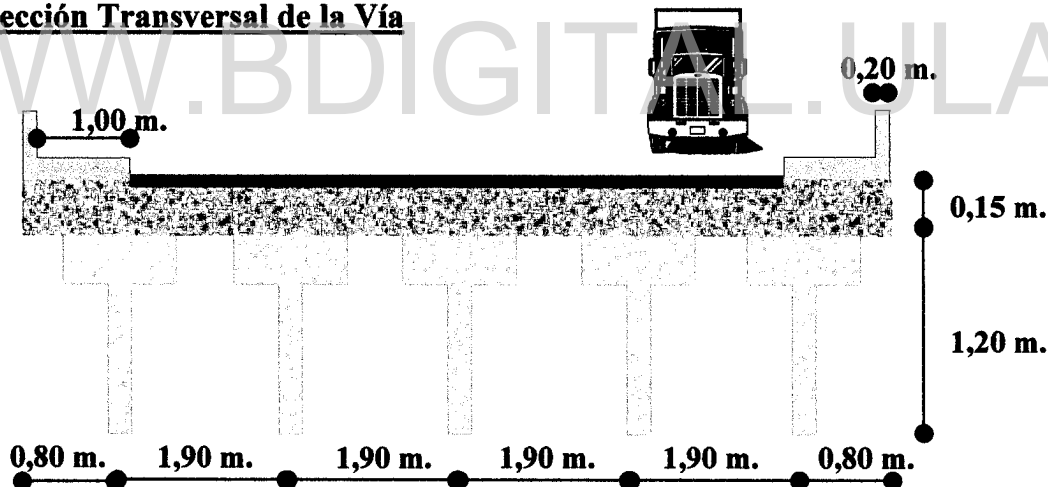
DATOS:

Figura A101
Detalles Geométricos del Problema

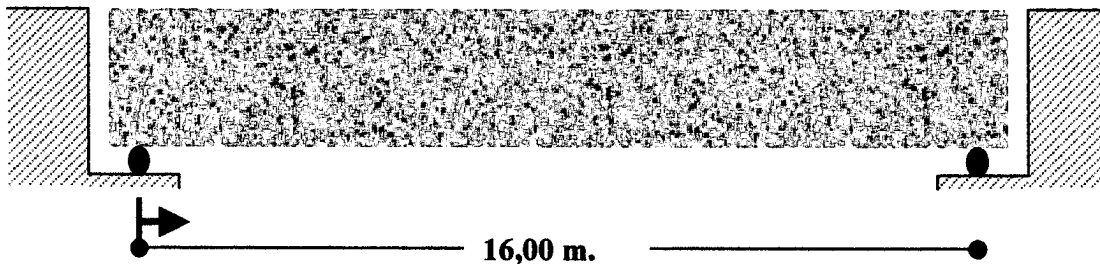
De la Sección



De la Sección Transversal de la Vía



Del Perfil Longitudinal de Viga



En la Tabla No. A101, describen la totalidad de datos requeridos para realizar el problema planteado.

Tabla No. A101
Datos del Diseño

Descripción del Dato	Variable	Magnitud	Unidades
<u>De las Vigas</u>			
Tipo de Viga	T_V	"Exterior"	adimensional
Numero de Vigas	N_V	4	vigas
Separación entre Vigas	S_V	1,90	m.
Longitud de Vigas	L_V	16,00	m.
<u>De las Cargas</u>			
Espesor de la Losa	e_L	15,00	cm.
Volado extremo de la Losa	v	0,80	m.
Distancia entre Separadores	L_S	6,00	m.
Peso de cada Separador	P_S	700,00	kgs.
Ancho de la Acera	a_a	1,00	m.
Peso de la Acera	P_a	250,00	kg./m.
Ancho de la Baranda	a_b	0,20	m.
Peso de la Baranda	P_b	250,00	kg./m.
Espesor del Pavimento	e_P	5,00	cm.
Carga resultante del camión HS20-44	P_O	7258,00	kg.
<u>Propiedades de los Materiales</u>			
Resistencia Inicial del Concreto de la Viga	f'_{CI}	280,00	kg./cm ² .
Resistencia Final del Concreto de la Viga	f'_C	380,00	kg./cm ² .
Resistencia del Concreto de la Losa	f'_{CL}	250,00	kg./cm ² .
Peso Especifico del Concreto	γ_C	2400,00	kg./m ³ .
Peso Especifico del Pavimento	γ_P	2300,00	kg./m ³ .
Resistencia Ultima del Acero de Preesfuerzo	f_{PU}	18983,00	kg./cm ² .
Recubrimiento del Acero de Preesfuerzo	r_{PS}	12,00	cm.
Modulo de Elasticidad del Acero de Preesfuerzo	E_{PS}	1900000	kg./cm ² .
Limite Elástico del Acero de Refuerzo	f_Y	18983,00	kg./cm ² .
Recubrimiento del Acero de Refuerzo	r_S	12,00	cm.
Modulo de Elasticidad del Acero de Refuerzo	E_S	2000000	kg./cm ² .
<u>Coefficientes y Factores</u>			
Factor Mayo ración por Carga Viva de Venezuela	K_{VZLA}	1,20	adimensional
Factor de Ineficacia por Flexión	γ_F	0,90	adimensional
Factor de Ineficacia por Flexión	γ_C	0,85	adimensional
Coefficiente de Perdidas asumido	η	0,85	adimensional
Humedad Relativa	RH	60,00	%.
Coefficiente de Deflexión Diferida	λ	2,00	adimensional
Coefficiente de fatiga para Conectores	α	387,00	adimensional

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

PROCEDIMIENTO:

Nota Previa:

Los cálculos realizados en el procedimiento indicado a continuación se realizan usando 8 cifras decimales.

CALCULOS PRELIMINARES

Chequeo de la Resistencia Final del Concreto.

$$f'_c = 380 \text{ kg/cm}^2. \quad > \quad 350 \text{ kg/cm}^2. \quad \Rightarrow \quad \text{OK}$$

Ancho Participante de la Losa.

$$b_p = \text{MINIMO} \left[\begin{array}{l} \frac{190}{2} + 80 = 175 \\ 80 + \frac{20}{2} + 6 * 15 = 180 \\ 80 + \frac{20}{2} + \frac{1600}{12} = 223,33 \end{array} \right] * \sqrt{\frac{280}{380}} = 141,94 \text{ cm.}$$

Características Geométricas de la Sección.

En la Tabla No. A102, se indican los resultados de las características geométricas, tanto para sección sencilla como para compuesta.

Tabla No. A102
Características Geométricas de la Sección

SECCION SENCILLA			SECCION COMPUESTA		
Variable	Magnitud	Unidades	Variable	Magnitud	Unidades
A _C	3200,00	cm ² .	A _{CT}	5329,16	cm ² .
I	4406666,67	cm ⁴ .	I _T	8314035,83	cm ⁴ .
Y _I	72,50	cm.	Y _{IT}	94,47	cm.
Y _S	47,50	cm.	Y _{ST}	25,53	cm.
W _I	60781,61	cm ³ .	W _{IT}	88003,30	cm ³ .
W _S	92771,93	cm ³ .	W _{ST}	325710,23	cm ³ .
K _I	28,99	cm.	K _{IT}	61,12	cm.
K _S	18,99	cm.	K _{ST}	16,51	cm.

Puntos de Diseño.

En la Tabla No. A103 se describen en orden ascendente los puntos de diseño que se deben analizar en el ejemplo numérico, para satisfacer las exigencias técnicas indicadas en el marco teórico de este trabajo. Los cálculos a realizar para la totalidad de los puntos (ocho), por la densidad y la magnitud

Licencia Creative Commons.

