

UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCABELICA
(Creada por Ley Nro. 25265)

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“RELACIÓN ENTRE LA GEOMETRÍA DE
ACARTELAMIENTO Y SU MECANISMO DE
RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE
GRANDES LUCES”**

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:
ESTRUCTURA - CONCRETOS

PRESENTADO POR:
BACH. QUISPE ARROYO, CHANIL
BACH. VARGAS MORI, JULIO SIMEÓN

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

HUANCABELICA, PERÚ

2019



UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAMELICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS



En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 14 días del mes de octubre del año 2019, a horas 11:00 a.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (PRESIDENTE)**, **Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (SECRETARIO)**, **Ing. Carlos GASPAS PACO (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 074-2019-FCI-UNH, de fecha 17 de mayo del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 177-2019-FCI-UNH de fecha 10 de octubre del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "RELACIÓN ENTRE LA GEOMETRÍA DE ACARTELAMIENTO Y SU MECANISMO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE GRANDES LUCES", presentado por los Bachilleres **Chanil QUISPE ARROYO** y **Julio Simeón VARGAS MORI** para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **Arq. Abdón Dante OLVERA QUINTANILLA** como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizada la evaluación a horas 12:50 pm; se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

Chanil QUISPE ARROYO

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

Julio Simeón VARGAS MORI

APROBADO ☒ POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO ☐

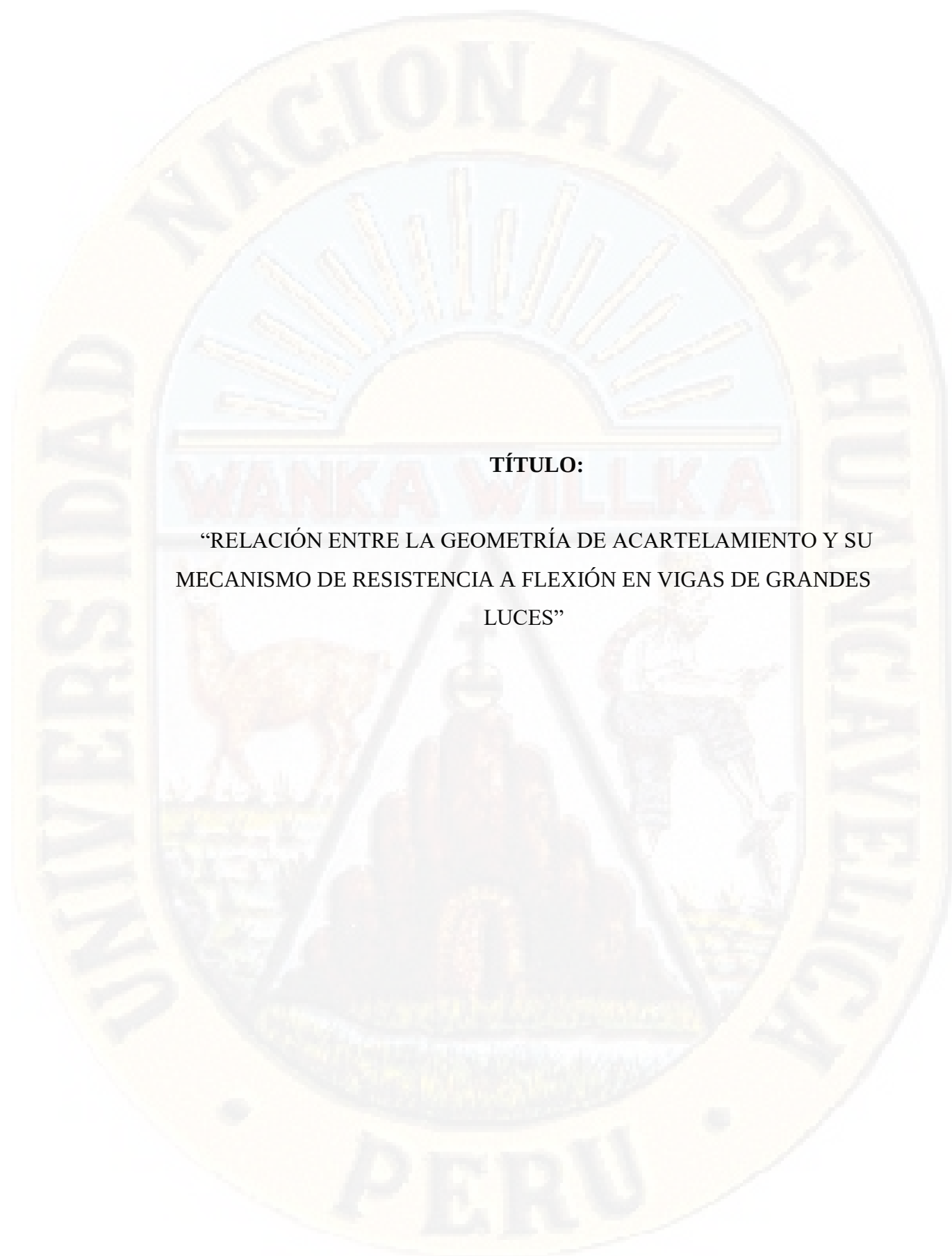
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

Presidente

Secretario

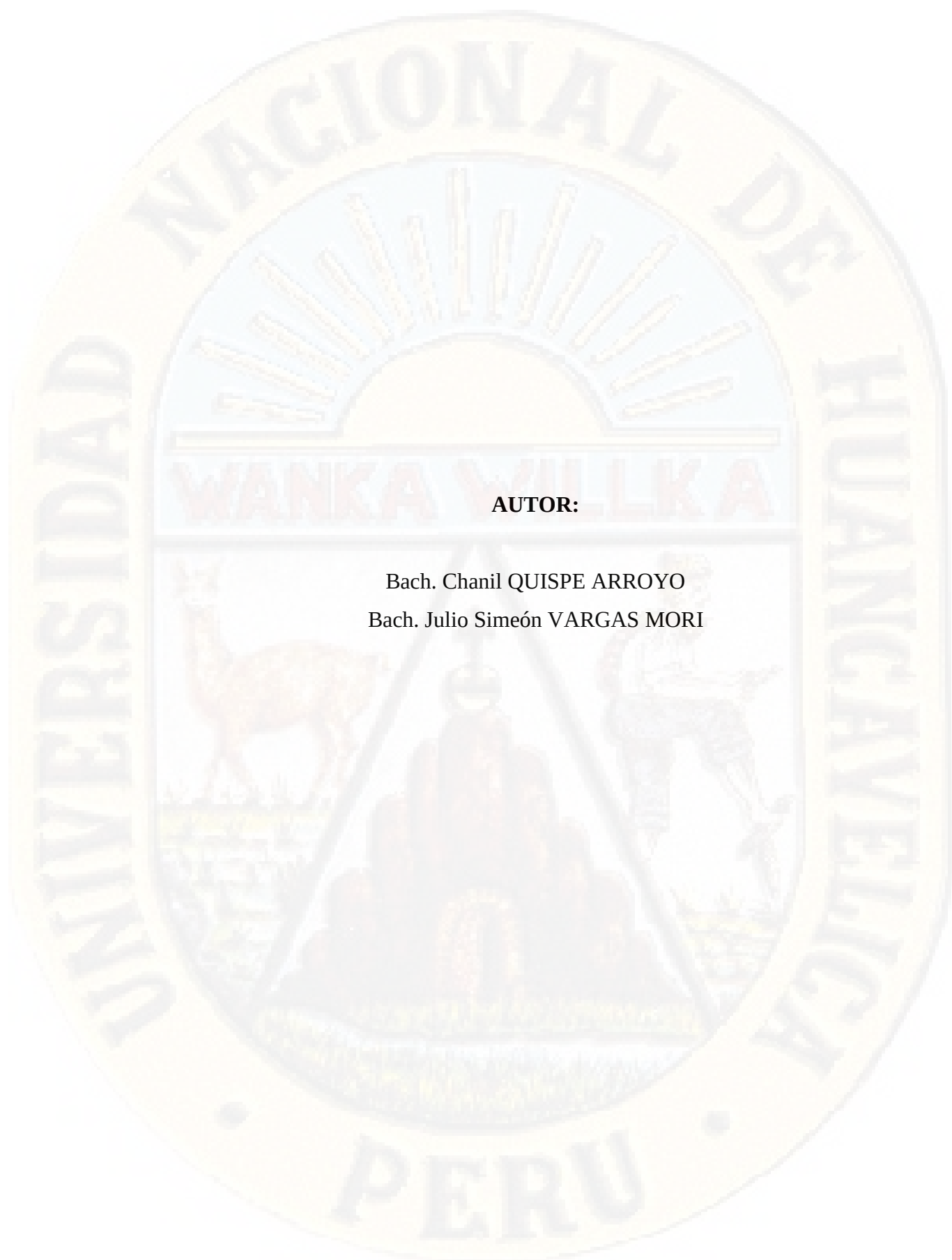
Vocal

Vº Bº Decano



TÍTULO:

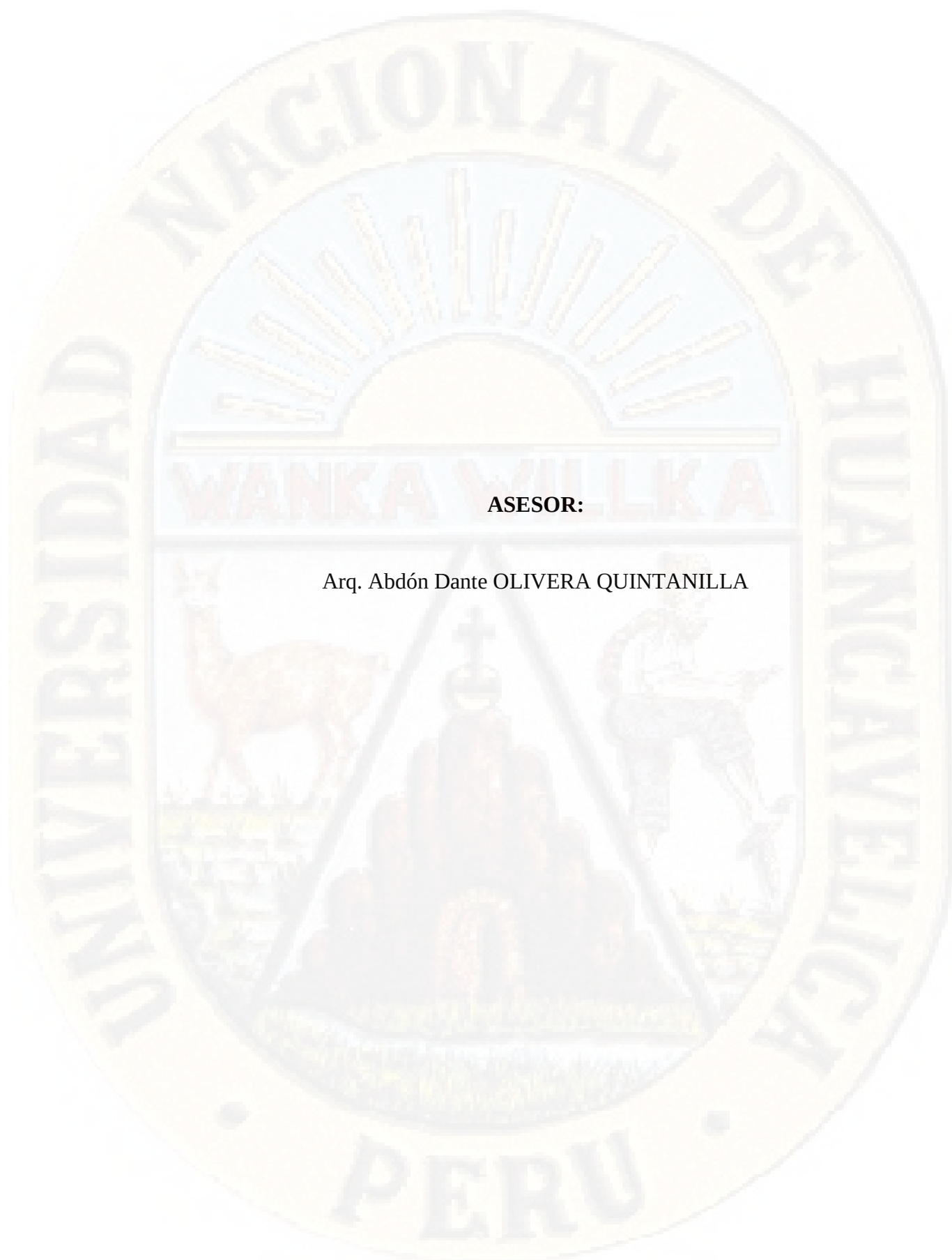
“RELACIÓN ENTRE LA GEOMETRÍA DE ACARTELAMIENTO Y SU
MECANISMO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE GRANDES
LUCES”



AUTOR:

Bach. Chanil QUISPE ARROYO

Bach. Julio Simeón VARGAS MORI



ASESOR:

Arq. Abdón Dante OLIVERA QUINTANILLA

DEDICATORIA

Ante todo: A Dios, mis padres y hermanos; por su apoyo incondicional durante los años de mi formación académica y en todo proceso de realización de esta tesis.

Quispe Arroyo, Chanil

Ante todo: A Dios y mis padres quienes fueron mi guía, pero más que eso una bendición en mi camino. En mi vida podré decir que algo me faltó. Ahora con orgullo presento ante ellos el resultado de tantos años de esfuerzo y dedicación.

Vargas Mori, Julio Simeón

Agradecimiento

Con especial gratitud a los que publicaron textos científicos cuya ayuda nos permitió a terminar este proyecto.

A Dios por darnos la guía de nuestra vida para obtener nuestros anhelados objetivos y metas.

A nuestra casa superior la Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Civil por darnos la oportunidad de ser parte de nuestro desarrollo profesional.

A los catedráticos de la Facultad de Ciencias de Ingeniería Civil por la dedicación exclusiva de enseñarnos brindando consejos durante los años que compartimos en las aulas de estudio.

A nuestro asesor Arq. Abdón Dante Olivera Quintanilla, por su guía incondicional, comprensión para la ejecución y culminación del proyecto.

A nuestros seres queridos: Padres, hermanos, familiares, compañeros, amigos que compartieron sus experiencias, consejos y conocimientos en esta etapa del proyecto.

Los tesisistas

Índice

Agradecimiento	vii
Resumen	xvii
Abstrac.....	xviii
Introducción.....	xix
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción del problema	1
1.2. Formulación del problema	2
1.2.1. Problema general	2
1.2.2. Problema específico	3
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4. Justificación.....	3
1.5. Limitaciones	4
2. MARCO TEÓRICO	5
2.1. Antecedentes	5
2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación.....	8
2.2.1. Vigas.....	8
2.2.2. Resistencia a flexión.....	9
2.2.3. Vigas acarteladas	12
2.2.4. Geometría de acartelamiento.....	31
2.2.5. Optimización	32
2.3. Bases conceptuales.....	34
2.4. Definición de términos.....	35
2.5. Hipótesis (de ser necesario)	35

2.5.1.	Hipótesis general	35
2.5.2.	Hipótesis específicas	36
2.6.	Variables	36
2.6.1.	Variable 1	36
2.6.2.	Variable 2.	36
2.7.	Operacionalización de variables	37
3.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	38
3.1.	Ámbito temporal y espacial	38
3.2.	Tipo de investigación	38
3.3.	Nivel de investigación.....	38
3.4.	Población, muestra y muestreo	39
3.4.1.	Población.....	39
3.4.2.	Muestra.....	39
3.4.3.	Muestreo.....	39
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	39
3.5.1.	Recopilación bibliográfica.....	39
3.5.2.	Elaboración de vigas acarteladas con distintas geometrías	40
3.6.	Técnicas y procesamiento de análisis de datos	42
3.6.1.	Cálculo de los momentos y desplazamiento con ANSYS APDL. ...	42
3.6.2.	Elaboración de Regresiones polinomiales.....	43
3.6.3.	Optimización de vigas acarteladas.	44
3.6.4.	Análisis de datos.....	47
4.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	48
4.1.	Análisis de información	48
4.1.1.	Resultado par viga acartelada L=7.50m, hc=0.45m.....	49
4.1.2.	Resultado par viga acartelada L=10.00m, hc=0.60m.....	53

4.1.3.	Resultado par viga acartelada $L=12.50\text{m}$, $h_c=0.75\text{m}$	57
4.1.4.	Resultado par viga acartelada $L=15.00\text{m}$, $h_c=0.90\text{m}$	61
4.1.5.	Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos.	65
4.1.6.	Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo.	67
4.1.7.	Relación de longitud y altura de cartela con Momento negativo máximo.	69
4.1.8.	% de variación de momento positivo, negativo y desplazamiento respecto a la variación de la longitud y altura de cartela	71
4.1.9.	Diagrama de momento flector para una viga acartelada $L=10\text{m}$, $a=0.3$, altura de cartela variable.	74
4.1.10.	Regresión polinomial para M/WL^2 en función de la altura máxima efectivo $L=7.50\text{m}$	75
4.1.11.	Regresión polinomial para M/WL^2 en función de la altura máxima efectivo $L=10.00\text{m}$	79
4.1.12.	Regresión polinomial para M/WL^2 en función de la altura máxima efectivo $L=12.50\text{m}$	83
4.1.13.	Regresión polinomial para M/WL^2 en función de la altura máxima efectivo $L=15.00\text{m}$	87
4.1.14.	Resultados de Optimización	91
4.2.	Discusión de Resultados	94
5.	Conclusiones	96
6.	Recomendaciones	97
7.	Referencias bibliográficas	98
8.	Apéndice.....	100