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

resultarían demasiado laboriosos y sobre todo repetitivo, por lo tanto, los cálculos a realizarse en el problema se limitaran a dos puntos:

$$I = 2 \Rightarrow x = 0,60 \text{ m. y } i = 6 \Rightarrow x = 6,40 \text{ m.}$$

Tabla No. A103
Puntos de Diseño

I	Puntos de Diseño							
	1	2	3	4	5	6	7	8
x(I) (m.)	0	0,60	1,60	3,20	4,80	6,40	7,29	8,00

Factor de Impacto Flexión.

$$F_I = 1 + \frac{15}{16 + 38} = 1,2777 < 1,30 \Rightarrow F_I = 1,28$$

Factor de Impacto Corte.

$$\text{En } x = 0,60 \text{ m.} \Rightarrow F_I^V(2) = 1 + \frac{15}{16 - 0,60 + 38} = 1,2808 < 1,30 \Rightarrow F_I = 1,28$$

$$\text{En } x = 6,40 \text{ m.} \Rightarrow F_I^V(6) = 1 + \frac{15}{16 - 6,40 + 38} = 1,3151 > 1,30 \Rightarrow F_I = 1,30$$

Factor de Rueda.

$$D_R = 1,90 + 0,80 - 1,00 - 0,20 - 0,60 = 0,90$$

$$\text{TV = Viga Exterior} \Rightarrow F_R = \frac{0,90}{1,90} = 0,4737 \Rightarrow F_R = 0,47$$

Cargas Muertas Uniformes.

$$\text{Peso Propio} \quad Q_G = 3200 * 2400 * 10^{-4} = 768,00 \text{ kg./m.}$$

$$\text{Aceras y Barandas} \quad Q_{AB} = \frac{250 + 250}{4} * 2 = 250,00 \text{ kg./m.}$$

$$\text{Pavimento} \quad a_P = (4 - 1) * 1,90 + 2 * (0,80 - 1,00 - 0,20) = 4,90 \text{ m.}$$

$$Q_P = \frac{4,90 * 0,05 * 2300}{4} = 140,875 \Rightarrow Q_P = 140,88 \text{ kg./m.}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Aceras, Barandas y Pavimento $Q_A = 250,00 + 140,88 = 390,88 \text{ kg./m.}$

Losa $T_V = \text{Viga Exterior} \Rightarrow Q_L = \frac{(1,90 + 0,80)^2 * 0,15 * 2400}{2 * 1,90} = 690,63 \text{ kg./m.}$

Cargas Vivas Actuantes.

En Flexión $\Rightarrow P_{cv} = 7258 * 1,20 * 0,47 * 1,28 = 5271,60 \text{ kg.}$

En Corte $\Rightarrow P_{cvc} = 7258 * 1,20 * 0,47 = 4125,60 \text{ kg.}$

Cortes y Momentos debidos a Cargas Muertas Uniformes.

Para $x = 0,60 \text{ m.}$

$$M_G = \frac{768,00 * 0,60}{2} * (16 - 0,60) = 3548,16 \text{ kg.- m.} \quad V_G = 768 * \left(\frac{16}{2} - 0,60 \right) = 5683,20 \text{ kg}$$

$$M_L = \frac{690,63 * 0,60}{2} * (16 - 0,60) = 3190,72 \text{ kg.- m.} \quad V_L = 690,63 * \left(\frac{16}{2} - 0,60 \right) = 5110,67 \text{ kg.}$$

$$M_A = \frac{390,88 * 0,60}{2} * (16 - 0,60) = 1805,84 \text{ kg.- m.} \quad V_A = 390,88 * \left(\frac{16}{2} - 0,60 \right) = 2892,51 \text{ kg.}$$

Para $x = 6,40 \text{ m.}$

$$M_G = \frac{768,00 * 6,40}{2} * (16 - 6,40) = 23592,96 \text{ kg.- m.} \quad V_G = 768 * \left(\frac{16}{2} - 6,40 \right) = 1228,80 \text{ kg.}$$

$$M_L = \frac{690,63 * 6,40}{2} * (16 - 6,40) = 21216,20 \text{ kg.- m.} \quad V_L = 690,63 * \left(\frac{16}{2} - 6,40 \right) = 1105,01 \text{ kg.}$$

$$M_A = \frac{390,88 * 6,40}{2} * (16 - 6,40) = 12007,68 \text{ kg.- m.} \quad V_A = 390,88 * \left(\frac{16}{2} - 6,40 \right) = 625,40 \text{ kg.}$$

Cortes y Momentos debidos a los Separadores.

Para $x = 0,60 \text{ m.}$

$$\frac{16 - 6}{2} = 5 > 0,60 \Rightarrow M_E = 700 * 0,60 = 420,00 \text{ kg.- m.} \quad V_E = 700 \text{ kg.}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Para $x = 6,40$ m.

$$\frac{16-6}{2} = 5 < 6,40 \Rightarrow M_E = 700 * 5 = 3500,00 \text{ kg.- m} \quad V_E = 0 \text{ kg.}$$

Cortes Negativos debidos a Carga Viva.

Para $x = 0,60$ m. $\Rightarrow 0,60 < 4,27$

$$V_1 = -\frac{4125,60}{4 * 16} * 0,60 * 1,28 = -49,54 \text{ kg.}$$

$$V_2 = -\frac{4125,60}{4 * 16} * (5 * 0,60 - 16 + 4,27) * 1,28 = 720,33 \text{ kg}$$

$$V_N = \text{MINIMO}[V_1, V_2] = -49,54 \text{ kg}$$

Para $x = 6,40$ m. $\Rightarrow 4,27 < 6,40 < 8,54$

$$V_1 = -\frac{4125,60}{4 * 16} * (5 * 6,40 - 17,08) * 1,30 = -1250,32 \text{ kg.}$$

$$V_2 = -\frac{4125,60}{4 * 16} * (9 * 6,40 - 16 - 12,81) * 1,30 = -2412,64 \text{ kg.}$$

$$V_N = \text{MINIMO}[V_1, V_2] = -2412,64 \text{ kg.}$$

Momentos Máximos Positivos debidos a Carga Viva y sus correspondientes Cortes.

$L_V = 16$ m. $\Rightarrow L_V > 12,81$ m.

Para $x = 0,60$ m. $\Rightarrow x < L_V / 3$

$$V_P = \frac{9}{4} * \frac{4125,60}{16} * [16 - 0,60 - 2,85] * 1,28 = 9326,28 \text{ kg.}$$

$$M_P = \frac{9}{4} * \frac{5271,60}{16} * [16 - 0,60 - 2,85] * 0,60 = 5582,13 \text{ kg.- m.}$$

Para $x = 6,40$ m. $\Rightarrow x > L_V / 3$

$$V_P = \left[\frac{9}{4} * \frac{4125,60}{16} * [16 - 6,40 - 1,423] - \frac{4125,60}{4} \right] * 1,30 = 4826,37 \text{ kg.}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$M_p = \frac{9}{4} * \frac{5271,60}{16} * [16 - 6,40 - 1,423] * 6,40 - 1,07 * 5271,60 = 33154,67 \text{ kg.- m.}$$

En la Tabla No. A104 se presenta un resumen de los resultados obtenidos para los cortes y momentos

Tabla No. A104
Resumen de Cortes y Momentos Actuantes

Tipo de Carga	CORTES (kg.)		MOMENTOS(kg.-m.)	
	x=0,60 m.	x =6,40 m.	x=0,60 m.	x=6,40 m.
Peso Propio	5683,20	1228,80	3548,16	23592,96
Losa	5110,67	1105,01	3190,72	21216,20
Aceras, Brocales Pavimento	2892,51	625,40	1805,84	12007,68
Separadores	700,00	0,00	420,00	3500,00
Carga Viva Negativos	-49,54	-2412,64	-	-
Carga Viva Positivos	9326,28	4826,37	5582,13	33154,67

Cortes requeridos para el diseño.

Para x = 0,60 m.

$$V_{TOT} = 5683,20 + 5110,67 + 700,00 + 2892,51 + 9326,28 = 23712,62 \text{ kg.}$$

$$V_{ULT} = 1,30 * \left[5683,20 + 5110,67 + 2892,51 + 700 + \frac{5}{3} * 9326,28 \right] = 38909,23 \text{ kg.}$$

$$V_I = 1,30 * \left[2892,51 + \frac{5}{3} * 9326,28 \right] = 23967,15 \text{ kg.}$$

$$V_{CON} = 9326,28 - (-49,54) = 9375,82 \text{ kg.}$$

Para x = 6,40 m.

$$V_{TOT} = 1228,8 + 1105,01 + 0,00 + 625,40 + 4826,37 = 7785,58 \text{ kg.}$$

$$V_{ULT} = 1,30 * \left[1228,80 + 1105,01 + 625,40 + 0 + \frac{5}{3} * 4826,37 \right] = 14304,11 \text{ kg.}$$

$$V_I = 1,30 * \left[625,40 + \frac{5}{3} * 4826,37 \right] = 11270,15 \text{ kg.}$$

$$V_{CON} = 4826,37 - (-2412,64) = 7239,00 \text{ kg.}$$

Momentos requeridos para el diseño.

Para $x = 0,60$ m.

$$M_{LS} = 3190,72 + 420,00 = 3610,72 \text{ kg-m.}$$

$$M_{MT} = 3548,16 + 3190,72 + 420,00 + 1805,84 = 8964,72 \text{ kg-m.}$$

$$M_{TOT} = 3548,16 + 3190,72 + 420,00 + 1805,84 + 5582,13 = 14546,85 \text{ kg-m.}$$

$$M_{UACT} = 1,4 * [3548,16 + 3190,72 + 420,00 + 1805,84 +] + 1,7 * 5582,13 = 22040,23 \text{ kg-m.}$$

$$M_{MAX} = 1,30 * \left[1805,84 + \frac{5}{3} * 5582,13 \right] = 14442,21 \text{ kg-m.}$$

Para $x = 6,40$ m.

$$M_{LS} = 21216,14 + 3500,00 = 24716,20 \text{ kg-m.}$$

$$M_{MT} = 23592,96 + 21216,14 + 3500,00 + 12007,68 = 60316,84 \text{ kg-m.}$$

$$M_{MT} = 23592,96 + 21216,14 + 3500,00 + 12007,68 + 33154,67 = 93471,52 \text{ kg-m.}$$

$$M_{UACT} = 1,4 * [23592,96 + 21216,14 + 3500,00 + 12007,68] + 1,7 * 33154,67 = 140806,52 \text{ kg-m.}$$

$$M_{MAX} = 1,30 * \left[12007,68 + \frac{5}{3} * 33154,67 \right] = 87445,11 \text{ kg-m.}$$

Esfuerzos Admisibles en el Concreto.

$$\text{Compresión Inicial} \quad f_{II} = 0,55 * 280,00 = 154,00 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\text{Tracción Inicial} \quad f_{SI} = 0,8 * \sqrt{280,00} = 13,39 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Compresión Final} \quad f_{SF} = 0,40 * 380,00 = 152,00 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tracción Inicial} \quad f_{IF} = 1,6 * \sqrt{380,00} = 31,18 \text{ kg/cm}^2$$

Chequeo de los Módulos Resistentes Mínimos.

Este calculo solo se realiza para el centro de la luz (x = 8,00 m.); los valores requeridos para los cálculos se indican en la Tabla No. A105:

Tabla No. A105
Solicitaciones en el Centro de la Luz

MOMENTOS				COEFICIENTE DE PERDIDAS (η)
Peso Propio (M_g)	Carga Muerta (M_{mt})	Total (M_{tot})	Ultimo (M_{uac})	
(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	(kg-m)	(adimensional)
24576,00	62684,21	96048,83	144477,74	0,85

$$W_{s_{MIN}} = \frac{(96048,83 - 0,85 * 24576,00) * 100}{13,39 + *0,85 * 152,00} = 46368,90 < 92771,93 \Rightarrow \text{OK}$$

$$W_{i_{MIN}} = \frac{(96048,83 - 0,85 * 24576,00) * 100}{154,00 + *0,85 * 31,18} = 46003,11 < 60781,61 \Rightarrow \text{OK}$$

DISEÑO A FLEXIÓN USANDO EL MÉTODO RPP.

En virtud que en el programa se elige en todas las secciones para el acero de refuerzo, aquel diámetro que resulte ser mas económico ($A_s^{CALCULO} \cong A_s^{COMERCIAL}$) en la sección central, se incluye este proceso como parte del problema. El diámetro de acero de preesfuerzo es una entrada del programa.

En x = 8,00 m.

$$d_{ps} = 120,00 - 12,00 = 108,00 \text{ cm.}$$

$$d_s = 120,00 - 5,00 = 115,00 \text{ cm.}$$

$$f_c = 380 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \beta_1 = 1,05 - \frac{380}{1400} = 0,7786 \Rightarrow 0,78 < 0,65 \Rightarrow \text{OK}$$

$$RPP = \frac{62684,21}{96048,83} = 0,6526 \Rightarrow 0,65$$

$$d = 0,65 * 108,00 + (1 - 0,65) * 115,00 = 110,43 \text{ cm.}$$

$$k = \frac{144477,74 * 100}{0,90 * 60 * (110,43)^2 * 380,00} = 0,0577 \Rightarrow \bar{w} = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36 * 0,0577}}{1,18} = 0,05985$$

$0,36 * 0,78 = 0,28 > 0,05985 \Rightarrow$ La sección es satisfactoria por la Norma del ACI

$$c = 1,18 * \frac{0,05985 * 110,43}{0,78} = 10,0167 \Rightarrow 10,02 \text{ cm.} > 20 \Rightarrow \text{Sección se comporta como Rectangular}$$

$$C_N = 0,05985 * 60 * 110,43 * 380 = 150687,57 \text{ kg.}$$

$$F_U = 150687,57 * 0,65 = 98347,02 \text{ kg.} \quad T_U = 150687,57 * (1 - 0,65) = 52344,55 \text{ kg.}$$

$$f_{ps} = 18983,00 * \left(1 - 0,3 * \frac{10,02}{110,43}\right) = 18466,44 \text{ kg/cm}^2.$$

$$A_{ps} = \frac{98347,02}{18466,44} = 5,33 \Rightarrow 6\Theta(1/2'') \Rightarrow A_{ps} = 5,92 \text{ cm}^2.$$

$$A_s = \frac{52344,55}{4200,00} = 12,462988 \text{ cm}^2.$$

En la Tabla No. A106 se realiza el análisis económico que arroja como resultado que el diámetro recomendable para el acero de refuerzo es 5/8".

Tabla No. A106
Análisis Económico Acero Refuerzo

Diámetro	Área	Cantidad Calculada	Cantidad Real	Area Real	Observaciones
(plgs)	(cm ²)	(uds)	(uds)	(cm ²)	
5/8	1,98	6,2944	7	13,86	Se elige este diámetro, ya que el área es la que da mas próxima al Área de calculo
3/4	2,84	4,3884	5	14,20	
7/8	3,87	3,2204	4	15,48	

En $x = 0,60$ m.

$$RPP = \frac{8964,72}{14546,85} = 0,6162 \Rightarrow 0,62$$

$$d = 0,62 * 108,00 + (1 - 0,62) * 115,00 = 110,69 \text{ cm.}$$

$$k = \frac{22040,23 * 100}{0,90 * 60 * (110,69)^2 * 380,00} = 0,008767 \Rightarrow \bar{w} = \frac{1 - \sqrt{1 - 2,36 * 0,0088}}{1,18} = 0,008813$$

$0,36 * 0,78 = 0,28 > 0,0088 \Rightarrow$ La sección es satisfactoria por la Norma del ACI

$$c = 1,18 * \frac{0,0088 * 110,69}{0,78} = 1,4784 \Rightarrow 1,48 \text{ cm.} > 20 \Rightarrow \text{Sección se comporta como Rectangular}$$

$$C_N = 0,0088 * 60 * 110,69 * 380 = 22240,49 \text{ kg.}$$

$$F_u = 22240,49 * 0,62 = 13706,05 \text{ kg.} \quad T_u = 22240,49 * (1 - 0,62) = 8534,45 \text{ kg.}$$

$$f_{ps} = 18983,00 * \left(1 - 0,3 * \frac{1,48}{110,69}\right) = 18906,93 \text{ kg/cm}^2.$$

$$A_{ps} = \frac{13706,05}{18906,93} = 0,72 \Rightarrow 1\phi(1/2'') \Rightarrow A_{ps} = 0,99 \text{ cm}^2.$$

$$A_s = \frac{8534,45}{4200,00} = 2,03 \Rightarrow 2\phi(5/8'') \Rightarrow A_s = 3,96 \text{ cm}^2.$$

$$\bar{w} = \frac{0,99 * 18906,93 + 3,96 * 4200,00}{60 * 110,69 * 380,00} = 0,01398499 \Rightarrow 0,014$$

$$f_{ps} = 18983,00 * \left(1 - 0,354 * \frac{0,014}{0,85}\right) = 18862,29 \text{ kg/cm}^2.$$

$$a = \frac{0,99 * 18862,29 + 3,96 * 4200,00}{0,85 * 380,00 * 60,00} = 1,81883815 \Rightarrow 1,82 \text{ cm.}$$

$$RPP = \frac{0,99 * 18862,29 * \left[108,00 - \frac{1,82}{2}\right]}{0,99 * 18862,29 * \left[108,00 - \frac{1,82}{2}\right] + 3,96 * 4200,00 * \left[115,00 - \frac{1,82}{2}\right]} = 0,51235583 \Rightarrow 0,51$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$d = 0,51 * 108,00 + (1 - 0,51) * 115,00 = 111,41 \text{ cm.}$$

$$M_{UR} = \frac{(0,90 * 380,00 * 60,00 * (111,41)^2 * 0,01 * (1 - 0,59 * 0,01))}{100} = 35328 \text{ kg-m.}$$

$$35828 > 22040,23 \Rightarrow M_{UR} > M_{UAC} \Rightarrow \text{OK} \Rightarrow \text{Se acepta el valor calculado de "d"}$$

$$\text{En } x = 6,40 \text{ m.}$$

$$RPP = \frac{60316,84}{93471,52} = 0,645 \Rightarrow 0,65$$

$$d = 0,65 * 108,00 + (1 - 0,65) * 115,00 = 110,48 \text{ cm.}$$

$$k = \frac{140806,52 * 100}{0,90 * 60 * (110,48)^2 * 380,00} = 0,0562 \Rightarrow \bar{w} = \frac{1 - [1 - 2,36 * 0,0562]}{1,18} = 0,058214$$

$$0,36 * 0,78 = 0,28 > 0,0582 \Rightarrow \text{La sección es satisfactoria por la Norma del ACI}$$

$$c = 1,18 * \frac{0,0582 * 110,48}{0,78} = 9,75 \text{ cm.} > 20 \Rightarrow \text{Sección se comporta como Rectangular}$$

$$C_N = 0,0582 * 60 * 110,48 * 380,00 = 146643,87 \text{ kg.}$$

$$F_U = 146643,87 * 0,65 = 94628,78 \text{ kg.} \quad T_U = 146643,87 * (1 - 0,65) = 52015,09 \text{ kg.}$$

$$f_{ps} = 18983,00 * \left(1 - 0,3 * \frac{9,75}{110,48}\right) = 18480,54 \text{ kg/cm}^2.$$

$$A_{ps} = \frac{94628,78}{18480,54} = 5,12 \Rightarrow 6\Phi(1/2") \Rightarrow A_{ps} = 5,92 \text{ cm}^2.$$

$$A_s = \frac{52015,09}{4200,00} = 12,38 \Rightarrow 7\Phi(5/8") \Rightarrow A_s = 13,86 \text{ cm}^2.$$