Índice de tablas

Tabla 2.1: Identificación de variables	37
Tabla 3.1 Viga propuestos con distintas geometrías	41
Tabla 4.1 Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5m$, $AL/L=0.2$	49
Tabla 4.2 Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5m$, $AL/L=0.3$	50
Tabla 4.3 Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5m$, $AL/L=0.4$	51
Tabla 4.4 Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5m$, $AL/L=0.5$	52
Tabla 4.5 Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $AL/L=0.2$	53
Tabla 4.6 Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $AL/L=0.3$	54
Tabla 4.7 Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $AL/L=0.4$	55
Tabla 4.8 Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $AL/L=0.5$	56
Tabla 4.9 Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $AL/L=0.2$	57
Tabla 4.10 Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $AL/L=0.3$	58
Tabla 4.11 Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $AL/L=0.4$	59
Tabla 4.12 Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $AL/L=0.5$	60
Tabla 4.13 Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $AL/L=0.2$	61
Tabla 4.14 Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $AL/L=0.3$	62
Tabla 4.15 Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $AL/L=0.4$	63
Tabla 4.16 Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $AL/L=0.5$	64
Tabla 4.17 Porcentaje (%) de variación de momento máximo positivo	71
Tabla 4.18 Porcentaje (%) de variación de momento máximo Negativo.....	72
Tabla 4.19 Porcentaje (%) de variación de desplazamiento máximo.....	73
Tabla 4.20 Diagrama de momento flector para viga acartelada de $L=10.00m$	74
Tabla 4.21 Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.2$	75
Tabla 4.22 Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.3$	76
Tabla 4.23 Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.4$	77
Tabla 4.24 Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.5$	78
Tabla 4.25 Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.2$	79
Tabla 4.26 Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.3$	80
Tabla 4.27 Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.4$	81
Tabla 4.28 Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.5$	82

Tabla 4.29	Coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L = 0.2$	83
Tabla 4.30	Coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L = 0.3$	84
Tabla 4.31	Coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L = 0.4$	85
Tabla 4.32	Coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L = 0.5$	86
Tabla 4.33	Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L = 0.2$	87
Tabla 4.34	Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L = 0.3$	88
Tabla 4.35	Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L = 0.4$	89
Tabla 4.36	Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L = 0.5$	90
Tabla 4.37	Propiedades de la viga acartelada para optimización.....	91
Tabla 4.38	Resultados de secciones óptimas.....	93

Índice de figuras

Figura 2.1 Tipos de vigas según el tipo de apoyo.....	9
Figura 2.2 Momentos en vigas	10
Figura 2.3 Voladizo sometido a (a) flexión pura y (b) flexión pura y flexión simple	11
Figura 2.4 Viga apoyada a flexión pura para en su zona central.....	11
Figura 2.5 Tipos de cartelas.	14
Figura 2.6 Elementos de dos y tres Dimensiones.....	17
Figura 2.7 b) una aproximación lineal o función de forma para a) un elemento lineal. Las funciones de interpolación correspondientes se muestran en c) y d) Fuente: Chapra y Canale, 2007	19
Figura 2.8 Interfaz gráfica de usuario (GUI) de ANSYS,.....	24
Figura 2.9 Regiones B-D en vigas prismáticas y acartelada.	30
Figura 2.10 Cota superior para el altura crítico.....	30
Figura 3.1 Propiedades paramétrica de una viga acartelada.	40
Figura 3.2 Variación de longitud y altura de cartela para una luz de viga.....	41
La fórmula simplificada para calcular momentos y desplazamientos para una viga prismática doblemente empotrada, como se muestra en la Figura 3.3 es:	43
Figura 3.4 Variación de longitud y altura de cartela para una luz de viga.	43
Figura 3.5 Campos de esfuerzo en la cartela.....	46
Figura 4.1 Variación de longitud y altura de cartela para vigas de luces 7.50, 10.0, 12.50, y 15.00m.....	48
Figura 4.2 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5m$, $AL/L=0.2$	49
Figura 4.3 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5m$, $AL/L=0.3$	50
Figura 4.4 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5m$, $AL/L=0.4$	51
Figura 4.5 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5m$, $AL/L=0.5$	52
Figura 4.6 Variación de altura de cartela, 0.12 a 1.20m, $L=10m$, $AL/L=0.2$	53
Figura 4.7 Variación de altura de cartela, 0.12 a 1.20m, $L=10m$, $AL/L=0.3$	54
Figura 4.8 Variación de altura de acartelamiento, 0.12 a 1.20m, $L=10m$, $AL/L=0.4$	55

Figura 4.9 Variación de altura de acartelamiento, $L=10\text{m}$, 0.12 a 1.20m, $AL/L = 0.5$	56
Figura 4.10 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, 0.12 a 1.20 $AL/L = 0.2$	57
Figura 4.11 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, $AL/L = 0.3$	58
Figura 4.12 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, $AL/L = 0.4$	59
Figura 4.13 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, $AL/L = 0.5$	60
Figura 4.14 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15\text{m}$, $AL/L = 0.2$	61
Figura 4.15 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m $L=15\text{m}$, $AL/L = 0.3$	62
Figura 4.16 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15\text{m}$, $AL/L = 0.4$	63
Figura 4.17 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15\text{m}$, $AL/L = 0.5$	64
Figura 4.18 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=7.50\text{m}$.	65
Figura 4.19 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=10.00\text{m}$.	65
Figura 4.20 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=12.50\text{m}$	66
Figura 4.21 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=15.00\text{m}$	66
Figura 4.22 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=7.50\text{m}$.	67
Figura 4.23 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=10.00\text{m}$.	67
Figura 4.24 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=12.50\text{m}$.	68

Figura 4.25 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=15.00\text{m}$.	68
Figura 4.26 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=7.50\text{m}$.	69
Figura 4.27 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=10.00\text{m}$.	69
Figura 4.28 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=12.50\text{m}$.	70
Figura 4.29 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=15.00\text{m}$.	70
Figura 4.30 El % de variación de momento positivo respecto a la variación de longitud y altura de cartela para $L=10.00\text{m}$.	71
Figura 4.31 El % de variación de momento negativo respecto a la variación de longitud y altura de cartela para $L=10.00\text{m}$.	72
Figura 4.32 El % de variación de desplazamiento respecto a la variación de longitud y altura de cartela para $L=10.00\text{m}$.	73
Figura 4.33 Momentos para distintas alturas de cartela y longitud de cartela 3.0m .	74
Figura 4.34 Diagrama de momento flector para viga acartelada $L=10.0\text{m}$, $L_a=3.00\text{m}$, altura de viga variable.	74
Figura 4.35 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L = 0.2$.	75
Figura 4.36 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L = 0.3$.	76
Figura 4.37 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L = 0.4$.	77
Figura 4.38 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L = 0.5$.	78
Figura 4.39 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10\text{m}$, $aL/L = 0.279$.	
Figura 4.40 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10\text{m}$, $aL/L = 0.380$.	
Figura 4.41 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10\text{m}$, $aL/L = 0.481$.	
Figura 4.42 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10\text{m}$, $aL/L = 0.582$.	

Figura 4.43 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L= 0.2$	83
Figura 4.44 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L= 0.3$	84
Figura 4.45 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L= 0.4$	85
Figura 4.46 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L= 0.5$	86
Figura 4.47 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L= 0.287$	
Figura 4.48 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L= 0.388$	
Figura 4.49 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L= 0.489$	
Figura 4.50 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L= 0.590$	

Resumen

En el presente trabajo de investigación, se ha logrado analizar modelos de vigas de sección no prismáticas de concreto armado, empleando el método de los elementos finitos con la aplicación del programa *Mechanical Ansys APDL*. El objetivo fue determinar la relación entre la geometría de la sección variable y la resistencia a flexión en vigas de luces grandes. Para lo cual se evaluaron los elementos estructurales, vigas no prismáticas, ante situaciones específicas de carga y dimensiones geométricas de la sección variable en vigas de distintas luces, de tal manera que se pueden estimarse una relación en el comportamiento a flexión por las dimensiones de longitud y altura de la sección variable en un rango de dimensiones óptimas para un mejor comportamiento estructural. Además, se ha encontrado un rango de longitudes de cartela y ángulos de acartelamiento, para lo cual la estructura tiene un mejor desempeño con menor costo de construcción.

Palabras clave: longitud de cartela, altura de cartela, flexión en vigas, vigas acarteladas, optimización.

Abstrac

In the present research work it has been possible to analyze models of non-prismatic section beams of reinforced concrete using the finite element method, with the application of the Mechanical Ansys APDL program. The objective was to determine the relationship between the geometry of the variable section and the flexural strength in beams of large lights. For which the structural elements, non-prismatic beams, were evaluated for specific load situations and geometric dimensions of the variable section in beams of different lights, so that a relationship in the bending behavior can be estimated by the length dimensions and height of the section variable in a range of optimal dimensions for better structural behavior. In addition, a range of carton lengths and flare angles has been found for which the structure has a better performance with a lower construction cost.

Key words: gusset length, gusset height, bending in beams, haunched beams, optimization.

Introducción

En la actualidad el sector de construcción a nivel mundial se hace más exigente en el diseño estructural de vigas acarteladas de luces grandes, donde antiguamente daban uso las vigas acarteladas en edificios, iglesias, comunmente en puentes; a la vez Archundia (citado por Godínez, Tena, y Juárez, 2013) opina que en la ciudad de México existen edificios importantes que utilizan trabes acarteladas de concreto reforzado como solución estructural.

En el contexto nacional son escasas las informaciones sobre el diseño de las vigas acarteladas, donde la Norma Técnica de Edificación Peruana Vigente (E.060 CONCRETO ARMADO) y el reglamento internacional más usados, como requisitos del Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-14) no proporcionan recomendaciones o informaciones específicas para diseño de elementos de concreto armado de sección variable, a cortante ni a flexión.

A partir del planteamiento general se desarrollaron modelos de vigas acarteladas en el programa ANSYS, donde se obtuvo los diagramas de fuerza cortante, deflexiones, momentos máximos positivos y negativos correspondientes al centro del claro y a los apoyos fijos en los extremos de la viga, también se ha optado por técnicas de optimización donde ha consistido en encontrar el valor óptimo del costo de relación de la geometría de acartelamiento, el análisis de los resultados se da mediante la función de diagramas, gráficos y tablas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción del problema

El sector de la construcción cada día se hace más exigente, se necesitan pórticos o vigas de concreto armado que soporten grandes cargas y tengan luces considerables, manteniendo una armonía en las dimensiones de sus vigas y columnas, para esto una alternativa es la implementación de vigas acarteladas en el sistema estructural para aumentar la rigidez de estas. Sin embargo, el diseño de vigas acarteladas es dejado a juicio y experiencia del diseñador estructural, debido a la escasa información disponible sobre el comportamiento de vigas acarteladas de concreto armado. Además, la Norma Técnica de Edificación Peruana vigente (E.060 CONCRETO ARMADO) y el reglamento internacional más usados, como requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14) no proporcionan recomendaciones específicas para diseño de elementos de concreto armado de sección variable, a cortante ni a flexión. De continuar así se verán sistemas estructurales sobredimensionados; o que no soporten las solicitaciones de cargas, causando esto un gasto económico innecesario o sistemas estructurales colapsados.

A la vez **Archundia (citado por Godínez, Tena, y Juárez, 2013)** opina que (En la Ciudad de México existen edificios importantes que utilizan Trabes

Acarteladas de concreto reforzado como solución estructural, aun cuando los reglamentos de diseño más utilizados en el país como las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño de Estructuras de Concreto vigentes (NTCC-04), y el Reglamento del Instituto Americano del Concreto (ACI-318-08), no proporcionan recomendaciones específicas que garanticen un buen comportamiento estructural de estos elementos, más aún si son demandados por acciones sísmicas)

El uso de vigas acarteladas es más común en puentes de todo tipo, mientras que en edificios se utilizan principalmente en México y en otros países latinoamericanos.

Tena, Urbina, y Archundia, (2017)

A pesar de ello, son escasas las investigaciones experimentales sobre el comportamiento de trabes acarteladas de concreto reforzado, prácticamente todas se han limitado a estudiar su mecanismo resistente a cortante. (pág. 2)

También **Archundia et al. 2005, Tena-Colunga et al. 2008 (citado por Godínez, Tena, y Juárez, 2013)** afirma que (Las investigaciones experimentales enfocadas al estudio del comportamiento y determinación de expresiones de diseño han mostrado que el comportamiento de las trabes acarteladas de concreto reforzado difiere del observado en trabes prismáticas de sección constante)

Ante esta situación se requiere realizar un estudio detallado a la relación de la geometría de acartelamiento con la resistencia a flexión a fin de instrumentar un método y/o recomendaciones para el predimensionamiento y la evaluación del comportamiento de las cartelas en vigas de grandes luces de concreto armado.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la relación de la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces?

1.2.2. Problema específico

- a. ¿Cuál es la relación de la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces?
- b. ¿Cuál es la relación de altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces?
- c. ¿Cuál es la relación de la longitud de una viga acartelada y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la relación de la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.

1.3.2. Objetivos específicos

- a. Determinar la relación de la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.
- b. Determinar la relación de altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.
- c. Determinar la relación de la longitud de una viga acartelada y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.

1.4. Justificación

No existe para vigas de sección variable recomendación, una codificación o método de cálculo simplificado que ayude a su estudio en el Reglamento Nacional de Edificaciones, así como en requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-14). Además, existe escasa información.

Encontrar una relación entre la geometría de acartelamiento y la luz de la viga para proponer recomendaciones y/o método simplificado que ayude el predimensionamiento y la evaluación del comportamiento de vigas acarteladas.

Proporcionar a los ingenieros y profesionales a fines a la construcción recomendaciones que ayude a predecir el comportamiento de la viga acartelada,

además en qué tipo de estructuras o longitudes de vigas es conveniente el uso de acartelamiento.

En este proyecto de investigación se realizará la aplicación del software ANSYS, cuyo método que utiliza para calcular esfuerzo internos y desplazamientos es el método de los elementos finitos.

1.5. Limitaciones

Por el uso común de vigas acarteladas de concreto armado en edificaciones en nuestro medio, en el presente trabajo de investigación se estudiará vigas acarteladas simétricas empotrados en ambos extremos y con carga gravitacional uniformemente distribuidas.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Antecedentes Internacionales:

Godínez, Tena, y Juárez (2013) realizó la investigación titulada “*Análisis numérico de trabes acarteladas de concreto armado diseñadas para presentar una falla por cortante*”. La investigación presenta un estudio numérico de trabes acarteladas de concreto armado simplemente apoyadas sujetas a carga estática y diseñadas para presentar una falla por cortante. Se elaboraron modelos simplificados empleando el programa SAP2000 en los que se modela indirectamente el acero de refuerzo. Posteriormente, se desarrollaron modelos más elaborados de análisis no lineal en el programa ANSYS en que se considera la distribución real del acero de refuerzo longitudinal y transversal. Para modelar elementos de concreto armado, el comportamiento constitutivo del concreto considera el ablandamiento por deformación mediante una superficie de daño con diferente umbral en tensión que, en compresión, mientras que el endurecimiento del acero de refuerzo se modela con una superficie de plasticidad de von Mises. Se considera adherencia perfecta entre ambos materiales. De los modelos numéricos desarrollados tanto en SAP2000 como en ANSYS, se obtuvo las curvas cortante-deflexión correspondientes al centro del claro, y en el caso de los modelos de elementos finitos desarrollados en ANSYS se obtuvo también las trayectorias de agrietamiento asociados a diferentes intensidades de carga. De los resultados obtenidos y las comparaciones con los resultados experimentales, siendo su principal conclusión que, empleando tanto modelos simplificados como más elaborados de los elementos estructurales estudiados, es posible reproducir de manera aceptable su comportamiento estructural a cortante.

Archundia, Tena, y Gonzáles (2002). Realizó la investigación titulada “*Comportamiento a cortante de trabes acarteladas de concreto armado ante carga estática*” en este artículo presentan los primeros resultados del ensayo de ocho trabes

acarteladas de concreto armado sometidas a carga estática. Se tiene evidencia que este tipo de elementos son utilizados en estructuras de ocupación estándar, aun cuando no existen recomendaciones para su diseño en los códigos de construcción vigentes en México y en otras partes del mundo. Los primeros resultados indican que el comportamiento ante fuerza cortante de estos elementos varía respecto a las trabes de concreto armado de sección constante.

Llegaron a la conclusión de que, como se esperaba, que el ángulo de la variación de la cartela influye directamente en la continuidad de las conexiones. Así, de esta manera cuando el ángulo es mayor disminuye la rigidez de los nudos, lo que genera mayores momentos positivos y mayores deflexiones, acercándose a un comportamiento de apoyos simples, siendo esto desfavorable para el comportamiento de la estructura. Esto ocurre para todas las luces estudiadas.

Tena (2002). Realizó el artículo titulada “*Modelado elástico de trabes acarteladas de sección T*” El artículo hace una comparación de los resultados que se obtuvo al modelar a las trabes acarteladas de sección **T** como vigas que cumplen con la teoría de Bernoulli-Euler, con respecto a soluciones obtenidas con elementos finitos presentadas recientemente en la literatura especializada. Se comparan los coeficientes de rigidez (incluyendo el factor de transporte) y momentos de empotramiento determinados con uno y otro procedimiento, para una familia de trabes acarteladas simétricas de sección T. Se comparan los elementos mecánicos de un marco con trabe acartelada sujeto a carga uniformemente distribuida obtenidos mediante un análisis con elementos finitos, con respecto al que se obtiene modelando a todos los elementos conforme a la teoría de Bernoulli-Euler. El estudio demuestra que la teoría de Bernoulli-Euler para modelar trabes acarteladas es robusta y permite llegar a resultados muy confiables cuando se compara con formulaciones de elementos finitos.