Esta cantidad de acero de refuerzo ($A_s = 7\Phi(5/8")$) no cabe en una capa, se debe rectificar el valor de la altura útil de la sección en ese punto de diseño. Al realizar los cálculos para dos capas de acero de refuerzo, se nota que la modificación de los valores es mínima. En la Tabla No. A107 se presentan los valores obtenidos con una y dos capas, y la diferencia porcentual.

$$\bar{w} = \frac{5,92 * 18480,54 + 13,86 * 4200,00}{60 * 110,48 * 380,00} = 0,06655 \Rightarrow 0,067$$

$$f_{ps} = 18983,00 * \left(1 - 0,354 * \frac{0,067}{0,85}\right) = 18408,55 \text{ kg/cm}^2.$$

$$a = \frac{5,92 * 18408,55 + 13,86 * 4200,00}{0,85 * 380,00 * 60,00} = 8,63 \text{ cm.}$$

$$RPP = \frac{5,92 * 18408,55 * \left[108,00 - \frac{8,63}{2}\right]}{5,92 * 18408,55 * \left[108,00 - \frac{8,63}{2}\right] + 13,86 * 4200,00 * \left[115,00 - \frac{8,63}{2}\right]} = 0,64$$

$$d = 0,64 * 108,00 + (1 - 0,64) * 115,00 = 110,54 \text{ cm.}$$

$$M_{UR} = \frac{(0,90 * 380,00 * 60,00 * (110,54)^2 * 0,07 * (1 - 0,59 * 0,07))}{100} = 160330 \text{ kg-m.}$$

$$160330 > 140806,52 \Rightarrow M_{UR} > M_{UAC} \Rightarrow \text{OK} \Rightarrow \text{Se acepta el valor calculado de "d"}$$

Tabla No. A107
Variación Resultados por Numero de Capas del Acero de Refuerzo

	ALTURA UTIL	AREA ACERO COMERCIAL	MOMENTO ULTIMO RESISTENTE
Descripción	(cm)	(cm ²)	(kg-m)
Una Capa	110,54	13,86	160330,00
Dos Capas	109,61	13,86	158817,00
Diferencia Porcentual	<1%	0%	<1%

Perdidas de Preesfuerzo.

$$e_{ps} = 108,00 - 47,50 = 60,50 \text{ cm.}$$

$$e_{PT} = 108,00 - 25,53 = 82,47 \text{ cm.}$$

$$r_G = \sqrt{\frac{4406666,67}{3200,00}} = 37,11 \text{ cm.}$$

$$E_{CI} = 15000 * \sqrt{280,00} = 250998,01 \text{ kg/cm}^2.$$

$$E_C = 15000 * \sqrt{380,00} = 292403,83 \text{ kg/cm}^2.$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Para $x = 0,60$ m.

$$f_{PS}^{INICIAL} = \frac{13706,05}{0,99} = 13886,57 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{CIR} = \frac{13706,05}{3200,00} + \frac{13706,05 * (60,50)^2}{4406666,67} - \frac{3548,16 * 100 * 60,50}{4406666,67} = 10,7963 \Rightarrow 10,80 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{CDS} = \left(\frac{3610,72 * 60,50}{4406666,67} + \frac{1805,84 * 82,47}{8314035,83} \right) * 100 = 6,7486 \Rightarrow 6,75 \text{ kg/cm}^2.$$

$$ES = 10,80 * \frac{1900000}{250998,01} = 81,7254 \Rightarrow 81,73 \text{ kg/cm}^2.$$

$$SH = 0,8 * (1195 - 10,55 * 60) = 449,60 \text{ kg/cm}^2.$$

$$CR_C = 12 * 10,80 - 7 * 6,75 = 82,32 \text{ kg/cm}^2.$$

$$CR_S = 1406 - 0,4 * 81,73 - 0,2 * (449,60 + 82,32) = 1266,93 \text{ kg/cm}^2..$$

$$\Delta f_{PS}^{PERD} = 81,73 + 449,60 + 82,32 + 1266,93 = 1880,57 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PS}^{FINAL} = 13886,57 - 1880,57 = 12006,00 \text{ kg/cm}^2.$$

$$F_{PS}^{FINAL} = 12006,00 * 0,99 = 11849,93 \text{ kg}.$$

Para $x = 6,40$ m

$$f_{PS}^{INICIAL} = \frac{94628,78}{5,92} = 15979,19 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{CIR} = \frac{15979,19}{3200,00} + \frac{15979,19 * (60,50)^2}{4406666,67} - \frac{23592,96 * 100 * 60,50}{4406666,67} = 75,78 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{CDS} = \left(\frac{24716,20 * 60,50}{4406666,67} + \frac{12007,68 * 82,47}{8314035,83} \right) * 100 = 45,84 \text{ kg/cm}^2.$$

$$ES = 75,78 * \frac{1900000}{250998,01} = 573,64 \text{ kg/cm}^2.$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$SH = 0,8 * (1195 - 10,55 * 60) = 449,60 \text{ kg/cm}^2.$$

$$CR_c = 12 * 75,78 - 7 * 45,48 = 588,45 \text{ kg/cm}^2.$$

$$CR_s = 1406 - 0,4 * 573,64 - 0,2 * (449,60 + 588,45) = 968,93 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Delta f_{PS}^{PERD} = 573,64 + 449,60 + 588,45 + 956,86 = 2580,63 \text{ kg/cm}^2..$$

$$f_{PS}^{FINAL} = 15979,19 - 2580,63 = 13398,57 \text{ kg/cm}^2.$$

$$F_{PS}^{FINAL} = 13398,57 * 5,92 = 79346,31 \text{ kg}.$$

Control de Fisuración.

Para x = 0,60 m.

$$f_{FIS} = 0,60 * 4200 * \sqrt[3]{\frac{2 * 5 * 20 * (0,625 * 2,54)}{2}} = 13644,94 \text{ kg/cm}^2. < 26000 \text{ kg/cm}^2.. \Rightarrow \text{OK}$$

Para x = 6,40 m.

$$f_{FIS} = 0,60 * 4200 * \sqrt[3]{\frac{2 * 5 * 20 * (0,625 * 2,54)}{7}} = 8987,02 \text{ kg/cm}^2. < 26000 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \text{OK}$$

ESFUERZOS DE SERVICIO Y FATIGA.

Sección no agrietada y agrietada.

Momento de Agrietamiento.

Para x = 0,60 m.

$$\text{Partel}(M_{CR}) = 4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2) = 683143,54 \text{ cm}^4.$$

$$\text{Parte2}(M_{CR}) = 0,99 * 12006,00 * (60,50 + 18,99) + 2 * 60781,61 * \sqrt{380,00} = 3311704,37 \text{ kg-cm}.$$

$$\text{Parte3}(M_{CR}) = 0,99 * (60,50 + 18,99) * 60,50 * 8964,72 * 100 = 4255445257 \text{ kg-cm}^5.$$

$$\text{Parte4}(M_{CR}) = 4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50 * 18,99) = 678396,66 \text{ cm}^4.$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$M_{CR} = \frac{683143,54 * 3311704,37 - 4255445257}{678396,66} = 3328604,24 \text{ kg-cm.}$$

Para $x = 6,40 \text{ m.}$

$$\text{Parte1}(M_{CR}) = 4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 5,92 * (37,11^2 + 60,50^2) = 708002,78 \text{ cm}^4.$$

$$\text{Parte2}(M_{CR}) = 5,92 * 13398,57 * (60,50 + 18,99) + 2 * 60781,61 * \sqrt{380,00} = 8677278,66 \text{ kg-cm.}$$

$$\text{Parte3}(M_{CR}) = 5,92 * (60,50 + 18,99) * 60,50 * 60316,84 * 100 = 171790089367 \text{ kg-cm}^5.$$

$$\text{Parte4}(M_{CR}) = 4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 5,92 * (37,11^2 + 60,50 * 18,99) = 679521,50 \text{ cm}^4.$$

$$M_{CR} = \frac{708002,78 * 8677278,66 - 171790089367}{679521,50} = 8788165,39 \text{ kg-cm.}$$

Esfuerzos de Control de los Materiales.