Estévez y Reiley (2006) Realizó el estudio en su trabajo especial de grado titulado “*Estudio de la influencia de vigas acarteladas en pórticos planos de concreto armado*” tuvo como objetivo: Evaluar el comportamiento de las cartelas prismáticas

y rectas en una estructura aporticada por medio del método de las rotaciones y el análisis matricial; llegando a las siguientes principales conclusiones.

Los factores de distribución son mayores en los lados opuestos de la viga donde las cartelas tienen mayor dimensión, y a medida que aumentan los tamaños de estas el factor distribución también lo hace.

Con las cartelas, la distribución de carga en dirección gravitacional produce mayor concentración de los momentos en los nodos, de esta manera se reduce el momento en la parte central de la viga.

El aporte de rigidez lateral a la estructura con cartelas es función de la dimensión de estas y de su longitud.

Para relaciones de rigidez columna-viga menores a 0.5 y mayores a 350 las cartelas no aportan tanta rigidez lateral como sería aumentando las dimensiones de los elementos.

El aporte de rigidez de la cartela es óptimo cuando la relación de rigidez viga-columna está en torno al valor de 11.

Antecedentes Nacionales:

Vera (2012) realizó la investigación para el CONIEC titulado “*Vigas acarteladas de concreto armado, propuesta para su aplicación en el diseño de edificios sismorresistentes*” Tuvo como objetivo: Demostrar la aplicabilidad de las vigas acarteladas de concreto armado en el diseño de un edificio sismorresistente para optimizarlo. Llegó a las siguientes conclusiones:

- El uso de TACR optimiza el Diseño Sismorresistente de Edificios. – Desempeño Sísmico.
- Se recomienda nunca exceder a un $\alpha=12^\circ$

(Debido a Falta de Experimentación). Se recomienda el ensayo de este tipo de elementos. (Agregar especificaciones a RNE)

2.2. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.2.1. Vigas

(Hibbeler R. C., 2012)

Por lo general, las vigas son elementos rectos horizontales que se usan principalmente para soportar cargas verticales. Con frecuencia se clasifican según la forma en que están apoyadas, como se indica en la *Figura 2.1*. En particular, cuando la sección transversal de la viga varía, esta se conoce como viga afilada o estrechada. Las secciones transversales de las vigas también pueden construirse añadiendo placas en su partes superior e inferior.

Las vigas se diseñan en principio para resistir momentos de flexión; sin embargo, si una viga es corta o soporta grandes cargas, la fuerza cortante interna puede llegar a ser bastante grande y regir el diseño de la viga. (pág. 4)

Por lo general, las vigas de concreto tienen secciones transversales rectangulares porque esta forma es fácil de construir directamente en el campo. Como el concreto es bastante débil en cuanto a su resistencia a la tensión, se colocan varillas de acero de refuerzo dentro de la viga en las regiones de sección transversal sometidas a tensión. Del mismo modo, las vigas o trabes de concreto prefabricadas pueden construirse en un taller o fábrica para después ser transportadas al lugar de trabajo (pág. 5)

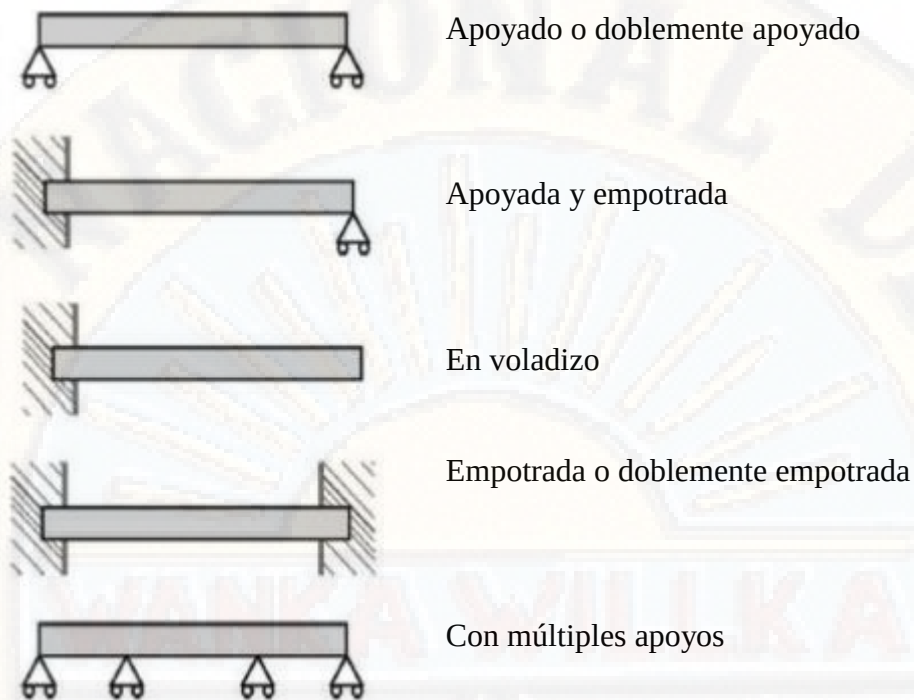


Figura 2.1 Tipos de vigas según el tipo de apoyo

Fuente: Elaboración propia

Las vigas son los elementos de apoyo de la losa (aligerada o maciza) y se encuentran sujetas a las cargas que le transmiten la losa, así como a las cargas que directamente actúan sobre ella, tales como su peso propio, peso de tabiques, parapetos, etc. (San Bartolomé, 1998, pág. 17)

2.2.2. Resistencia a flexión

2.2.2.1. Definición de momento flexionante

(Pytel & Singer, 1994, pág. 91)

El momento flexionante es la suma de los momentos de todas las fuerzas que actúan en la porción de viga a la izquierda o a la derecha de una sección, respecto al eje perpendicular al plano de las fuerzas y que pasa por el centro de gravedad centroide de la sección considerada. Analíticamente viene dado por:

$$M = \left(\sum M \right)_{izq} = \left(\sum M \right)_{der} \quad (2.2.1)$$

En donde el subíndice *izq* pone de manifiesto que el momento se evalúa con las fuerzas de la izquierda y el subíndice *der* que se refiere a las fuerzas de la derecha. (pág. 91)

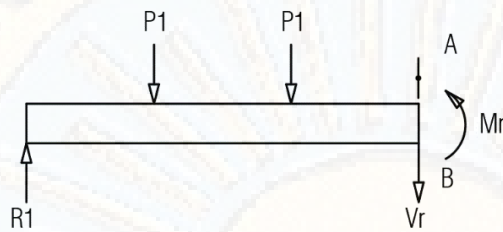


Figura 2.2 Momentos en vigas

Fuente: Adaptado de Pytel & Singer, 1994.

2.2.2.2. Flexión

Los esfuerzos normales producidos por el momento flexionante se llaman esfuerzos por flexión y las relaciones entre estos esfuerzos y el momento flexionante se expresa mediante la fórmula de la flexión.

$$\sigma = \frac{My}{I} \quad (2.2.2)$$

Esta expresión indica que el esfuerzo debido a la flexión en cualquier sección es directamente proporcional a la distancia del punto considerado a la línea neutra. Una forma más común de la fórmula de la flexión, se obtiene sustituyendo y por la distancia c del elemento más alejado de la línea neutra. Con esto se obtiene el esfuerzo máximo:

$$\sigma_{\max} = \frac{Mc}{I} \quad (2.2.3)$$

El coeficiente I/c se llama módulo de resistencia de la sección o simplemente, módulo de sección, y se suele designar por S , por lo que la fórmula de la flexión adquiere la forma:

$$\sigma_{\max} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{S} \quad (2.2.4)$$

Esta fórmula es muy empleada en vigas de sección constante y muestra cómo el esfuerzo máximo se produce en la sección de momento flexionante máximo.

Una pieza o elemento está sometida a flexión pura cuando sus secciones están solicitadas únicamente por un momento flector M . Los esfuerzos axiales N , cortante T y momento torsor M_t son nulos en todas las secciones de la pieza. Por su parte, una pieza está sometida a flexión simple cuando sus secciones están sometidas a momento flector variable y, en consecuencia, viene acompañado de esfuerzo cortante. Por el contrario, se dice que una sección está sometida a flexión compuesta cuando sobre ella actúa un momento flector y un esfuerzo axial. Por último, si actúan a la vez momentos flectores y momento torsor, se dice que la sección está sometida a flexo-torsión. (Cervera & Blanco, 2001, pág. 99)

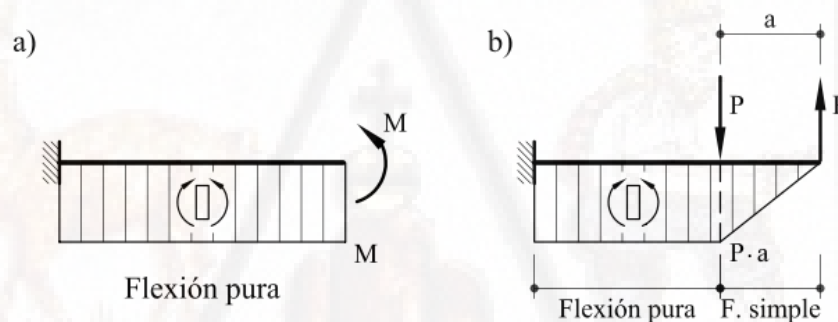


Figura 2.3 Voladizo sometido a (a) flexión pura y (b) flexión pura y flexión simple
 Fuente: Cervera & Blanco, 2001.