Acero Preesforzado $f_{PS}^{ADM.} = 0,70 * 18983,00 = 13288,10 \text{ kg/cm}^2.$

$$\Delta f_{PS}^{ADM.} = 0,12 * 18983,00 = 2277,96 \text{ kg/cm}^2.$$

Acero de Refuerzo $f_s^{ADM.} = 0,50 * 4200,00 = 2100,00 \text{ kg/cm}^2.$

$$f_s^{ADM.} = 1400,00 \text{ kg/cm}^2.$$

Concreto $-31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \text{ kg/cm}^2.$

Para $x = 0,60 \text{ m.}$

$$f_{MIN} = 11849,53 * \left(\frac{1}{3200,00} + \frac{60,50^2}{4406666,67} \right) - \frac{8964,72 * 100 * 60,50}{4406666,67} = 1,24 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Delta f_C^{ADM.} = 0,40 * 380,00 - \frac{1,24}{2} = 151,38 \text{ kg/cm}^2.$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Para $x = 6,40$ m.

$$f_{\text{MIN}} = 79346,51 * \left(\frac{1}{3200,00} + \frac{60,50^2}{4406666,67} \right) - \frac{60316,84 * 100 * 60,50}{4406666,67} = 7,89 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Delta f_{\text{C}}^{\text{ADM.}} = 0,40 * 380,00 - \frac{7,89}{2} = 148,06 \text{ kg/cm}^2.$$

Análisis de los Casos de Carga

Para $x = 0,60$ m.

1) Caso $F + M_{\text{MT}} \Rightarrow M_{\text{MT}} = 8964,72 < 33286,04 = M_{\text{CR}} \Rightarrow$ No Agrietada

$$f_{\text{PS}} = 12006,00 + \frac{(8964,72 - 8964,72) * 100 * 60,50}{4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2)} = 12006,00 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{\text{PS}} < 13288,10 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{\text{CNS}} = 12006,00 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 + \frac{60,50 * (115 - 47,50)}{37,11^2} \right) - \frac{8964,72 * 100 * (115 - 47,50)}{4406666,67} = 0,95 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{\text{s}} = -\frac{2000000}{292403,83} * 0,95 = -6,52 \text{ kg/cm}^2. < 2100 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{\text{CT}} = 12006,00 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 - \frac{60,50}{28,99} \right) + \frac{8964,72 * 100 * 47,50}{4406666,67} = 5,64 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Rightarrow -31,18 \leq f_{\text{CT}} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

2) Caso $F + M_{\text{MT}} + 0,45 * M_{\text{P}} \Rightarrow M_{\text{MT}} + 0,45 * M_{\text{P}} = 11476,68 < 33286,04 = M_{\text{CR}} \Rightarrow$ No Agrietada

$$f_{\text{PS}} = 12006,00 + \frac{(11476,68 - 8964,72) * 100 * 60,50}{4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2)} = 12028,25 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{\text{PS}} < 13288,10 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{\text{CNS}} = 12028,25 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 + \frac{60,50 * (115 - 47,50)}{37,11^2} \right) - \frac{11476,68 * 100 * (115 - 47,50)}{4406666,67} = -2,87 \text{ kg/cm}^2.$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$f_s = -\frac{2000000}{292403,83} * (-2,87) = 19,61 \text{ kg/cm}^2. < 2100 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CT} = 12028,25 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 - \frac{60,50}{28,99}\right) + \frac{11476,68 * 100 * 47,50}{4406666,67} = 8,34 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Rightarrow -31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{PS} = 12028,25 - 12006,00 = 22,25 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{PS} < 2277,96 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_s = 19,61 - (-6,52) = 26,13 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_s < 1400,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{CT} = 8,34 - (5,64) = 2,70 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{CT} < 151,38 \Rightarrow \text{OK}$$

3) Caso $F + M_{MT} + 0,70 * M_P \Rightarrow M_{MT} + 0,70 * M_P = 12872,21 < 33286,04 = M_{CR} \Rightarrow$ No Agrietada

$$f_{PS} = 12006,00 + \frac{(12872,21 - 8964,72) * 100 * 60,50}{4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2)} = 12040,61 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PS} < 13288,10 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CNS} = 12040,61 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 + \frac{60,50 * (115 - 47,50)}{37,11^2}\right) - \frac{12872,21 * 100 * (115 - 47,50)}{4406666,67} = -4,99 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_s = -\frac{2000000}{292403,83} * (-4,99) = 34,13 \text{ kg/cm}^2. < 2100 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CT} = 12040,61 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 - \frac{60,50}{28,99}\right) + \frac{12872,21 * 100 * 47,50}{4406666,67} = 9,84 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Rightarrow -31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{PS} = 12040,61 - 12006,00 = 34,61 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{PS} < 2277,96 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_s = 34,13 - (-6,52) = 40,65 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_s < 1400,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{CT} = 9,84 - (5,64) = 4,20 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{CT} < 151,38 \Rightarrow \text{OK}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

4) Caso $F + M_{MT} + M_P \Rightarrow M_{MT} + M_P = 14546,85 < 33286,04 = M_{CR} \Rightarrow$ No Agrietada

$$f_{PS} = 12006,00 + \frac{(14546,85 - 8964,72) * 100 * 60,50}{4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2)} = 12055,44 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PS} < 13288,10 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CNS} = 12055,44 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 + \frac{60,50 * (115 - 47,50)}{37,11^2} \right) - \frac{14546,85 * 100 * (115 - 47,50)}{4406666,67} = -7,54 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_s = -\frac{2000000}{292403,83} * (-7,54) = 51,55 \text{ kg/cm}^2 < 2100 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CT} = 12055,44 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 - \frac{60,50}{28,99} \right) + \frac{14546,85 * 100 * 47,50}{4406666,67} = 11,64 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Rightarrow -31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{PS} = 12055,44 - 12006,00 = 49,44 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \Delta f_{PS} < 2277,96 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_s = 51,55 - (-6,52) = 58,07 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \Delta f_s < 1400,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{CT} = 11,64 - (5,64) = 6,00 \text{ kg/cm}^2 \Rightarrow \Delta f_{CT} < 151,38 \Rightarrow \text{OK}$$

5) Caso $F + M_{CR} \Rightarrow M_{CR} \Rightarrow$ sección No Agrietada

$$f_{PS} = 12006,00 + \frac{(33286,04 - 8964,72) * 100 * 60,50}{4406666,67 * \frac{292403,83}{1900000,00} + 0,99 * (37,11^2 + 60,50^2)} = 12221,40 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PS} < 13288,10 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_{CNS} = 12221,40 * \frac{0,99}{3200} * \left(1 + \frac{60,50 * (115 - 47,5)}{37,11^2} \right) - \frac{33286,04 * 100 * (115 - 47,5)}{4406666,67} = -36,04 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_s = -\frac{2000000}{292403,83} * (-36,04) = 246,50 \text{ kg/cm}^2 < 2100 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Rightarrow -31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$\Delta f_{ps} = 12221,40 - 12006,00 = 215,39 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{ps} < 2277,96 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_s = 246,50 - (-6,52) = 253,02 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_s < 1400,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$\Delta f_{CT} = 31,78 - (5,64) = 26,14 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{CT} < 151,38 \Rightarrow \text{OK}$$

6) Caso $F + M_{CR} \Rightarrow M_{CR} \Rightarrow$ sección Agrietada

$$\frac{79052}{3328604,24} * c^3 + \left(20 - \frac{25612989}{3328604,24}\right) * c^2 + \left(1667 - \frac{1,8548E+09}{3328604,24}\right) * c - \left(23615 + \frac{-1,7444E+10}{3328604,24}\right) = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow c \cong 14 \text{ cm.}$$

$$f_{CT} = \frac{1900000 * 0,99 * 14 * 0,00625}{\frac{60 * 14^2}{2} - \left(\frac{60 - 20}{2}\right) * (14 - 20)^2 - 0,99 * \frac{1900000}{292403,83} * (108 - 14) - 3,96 * \frac{2000000}{292403,83} * (115 - 14)} =$$

$$\Rightarrow f_{CT} = 80,63 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow -31,18 \leq f_{CT} \leq 152,00 \Rightarrow \text{OK}$$

$$f_s = \frac{2000000}{292403,83} * \left(\frac{115 - 14}{14}\right) * 80,63 = 3900,86 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow f_s > 2100 \Rightarrow \text{NO OK}$$

$$f_{ps} = 1900000 * 0,00625 + \frac{1900000}{292403,83} * \left(\frac{108 - 14}{14}\right) * 20,39 = 15462,41 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Rightarrow f_{ps} > 13288,10 \Rightarrow \text{NO OK}$$

$$\Delta f_{ps} = 15462,41 - 12006,00 = 3456,41 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{ps} > 2277,96 \Rightarrow \text{NO OK}$$

$$\Delta f_s = 3900,86 - (-6,52) = 3907,38 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_s > 1400,00 \Rightarrow \text{NO OK}$$

$$\Delta f_{CT} = 80,63 - (5,64) = 74,99 \text{ kg/cm}^2. \Rightarrow \Delta f_{CT} < 151,38 \Rightarrow \text{OK}$$

En la Tabla No. A108 se presenta el resumen de los resultados obtenidos en la posición $x = 0,60\text{m}$.