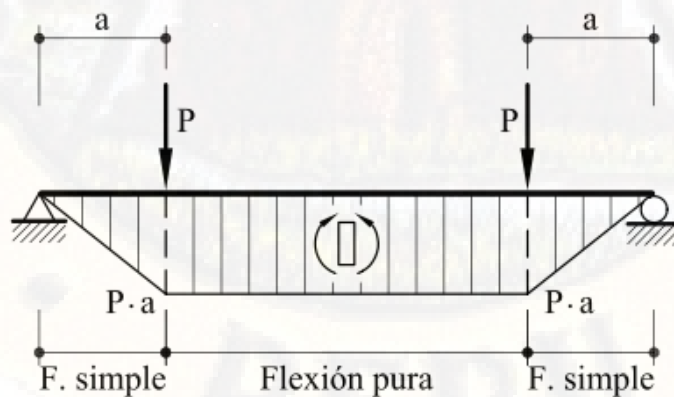


Figura 2.4 Viga apoyada a flexión pura para en su zona central
 Fuente: Cervera & Blanco, 2001

“El diseño de la viga se controla, por general, mediante el máximo valor absoluto $|M|_{max}$ del momento flector que ocurrirá en la viga”. (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2010, pág. 332)

Las vigas prismáticas, es decir, vigas con sección transversal uniforme se diseñan de tal manera que, los esfuerzos normales en sus secciones críticas sean iguales al valor permisible del esfuerzo normal para el material que se utiliza; por lo tanto, en otras secciones, los esfuerzos normales serán más pequeños, posiblemente mucho más pequeños, que sus valores permisibles. Esto significa que una viga prismática, casi siempre está sobre diseñada, y que es posible lograr un considerable ahorro de material utilizando vigas no prismáticas, es decir, vigas con sección transversal variable.

Como los esfuerzos normales máximos σ_m generalmente condicionan el diseño de una viga, el diseño de una viga no prismática será óptimo si el módulo de sección $S = I/c$ de cada sección transversal satisface la ecuación.

$$S = \frac{|M|}{\sigma_{perm}} \quad (2.2.5)$$

Una viga diseñada de esta manera se conoce como viga de resistencia constante. (Beer, Johnston, DeWolf, & Mazurek, 2010, pág. 354)

Para una viga de sección rectangular de ancho b y altura h , se tiene:

$$S = \frac{I}{c} = \frac{\frac{1}{12}bh^3}{h/12} = \frac{1}{6}bh^2 = \frac{1}{6}Ah \quad (2.2.6)$$

2.2.3. Vigas acarteladas

Las estructuras compuestas por barras de sección variable son poco frecuentes en nuestro medio, pero podrían presentarse por razones de arquitectura (capillas, iglesias, etc.) y otras veces por motivos estructurales, por ejemplo, en estructuras con grandes luces o con altas sobrecargas, puede colocarse cartelas (incremento gradual de altura)

en los extremos de las vigas, con la finalidad de disminuir las deflexiones y los momentos positivos a costa de incrementar los momentos negativos (San Bartolomé, 1998, pág. 97)

Con frecuencia, las trabes que se usan en los claros grandes de puentes y edificios se diseñan como vigas no prismáticas, es decir, que deben contar con momentos de inercia variables; lo anterior, con el fin de ahorrar material. Las formas más comunes de los elementos estructurales no prismáticos tienen enriñonados que son escalonados, ahusados o parabólicos. Siempre que sea posible expresar el momento de inercia del elemento en función de la coordenada x de longitud, se puede usar el principio de trabajo virtual o teorema de Castigliano. (Hibbeler R. , 2012, pág. 523)

Según el autor (Brito, 2014)

Las vigas acarteladas se definen como elementos estructurales que varían de sección en los extremos de la unión con las columnas con la finalidad de disminuir las deflexiones y los momentos positivos cuando se incrementan los negativos.

Usos y ventajas

El uso de vigas acarteladas de concreto reforzado son muy importantes como alternativa estructural para el diseño de edificios de grandes luces, ya que proporcionan algunas ventajas sobre las vigas de concreto de sección constante, entre las cuales se pueden mencionar las siguientes:

- a. Aumenta la rigidez lateral.
- b. Reduce el peso.
- c. Reduce la altura de entrepiso.
- d. Disminuye la cantidad de concreto.
- e. Facilita la ubicación de las diferentes instalaciones (sanitarias, eléctricas, ductos de aire acondicionado).

La principal desventaja de estos elementos estructurales es en la colocación del encofrado por los diferentes cortes, y el ángulo de inclinación del acero de refuerzo metálico, que son totalmente diferentes a las vigas de sección constantes. (pág. 4)

2.2.3.1. Tipos de cartelas.

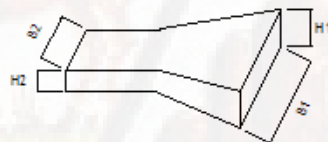
Según (Estévez & Reiley, 2006) Entre las cartelas, las más comunes son: Cartelas Rectas, Cartelas Prismáticas y Cartelas Parabólicas.

Cartelas Rectas: son aquellas donde la variación entre las caras de la sección varía linealmente, es decir, la relación alto-ancho de la sección es proporcional a una constante. (pág. 25)

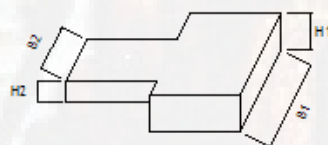
Cartelas Prismáticas: son aquellas donde la variación entre las caras de la sección mantiene una relación uno a uno. (pág. 25)

Cartelas Parabólicas: la variación entre sus caras responde a la ecuación de una parábola (pág. 26)

a) CARTELA RECTA



b) CARTELA PRISMÁTICA



c) CARTELA PARABÓLICA

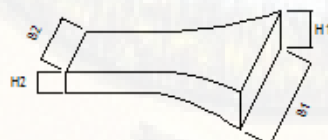


Figura 2.5 Tipos de cartelas.

Fuente: Estévez & Reiley, 2006.

2.2.3.2. Análisis de vigas acarteladas

Una de las grandes inquietudes de la ingeniería estructural durante los últimos 50 años es proponer métodos de análisis elástico confiable, que permitan modelar satisfactoriamente a los elementos de sección variable, de manera que se tenga certidumbre en la determinación de elementos mecánicos, deformaciones y desplazamientos que permitan diseñar adecuadamente a este tipo de elementos. Según refiere (Tena, 2007, pág. 101)

Así mismo refieren que durante el siglo pasado, entre 1950 y 1960 se desarrollaron varias ayudas de diseño, como las presentadas por Guldán (1956), y las más conocidas tablas publicadas por la Portland Cement Association (PCA) en 1958 (“Handbook”, 1958), donde se presentan constantes de rigideces y momentos de empotramiento de elementos de sección variable (“Handbook”, 1958). Dadas las limitaciones para hacer cálculos extensivos en esa época en las tablas del PCA se utilizaron varias hipótesis para simplificar el problema, entre las más importantes, considerar la variación de la rigidez de las cartelas (lineal o parabólica, según sea el caso de la geometría de acartelamiento) en función del momento de inercia principal en flexión, considerándolo independiente de sección transversal, lo que demostró que no es así (Tena –Colunga, 1996). Además, se despreciaron las deformaciones por cortante, así como la relación claro-altura de la viga en la definición de los diversos factores de rigidez, simplificaciones que pueden llevar a errores significativos en la determinación de los factores de rigidez (Tena –Colunga, 1996).

Existen diferentes métodos para analizar elementos no prismáticos:

a. Métodos Matriciales

Método de las Rigideces (Desplazamientos) $P = Ku$

Método de las Flexibilidades (Fuerzas) $u = K^{-1}P$

Método Combinado

b. Método de Aproximación (Método de Newmark)

c. Método de Integraciones Numéricas o Soluciones por Partes

d. Método de los elementos finitos.

Para el presente estudio se utilizará el método de los elementos finitos.

2.2.3.3.El método de los elementos finitos

Debido a la complejidad de las ecuaciones de gobierno de las estructuras continuas y, en general, de la mayoría de las estructuras se hace imprescindible la utilización del método de los elementos finitos o MEF. Este método determina el comportamiento de una estructura ante las cargas sustituyendo la solución continua, exacta y en la mayoría de los casos imposible del sistema de ecuaciones diferenciales que conforman el problema elástico por una solución discontinua o discreta y, por tanto, aproximada. Para ello discretiza la estructura, es decir, la divide en elementos no diferenciales, o elementos finitos, interconectados entre sí a través de un determinado número de puntos, que llamaremos nodos.