Tabla No. A108
Resumen de Resultados de Esfuerzos en $x = 0,60$ m.

Casos de Carga	Esfuerzos Actuantes(kg/cm ² .)					
	f_{ps}	Δf_{ps}	f_s	Δf_s	f_{CT}	Δf_{CT}
$F + M_{MT}$	12006,00		-6,52		5,64	
$F + M_{MT} + 0,45 \cdot M_P$	12028,25	22,25	19,61	26,13	8,34	2,70
$F + M_{MT} + 0,70 \cdot M_P$	12040,61	34,61	34,13	40,65	9,84	4,20
$F + M_{MT} + M_P$	12055,44	49,44	51,55	58,07	11,64	6,00
$F + M_{CR}$ (No Agrietada)	12221,40	215,39	246,50	253,02	31,78	26,14
$F + M_{CR}$ (Agrietada)	15462,41	3456,4	3900,86	3907,4	74,99	80,63

Para $x = 6,40$ m.

Para este punto se realizan cálculos similares que los ejecutados en el punto anterior, y el resumen de resultados se presenta en la Tabla No. A109

Tabla No. A109
Resumen de Resultados de Esfuerzos en $x = 6,40$ m.

Casos de Carga	Esfuerzos Actuantes(kg/cm ² .)					
	f_{ps}	Δf_{ps}	f_s	Δf_s	f_{CT}	Δf_{CT}
$F + M_{MT}$	13398,57		-40,60		38,07	
$F + M_{MT} + 0,45 \cdot M_P$	13526,06	127,49	109,31	149,91	53,89	15,83
$F + M_{MT} + 0,70 \cdot M_P$	13596,88	198,32	192,60	233,20	62,68	24,62
$F + M_{MT} + M_P$ (Agrietada)	14659,82	1261,25	844,90	885,5	88,50	50,43
$F + M_{CR}$ (No Agrietada)	13634,11	235,55	236,37	276,98	37,31	29,24
$F + M_{CR}$ (Agrietada)	14453,75	1055,18	609,67	650,27	78,91	40,84

Los esfuerzos del acero de preesfuerzo sobrepasan el limite normativo, pero se consideran aceptables, ya que en ninguno de los casos de carga exceden el limite de $0,80 \cdot f_{pu}$.

Calculo de la deflexión máxima en el centro de la luz.

Se realiza sobre la sección agrietada y para el caso de $F + M_{MT} + M_P$. En la Tabla No. A110 se presentan algunos resultados, en el punto que esta ubicado en el centro de la luz ($x = 8$ m.) que no se han indicado previamente.

Tabla No. A110
Resultados en $x = 8,00$ m.

X	C	M_{MT}	M_{CR}	A_{ps}	A_s	F_{SER}
m.	cm.	kg-m.	kg-m.	cm ² .	cm ² .	kg.
8	48	96048,83	90704,87	5,92	13,86	82874,70

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Momento Agrietado de Inercia

$$I_{CR} = \frac{60 * 48^3}{3} - \frac{(60 - 20) * (48 - 20)^3}{3} + 5,92 * \frac{1900000}{292403,83} * (108 - 48)^2 + 13,86 * \frac{2000000}{292403,83} * (115 - 48)^2 =$$
$$\Rightarrow I_{CR} = 2483234.9 \text{ cm}^4.$$

Momento Efectivo de Inercia

$$I_{EF} = 2483234.9 + \left(\frac{90704,87}{96048,83} \right)^3 * (4406666,67 - 2483234.9) = 4299650.86 < 4406666,67 \Rightarrow$$

$$I_{EF} = 4299650.86 \text{ cm}^4.$$

Deflexiones instantáneas

$$\delta_F = -\frac{82874,70 * (16 * 100)^2}{8 * 292403,83 * 4299650.86} = -1,2762 \text{ cm.}$$

$$\delta_{CM} = \frac{5 * (768,00 + 690,63 + 390,88) * 10^{-2} * (16 * 100)^4}{384 * 292403,83 * 4299650.86} = 1,2553 \text{ cm.}$$

$$\delta_{SEP} = \frac{700 * (5 * 100)}{24 * 292403,83 * 4299650.86} * [3 * (16 * 100)^2 - 4 * (5 * 100)^2] = 0,0775 \text{ cm.}$$

$$\delta_{CP}^{INST} = -1,2762 + 1,2553 + 0,0775 = 0,0566 \text{ cm.}$$

$$\delta_v = \frac{5271,60 * (16 * 100)^3}{48 * 292403,83 * 4299650.86} = 0,3578 \text{ cm.}$$

Deflexiones diferidas

$$\delta_{CP}^{DIF} = 2 * 0,0566 = 0,1133 \text{ cm.}$$

Control de la Norma

$$\delta_{\text{NORMA}}^{\text{MAXIMA}} = 0,1133 + 0,3578 = 0,4711 < \frac{16 * 100}{480} = 3,33 \Rightarrow \text{OK}$$

Calculo del agrietamiento en el centro de la luz.

Solo se realiza el calculo para el caso de $F + M_{MT} + M_P$ (Mas desfavorable), en $x = 8,00$ m.

$$\beta = \frac{120 - 48}{110,54 - 48} = 1,15$$

$$A_b = (120 - 48) * 20 = 1440 \text{ cm}^2$$

$$\Sigma_o = \pi * 2,54 * \left\{ \left[7 * \frac{5}{8} \right] + \left[5 * \frac{1}{2} \right] \right\} = 54,86 \text{ cm.}$$

$$\Delta f_{PS} = 1533.60 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\omega_{\text{MAX}} = 0.145 * 10^{-5} * 5,85 * 1,15 * \frac{1440}{54,86} * 1533.60 = 0,39 \text{ mm.} \Rightarrow \omega_{\text{MAX}} > 0.33 \Rightarrow \text{NO OK}$$

$$\omega_{\text{MAX}} < 0.40 \Rightarrow \text{TOLERABLE} \Rightarrow \text{OK}$$

DISEÑO POR CORTE.

Para $x = 0,60$ m.

$$d = 111,41 > 0.8 * (120 + 15) = 108 \Rightarrow \text{OK}$$

$$V_{\text{SMAX}} = 2.12 * \sqrt{380} * 20 * 111,41 = 92086,40 \text{ kg.}$$

$$V_{\text{CONTROL}} = 1,06 * \sqrt{380} * 20 * 111,41 = 46043,20 \text{ kg.}$$

$$f_{PE} = 11849,93 * \left(\frac{1}{3200} + \frac{60,50}{60781,61} \right) = 15,50 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PC} = 11849,93 * \left(\frac{1}{5329,16} + \frac{82,47^2}{8314035,83} \right) = 11,92 \text{ kg/cm}^2.$$

$$f_{PP} = \frac{(3548,16 + 3190,72 + 420,00) * 100}{60781,61} = 11,78 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\Delta M_{CR} = \frac{8314035,83}{25,53 * 100} * (1,59 * \sqrt{380} + 15,50 - 11,78) = 113069,97 \text{ kg-m.}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$V_{CI} = 0,16 * \sqrt{380} * 20 * 111,41 + 5683,20 + 5110,67 + 23967,15 * \frac{113069,97}{14442,21} = 207385,75 \text{ kg.}$$

$$V_{CMIN} = 0,45 * \sqrt{380} * 20 * 111,41 = 19546,64 < 207385,75 \Rightarrow V_{CI} = 207385,75 \text{ kg.}$$

$$V_{CW} = (0,93 * \sqrt{380} + 0,3 * 11,92) * 20 * 111,41 = 48361,91 \text{ kg.}$$

$$V_{CW} < V_{CI} \Rightarrow V_C = 48361,91 \text{ kg.}$$

$$V_s = \frac{38909,23}{0,85} - 48361,91 = -2586,40 \Rightarrow \text{Separación Máxima}$$

$$V_s < V_{SCONTROL} \Rightarrow S_{MAX} = \text{MINIMO} \left[\begin{array}{c} 60 \\ \frac{3}{4} * 120 = 90 \end{array} \right] = 60 \text{ cm.} \Rightarrow \Phi 3/8'' \text{ de 2 Ramas c/60 cm.}$$

Para $x = 6,40 \text{ m.}$

No se calcula este punto, ya que la condición del punto anterior es mas desfavorable, por lo tanto el resultado es:

$\Rightarrow \Phi 3/8'' \text{ de 2 Ramas c/60 cm.}$

DISEÑO DE CONECTORES.

Para $x = 0,60 \text{ m.}$

Por Fatiga

$$b_c = \text{MINIMO} \left[\begin{array}{c} \left(\frac{16 * 100}{4} \right) = 400 \\ (190) \\ (12 * 15) = 180 \end{array} \right] = 180 \text{ cm.}$$

$$N_{MAX}^{HILERA} = \text{ENTERO} \left[\frac{60 - 10}{15} \right] = 3 \text{ uds.}$$

$$Q_E = 180 * 15 * \left(25,53 + \frac{15}{2} \right) = 89169,84 \text{ cm}^3.$$

$$V_{conectores} = 9375,82 \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow S_R = \frac{9375,82 * 89169,84}{8314035,83} = 100,56 \text{ kg/cm.}$$

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

- Se prueba con dos conectores de $\varnothing \frac{1}{2}$ ".

$$Z_R = 2 * [387 * (2,54 * 0,5)^2] = 2 * [624,19] = 1248,38 \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow S_{EP}^{FAT} = \frac{1248,38}{100,56} = 12,41 \cong 12 < 15 \Rightarrow \text{NO OK}$$

- Se prueba con tres conectores de $\varnothing \frac{1}{2}$ ".

$$Z_R = 3 * [624,19] = 1852,57 \text{ kg.} \Rightarrow S_{EP}^{FAT} = \frac{1852,57}{100,56} = 18,62 \cong 18 < 15 \Rightarrow \text{OK}$$

Por Resistencia

$$E_{CL} = 15000 * \sqrt{250} = 237170,82 \text{ kg/cm}^2.$$

$$C_N = 22240,49 \text{ kg.}$$

$$P = 0,85 * 250 * 180 * 15 = 573750 < 22240,49 \Rightarrow P = 22240,49 \text{ kg.}$$

$$S_U = 0,4 * (2,54 * 0,5)^2 * \sqrt{250 * 237170,82} = 4967,85 \text{ kg.}$$

$$N_{MAX}^{RES} = \frac{22240,49}{0,85 * 4967,85} = 5,26 \approx 6 \text{ Uds. entre } x = 0 \text{ y } x = 8 \text{ m.}$$

$$\text{Como se están colocando de tres en tres} \Rightarrow N_{SEP} = \frac{6}{3} = 2$$

$$\Rightarrow S_{EP}^{RES} = \frac{8 * 100}{2} = 400,00 \text{ cm.} > S_{EP}^{NORMA} = 60 \text{ cm.} \Rightarrow S_{EP}^{RES} = 60 \text{ cm.}$$

$$S_{EP}^{CON} = \text{MINIMO} \begin{bmatrix} 18 \\ 60 \end{bmatrix} = 18 \text{ cm.} \Rightarrow 3 \text{ Conectores de } \varnothing \frac{1}{2}'' \text{ cada } 18 \text{ cm.}$$

Para $x = 6,40 \text{ m.}$

Por Fatiga

$$V_{conectores} = 7239,00 \text{ kg.}$$

$$\Rightarrow S_R = \frac{7239,00 * 89169,84}{8314035,83} = 77,64 \text{ kg/cm.}$$

- Se prueba con dos conectores de $\frac{1}{2}$ ".

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

$$Z_R = 1248,38 \text{ kg.} \Rightarrow S_{EP}^{FAT} = \frac{1248,38}{77,64} = 16,08 \cong 16 > 15 \Rightarrow \text{OK}$$

Por Resistencia

$$C_N = 146643,87 \text{ kg.}$$

$$P = 0,85 * 250 * 180 * 15 = 573750 < 146643,87 \Rightarrow P = 146643,87 \text{ kg.}$$

$$S_U = 0,4 * (2,54 * 0,5)^2 * \sqrt{250 * 237170,82} = 4967,85 \text{ kg.}$$

$$N_{MAX}^{RES} = \frac{146643,87}{0,85 * 4967,85} = 34,72 \approx 35 \text{ uds. entre } x = 0 \text{ y } x = 8 \text{ m.}$$

$$\text{Como se están colocando de dos en dos} \Rightarrow N_{SEP} = \frac{35}{2} = 17,5 \cong 18$$

$$\Rightarrow S_{EP}^{RES} = \frac{8 * 100}{18} = 44,44 \text{ cm.} < S_{EP}^{NORMA} = 60 \text{ cm.} \Rightarrow S_{EP}^{RES} = 44 \text{ cm.}$$

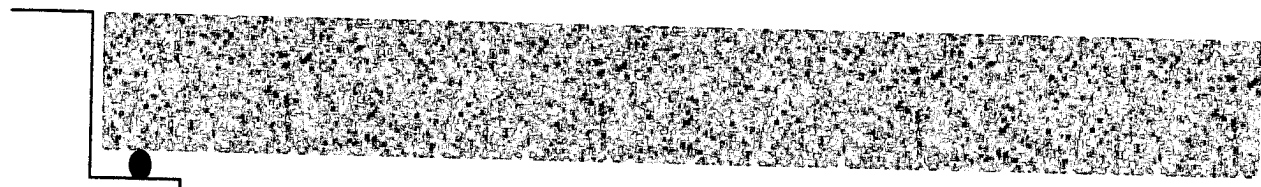
$$S_{EP}^{CON} = \text{MINIMO} \begin{bmatrix} 16 \\ 44 \end{bmatrix} = 16 \text{ cm.} \Rightarrow 2 \text{ conectores de } \varnothing 1/2'' \text{ cada } 16 \text{ cm.}$$

Otra solución que se ofrece para este punto de diseño es 3 Conectores de $\varnothing 1/2''$ cada 24 cm.

RESULTADOS FINALES

Seguidamente se presenta en la Tabla No. A111, los resultados finales para los aceros de preesfuerzo, refuerzo, estribos y conectores,

Tabla No. A111
Resumen de Aceros en la Viga Propuesta



Aceros/x(m)	0,00	0,60	1,60	3,20	4,80	6,40	7,29	8,00
Preesfuerzo	1Ø1/2"	1Ø1/2"	2Ø1/2"	4Ø1/2"	5Ø1/2"	6Ø1/2"	6Ø1/2"	6Ø1/2"
(cm²)	0,99	0,99	1,97	3,95	4,94	5,92	5,92	5,92
Asm	2Ø5/8"	2Ø5/8"	3Ø5/8"	5Ø5/8"	6Ø5/8"	7Ø5/8"	7Ø5/8"	7Ø5/8"
(cm²)	3,96	3,96	5,94	9,90	11,88	13,86	13,86	13,86
Estribos 2R	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"	Ø3/8"
Sep.(cm)	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
Conectores	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"	3Φ1/2"
Sep.(cm)	17,00	18,00	19,00	22,00	23,00	24,00	24,00	24,00

ANEXO No. 0602

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

ANEXO No. 0602

PROBLEMA RESUELTO POR PROGRAMA VPP

Análisis y Diseño de Vigas Parcialmente Preesforzadas

Obra	:	Viga PIE del Puente hacia la Maestría en Ingeniería Estructural
Ubicación	:	Av. Tulio Febres Cordero, Facultad de Ingeniería, ULA, Mérida.
Profesional	:	Ing. Antonio Castro Yllanes
CIV.	:	23604

ENTRADA DE DATOS

Figura No. A201

Plantilla de Entrada de Datos del Proyecto

Información del Proyecto

OBRA:

UBICACION:

PROFESIONAL:

C.I.V:

Figura No. A202

Plantilla de Entrada Relación de Preesfuerzo Parcial

DISEÑO DE VIGAS DE CONCRETO

☐ Reforzada RPP = 0

☐ Totalmente Pretensada RPP = 1

☒ Parcialmente Pretensada $0 < RPP < 1$

☐ Parcialmente Pretensada Rpp Usuario =

Licencia Creative Commons:

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)

Figura No. A203
Plantilla de Entrada de los Botones Tipo de Diseño.



Figura No. A204
Plantilla de Entrada de Geometría de la Sección

Características de la Viga

Tipo de Sección

Longitud de la Viga
 Lv=

t1= 20	b1= 60	ts= 5
t2= 100	b2= 20	rp= 12

Figura No. A205
Plantilla de Entrada de Características y Propiedades de los Materiales

Propiedades y Características de los Materiales.