Después de estudiar cada elemento por separado se recompone la estructura restableciendo el equilibrio y la compatibilidad de desplazamientos en los nodos, lo que da lugar a un sistema de ecuaciones algebraicas. La resolución de este sistema de ecuaciones permite hallar los desplazamientos de los nodos y, a partir de ellos, las restantes incógnitas de la estructura. Es un método aproximado cuyo grado de aproximación aumenta con el número de elementos en que se divide la estructura, cuando la aplicación del método es correcta. (Vázquez & López, 2001, pág. 31)

Fases Del Método

Chapra y Canale, (2007)

Aunque las particularidades varían, la implementación del método del elemento finito usualmente sigue un procedimiento estándar paso a paso. A continuación, se presenta un panorama general de cada uno de estos pasos.

1. Discretización

Este paso consiste en dividir el dominio de la solución en elementos finitos. En la Figura 2.6 se muestran ejemplos de los elementos empleados en una, dos y tres dimensiones. Los puntos de intersección de las líneas que forman los lados de los elementos se conocen como nodos, y los mismos lados se denominan líneas o planos nodales.

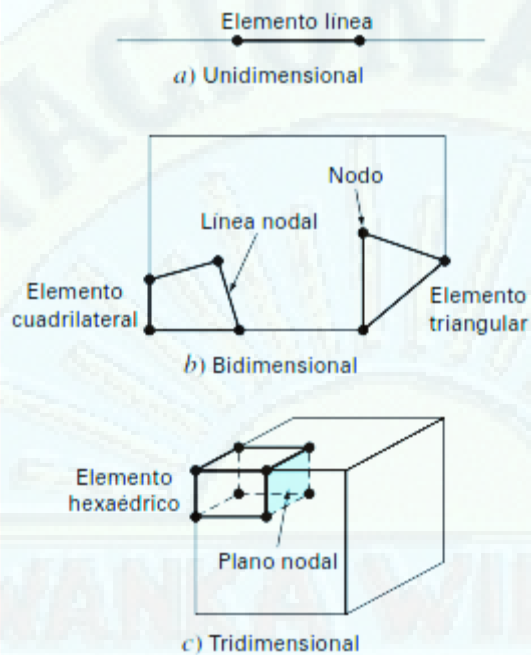


Figura 2.6 Elementos de dos y tres Dimensiones.

Fuente: Chapra y Canale, 2007.

2. Ecuaciones de los elementos

El siguiente paso consiste en desarrollar ecuaciones para aproximar la solución de cada elemento y consta de dos pasos. Primero, se debe elegir una función apropiada con coeficientes desconocidos que aproximará la solución. Segundo, se evalúan los coeficientes de modo que la función aproxime la solución de manera óptima.

Elección de las funciones de aproximación. Debido a que son fáciles de manipular matemáticamente, a menudo se utilizan polinomios para este propósito. En el caso unidimensional, la alternativa más sencilla es un polinomio de primer grado o línea recta.

$$u(x) = a_0 + a_1x \quad (2.2.7)$$

Donde $u(x)$ = la variable dependiente, a_0 y a_1 = constantes y x = la variable independiente. Esta función debe pasar a través de los valores $u(x)$ en los puntos extremos del elemento en x_1 y x_2 . Por lo tanto,

$$u_1 = a_0 + a_1x_1$$

$$u_2 = a_0 + a_1 x_2$$

Donde $u_1 = u(x_1)$ y $u_2 = u(x_2)$. De estas ecuaciones, usando la regla de Cramer, se obtiene

$$a_0 = \frac{u_1 x_2 - u_2 x_1}{x_2 - x_1} \quad a_1 = \frac{u_2 - u_1}{x_2 - x_1}$$

Estos resultados se sustituyen en la ecuación (2.2.7) la cual, después de reagrupar términos, se escribe como

$$u = N_1 u_1 + N_2 u_2 \quad (2.2.8)$$

Donde

$$N_1 = \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} \quad (2.2.9)$$

Y

$$N_2 = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} \quad (2.2.10)$$

La ecuación (2.2.8) se conoce como una función de aproximación, o de forma, y N_1 y N_2 se denominan funciones de interpolación. Una inspección cuidadosa revela que la ecuación (2.2.8) es, en realidad, el polinomio de interpolación de primer grado de Lagrange. Esta ecuación ofrece un medio para predecir valores intermedios (es decir, para interpolar) entre valores u_1 y u_2 en los nodos.

La Figura 2.7 muestra la función de forma junto con las funciones de interpolación correspondientes. Observe que la suma de las funciones de interpolación es igual a uno.

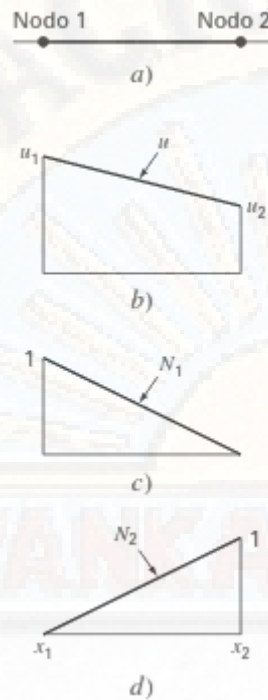


Figura 2.7 b) una aproximación lineal o función de forma para a) un elemento lineal. Las funciones de interpolación correspondientes se muestran en c) y d)

Fuente: Chapra y Canale, 2007

Además, el hecho de que estemos tratando con ecuaciones lineales facilita las operaciones como la diferenciación y la integración.

$$\frac{du}{dx} = \frac{dN_1}{dx} u_1 + \frac{dN_2}{dx} u_2 \quad (2.2.11)$$

De acuerdo con las ecuaciones (2.2.9) y (2.2.10), las derivadas de las N se calculan como sigue

$$\frac{dN_1}{dx} = -\frac{1}{x_2 - x_1} \quad \frac{dN_2}{dx} = \frac{1}{x_2 - x_1} \quad (2.2.12)$$

Y, por lo tanto, la derivada de u es

$$\frac{du}{dx} = \frac{1}{x_2 - x_1} (-u_1 + u_2) \quad (2.2.13)$$

En otras palabras, es una diferencia dividida que presenta la pendiente de la línea recta que une los nodos.

La integral se expresa como

$$\int_{x_1}^{x_2} u dx = \int_{x_1}^{x_2} N_1 u_1 + N_2 u_2 dx \quad (2.2.14)$$

Cada uno de los términos de lado derecho es simplemente la integral de un triángulo rectángulo con base $x_2 - x_1$ y altura u . Es decir,

$$\int_{x_1}^{x_2} N u dx = \frac{1}{2} (x_2 - x_1) u$$

Así, la integral completa es

$$\int_{x_1}^{x_2} u dx = \frac{u_1 + u_2}{2} (x_2 - x_1) \quad (2.2.15)$$

En otras palabras, esto es simplemente la regla del trapecio.

Obtención de un ajuste óptimo de la función a la solución. Una vez que se ha elegido la función de interpolación, se debe desarrollar la ecuación que rige el comportamiento del elemento. Esta ecuación representa un ajuste de la función a la solución de la ecuación diferencial de que se trate. Existen varios métodos para este propósito; entre los más comunes están el método directo, el método de los residuos ponderados y el método variacional. Los resultados de todos estos métodos son análogos al ajuste de curvas. Sin embargo, en lugar de ajustar funciones a datos, estos métodos especifican relaciones entre las incógnitas de la ecuación (2.2.8) que satisfacen de manera óptima la EDP.

Matemáticamente, las ecuaciones del elemento resultante a menudo consisten en un sistema de ecuaciones algebraicas lineales que puede expresarse en forma matricial

$$[k]u = \{F\} \quad (2.2.16)$$

Donde $[k]$ = una propiedad del elemento o matriz de rigidez, $[u]$ = vector columna de las incógnitas en los nodos y $\{F\}$ = vector columna determinado por el efecto de cualquier influencia externa aplica a los nodos. Observe que, en algunos casos, las ecuaciones pueden ser no lineales. Sin embargo, en los ejemplos elementales descritos aquí, así como en muchos problemas prácticos, los sistemas son lineales.

3. Ensamble

Una vez obtenidas las ecuaciones de elementos individuales, estas deben unirse o ensamblarse para caracterizar el comportamiento de todo el sistema. El proceso de ensamble está regido por el concepto de continuidad. Es decir, las soluciones de elementos contiguos se acoplan, de manera que los valores de las incógnitas (y algunas veces las derivadas) en sus nodos comunes sean equivalentes. Así, la solución total será continua.