Concreto. Viga Resistencia Inicial (f_{ci}) = 280 Resistencia Final (f_c) = 380 Peso Especifico (γ) = 2400 Losa Resistencia (f_c) = 250		Acero de Presfuerzo. Modulo de Elasticidad (E_{ps}) = 1900000 Resistencia Ultima (f_{pu}) = 258 Psi 278 Psi Diseño Con Diámetro ☐ 3/4" ☐ 3/8" ☐ 7/16" ☒ 1/2" ☐ 5/8"
Pavimento Peso Especifico (γ) = 2300		Acero de Refuerzo. Limite Elastico (f_y) = 4200 Modulo de Elasticidad (E_s) = 2000000 Acero de Estribos Esfuerzo Admisible (f_v) = 2100 Diseño Corte Ramas y Diámetro de los Estribos

Figura No. A206
Plantilla de Entrada de Factores y Coeficientes

Información Adicional

Factores y Coeficientes.	
Humedad Relativa.	(RH) 60
Factor de Ineficacia en Flexion.	(ϕ_f) 0.9
Factor de Ineficiencia en Corte.	(ϕ_c) 0.85
Factor de Perdida	(η) 0.85
Factor de Deflexion Diferida.	(λ) 2
Factor de Conectores	(α) 387
Incremento de Carga Viva	(F_{vzla}) 1.2

Figura No. A207
Plantilla de Entrada de Cargas y Dimensiones

Cargas Permanentes

Dimensiones		Peso Acera - Baranda	
Esesor de la Losa (el)	15	Peso de la Acera (pa)	250
Separación de Vigas (Sv)	1.9	Peso de la Baranda (pb)	250
Longitud del Volado (V)	0.8	Separadores	
Ancho de Baranda (ab)	0.2	Distancia Separador (Ls)	6
Ancho de Acera (aa)	1	Peso Separadores (Ps)	700
Esp. del Pavimento (ep)	5	Ubicación de la Viga	
Numero de Vigas (Nv)	4	☐ Viga Interior	☒ Viga Exterior

SALIDAS DEL PROGRAMA VPP

CALCULO Y EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DE SERVICIO

ESFUERZOS ACTUANTES

TABLA No. A201
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 1 x = 0,00 m.

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F+Mcr(no agrietado)	F+23661.8	---	25.6	266.6	211.3	25.6	266.6	211.3
F+Mcr(agrietado)	F+23662.8	9.8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.7*Mcv	F+0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+Mcv	F+0.00	---	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

TABLA No. A202
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 2 $x = 0,60 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+8964.7	---	5.6	-6.6	12006.1	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+11477.3	---	8.3	19.6	12028.3	2.7	26.2	22.1
F+Mcr(no agrietado)	F+33285.1	---	31.7	246.4	12221.5	26.1	253.0	215.3
F+Mcr(agrietado)	F+33286.1	14.2	82.3	3985.9	16179.0	76.7	4002.5	4172.9
F+Mcm+0.7*Mcv	F+12873.2	---	9.8	34.1	12040.7	4.2	40.7	34.6
F+Mcm+Mcv	F+14548.3	---	11.6	51.5	12055.5	6.0	58.1	49.3

TABLA No. A203
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 3 $x = 1,60 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+22426.3	---	13.8	-23.4	15439.0	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+28592.9	---	20.4	40.3	15493.2	6.5	63.7	54.2
F+Mcr(no agrietado)	F+48279.8	---	41.5	243.7	15666.3	27.7	267.0	227.2
F+Mcr(agrietado)	F+48280.8	21.6	72.9	2156.0	18174.0	59.1	2179.4	2735.0
F+Mcm+0.7*Mcv	F+32018.7	---	24.1	75.7	15523.3	10.3	99.1	84.2
F+Mcm+Mcv	F+36129.8	---	28.5	118.1	15559.4	14.7	141.5	120.3

TABLA No. A204
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 4 $x = 3,20 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+40117.8	---	25.0	-37.2	13600.3	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+50743.0	---	36.3	67.8	13692.4	11.2	105.0	92.1
F+Mcr(no agrietado)	F+67114.1	---	53.7	229.6	13834.3	28.7	266.8	234.0
F+Mcr(agrietado)	F+67115.1	36.1	72.3	1053.4	15294.9	47.3	1090.6	1694.6
F+Mcm+0.7*Mcv	F+56645.9	---	42.6	126.1	13743.5	17.6	163.3	143.2
F+Mcm+Mcv	F+63729.3	---	50.1	196.1	13804.9	25.1	233.3	204.6

TABLA No. A205
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 5 $x = 4,80 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+53074.7	---	32.9	-53.0	14467.9	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+66450.4	---	47.1	77.3	14583.0	14.2	130.3	115.1
F+Mcr(no agrietado)	F+81411.2	---	63.0	223.0	14711.8	30.1	276.0	243.8
F+Mcr(agrietado)	F+81412.2	45.9	77.6	770.1	15971.5	44.6	823.1	1503.6
F+Mcm+0.7*Mcv	F+73881.4	---	55.0	149.6	14647.0	22.1	202.6	179.1
F+Mcm+Mcv	F+82798.6	44.4	80.2	841.3	16035.7	47.3	894.3	1567.8

TABLA No. A206
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 6 $x = 6,40 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+60316.8	---	37.8	-50.1	13506.7	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+75241.6	---	53.6	95.1	13634.2	15.8	145.2	127.5
F+Mcr(no agrietado)	F+88411.2	---	67.6	223.1	13746.8	29.8	273.2	240.0
F+Mcr(agrietado)	F+88412.2	51.9	79.3	636.9	14833.5	41.5	687.0	1326.7
F+Mcm+0.7*Mcv	F+83533.2	---	62.4	175.7	13705.1	24.6	225.8	198.3
F+Mcm+Mcv	F+93483.1	46.6	88.3	858.6	15032.5	50.5	908.7	1525.7

TABLA No. A207
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 7 $x = 7,29 \text{ m.}$

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+62218.0	---	38.9	-54.8	13996.2	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+77406.1	---	55.0	92.9	14125.9	16.1	147.7	129.6
F+Mcr(no agrietado)	F+90732.3	---	69.1	222.5	14239.8	30.1	277.3	243.5
F+Mcr(agrietado)	F+90733.3	53.0	80.6	622.5	15340.1	41.6	677.3	1343.8
F+Mcm+0.7*Mcv	F+85843.9	---	63.9	175.0	14198.0	25.0	229.8	201.7
F+Mcm+Mcv	F+95969.3	47.4	89.9	849.0	15543.4	51.0	903.8	1547.1

TABLA No. A208
Condiciones de Servicio
Punto de Diseño No. 8 $x = 8,00$ m.

CASO DE CARGA	F+M	C	fct	fs	fps	Delta fct	Delta fs	Delta fps
F+Mcm	F+62684.2	---	39.1	-55.3	14104.7	0.00	0.00	0.00
F+Mcm+0.45*Mcv	F+77703.3	---	55.1	90.7	14233.0	16.0	146.0	126.2
F+Mcr(no agrietado)	F+91245.1	---	69.4	222.4	14348.7	30.3	277.7	244.0
F+Mcr(agrietado)	F+91246.1	53.2	80.9	620.4	15453.0	41.8	675.6	1348.2
F+Mcm+0.7*Mcv	F+86047.2	---	63.9	171.9	14304.3	24.7	227.2	199.5
F+Mcm+Mcv	F+96060.0	48.0	89.5	827.0	15636.4	50.4	862.3	1533.6

DEFLEXIÓN Y AGRIETAMIENTO

TABLA No. A209
Condiciones de Servicio
Deflexiones y Ancho de Grietas
Punto de Diseño No. 8 $x = 8,00$ m.

$x=L_v/2$		Deformación	Deformación	Ancho
CASO DE CARGA	F+M	Instantanea	De Control	Grieta
F+Mcm	F+62684.2	0.394	0.44	0
F+Mcm+0.45*Mcv	F+77703.3	0.383	0.417	0
F+Mcr(no agrietado)	F+91245.1	0.372	0.396	0
F+Mcr(agrietado)	F+91246.1	0.274	0.200	0.302
F+Mcm+0.7*Mcv	F+86047.2	0.376	0.404	0
F+Mcm+Mcv	F+96060.0	0.275	0.176	0.371

RESULTADOS FINALES ACEROS RESULTANTES

TABLA No. A210
Resumen de Aceros a lo largo de la Viga

Distancia X	0	0.6	1.6	3.2	4.8	6.4	7.29	8
Acero de Refuerzo	2ø5/8	2ø5/8	3ø5/8	2ø5/8 3ø5/8	3ø5/8 3ø5/8	3ø5/8 4ø5/8	3ø5/8 4ø5/8	3ø5/8 4ø5/8
N° de Guayas	1ø1/2	1ø1/2	2ø1/2	4ø1/2	5ø1/2	6ø1/2	6ø1/2	6ø1/2
Sv(corte) ø3/8	60	60	60	60	60	60	60	60
Sv(conectores) ø1/2	18	18	19	22	23	24	24	24
N Conectores	3	3	3	3	3	3	3	3

Notas:

- Ver Capitulo No. 5.
- Los resultados presentados se tomaron directamente de las pantallas solución en cada caso, ya que se consideran mas expresivas que las de la impresora y con mayor vistosidad para el trabajo.

ANEXO No. 0603

Licencia Creative Commons:
Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela
(CC BY-NC-SA 3.0 VE)