Cuando finalmente todas las versiones individuales de la ecuación están ensambladas, el sistema completo se expresa en forma matricial como:

$$[K]\{u'\} = \{F'\} \quad (2.2.17)$$

Donde $[K]$ = la matriz de propiedades de ensamble y $\{u'\}$ y $\{F'\}$ = vectores columna de las incógnitas y de las fuerzas externas, marcadas con apóstrofes para denotar que son ensamble de los vectores $\{u\}$ y $\{F\}$ de los elementos individuales.

4. Condiciones de frontera

Antes de resolver la ecuación (2.2.17) debe modificarse para considerar las condiciones de frontera del sistema. Dichos ajustes dan como resultado:

$$[K^-]\{u'\} = \{F'\} \quad (2.2.18)$$

Donde la barra significa que las condiciones de frontera se han incorporado.

5. Solución

Las soluciones de la ecuación (2.2.18) se obtienen con las técnicas tal como la descomposición LU. En muchos casos, los elementos pueden configurarse de manera que las ecuaciones resultantes sean bandeadas. Así, es posible utilizar los esquemas de solución altamente eficientes para estos sistemas.

6. Procesamiento posterior

Una vez obtenida la solución, esta se despliega en forma tabular o de manera gráfica. Además, pueden determinarse las variables secundarias y también mostrarse.

Aunque los pasos anteriores son muy generales, son comunes a la mayoría de las implementaciones del método del elemento finito. (pág. 909).

2.2.3.4. Software ANSYS

García, 2014 menciona con respecto al software:

ANSYS Inc., cuyo objetivo es predecir el comportamiento real de los productos. Este programa cuenta con un amplio abanico de posibilidades que hacen de él un instrumento perfecto para todo tipo de aplicaciones, tanto en la industria como en investigación. El repertorio de industrias y ramas de la ciencia y tecnología que sustenta ANSYS es muy amplio.

ANSYS fue fundada en 1970 en Pittsburg, EE. UU., y surgió a raíz de unos códigos creados para predecir los esfuerzos originados en un reactor de la compañía Westinghouse a partir de las condiciones de presión y temperatura a las que estaba sometido. Más tarde fue expandiéndose a otro tipo de disciplinas hasta dar soporte a una amplia gama de sectores actualmente.

Entre las industrias que utilizan ANSYS destacan la aeroespacial y la de automoción. La industria aeroespacial fue pionera en incorporar métodos informáticos para el avance de sus modelos, pretendiendo así construir sistemas más ligeros, eficientes, seguros y duraderos sin necesidad de realizar costosas pruebas físicas. Esta rama de la ingeniería no se centra en una única disciplina de la física, sino que debe manejar conocimientos sobre dinámica de fluidos, análisis estructural o componentes

electrónicos. ANSYS incorpora todas estas competencias, por lo que puede facilitar una perspectiva del conjunto desde distintos puntos de vista. Es por este motivo por el que este software es capaz de realizar simulaciones de distintos campos de la física, desde la gestión de materiales inteligentes con memoria térmica hasta el análisis de la dinámica multicuerpo, simulaciones de golpes de pájaros o la optimización de componentes.

ANSYS es una herramienta en constante innovación, por lo que debe manejar materias específicas que ayuden a los diseñadores a tomar decisiones. Con las herramientas que ofrece este programa es posible predecir el paso de flujo laminar a turbulento o predecir con precisión los efectos aerolásticos de fluidos y estructuras no lineales a través de un flujo transónico. Además, este software es capaz de modelar el comportamiento de nuevos materiales cada vez más utilizados en la industria, como es el caso de los composites.

Podemos decir que ANSYS es un programa de simulación multidisciplinar de gran precisión que se adapta a las necesidades actuales y se renueva constantemente para estar a la última y ofrecer productos novedosos. (pág. 22)

Ansys APDL.

APDL es un acrónimo de ANSYS Parametric Design Language, un poderoso lenguaje de secuencias de comandos que le permite parametrizar su modelo y realizar tareas comunes.

Usando APDL, puedes:

- Ingresar las dimensiones del modelo, las propiedades del material, etc. en términos de parámetros en lugar de números.
- Recuperar información de la base de datos ANSYS, como una ubicación de nodo de máxima tensión.
- Realizar cálculos matemáticos entre parámetros, incluidas las operaciones de vector y matriz.
- Definir abreviaturas (atajos) para comandos o macros de uso frecuente

- Cree una macro para ejecutar una secuencia o tareas, con ramificaciones if-then-else, do-loops y mensajes de usuario.

Estructura básica del programa

El tratamiento de problemas de ingeniería básicamente contiene tres partes principales: crear un modelo, resolver el problema, analizar los resultados. ANSYS, como muchos otros programas FE, también se divide en tres partes principales (procesadores) que se denominan *preprocesador*, *procesador de solución* y *postprocesador*. Otro software puede contener solo la parte de preprocesamiento o solo la parte de postprocesamiento. Durante el análisis, se comunicará con ANSYS a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI), que se describe a continuación y se ve en la Figura 1.

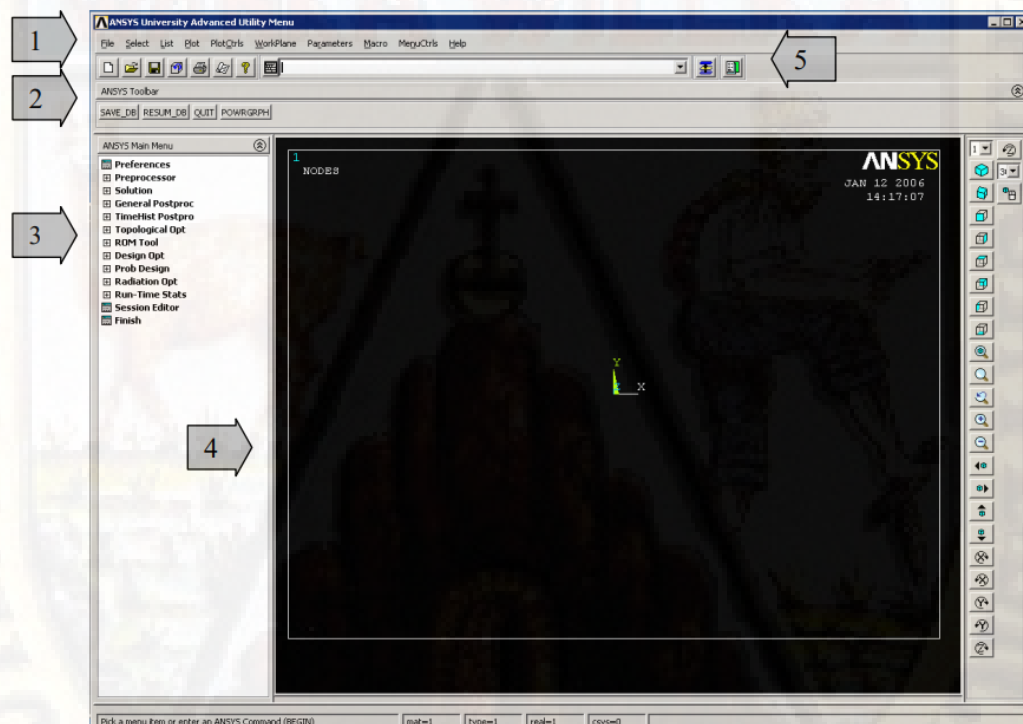


Figura 2.8 Interfaz gráfica de usuario (GUI) de ANSYS,

Fuente: Elaboración Propia.

1. **Menú de utilidades:** Aquí puede acceder y ajustar propiedades sobre su sesión, como controles de archivos, listados y controles gráficos.
2. **Barra de herramientas:** presione los botones para los comandos más utilizados.

3. **Menú principal:** Aquí puede encontrar los procesadores utilizados al analizar su problema.
4. **Ventana de gráficos:** En la ventana de gráficos se muestra su modelo; geometría, elementos, visualización de resultados, etc.
5. **Ventana de entrada:** Puede escribir comandos en la ventana de entrada.

Preprocesador

Dentro del preprocesador, el modelo está configurado. Incluye una serie de pasos y generalmente en el siguiente orden:

1. **Construir geometría.** Dependiendo de si la geometría del problema es de una, dos o tres dimensiones, la geometría consiste en crear líneas, áreas o volúmenes. Estas geometrías pueden, si es necesario, usarse para crear otras geometrías mediante el uso de operaciones booleanas. La idea clave al construir una geometría como esta es simplificar la generación de la malla del elemento. Por lo tanto, este paso es opcional, pero se usa con mayor frecuencia. Sin embargo, los nodos y los elementos solo se pueden crear a partir de coordenadas.
2. **Definir materiales.** Un material se define por sus constantes materiales. A cada elemento se le debe asignar un material en particular.
3. **Generar malla de elementos.** El problema se discretiza con puntos nodales. Los nodos están conectados para formar elementos finitos, que juntos forman el volumen del material. Dependiendo del problema y las suposiciones que se hagan, se debe determinar el tipo de elemento. Los tipos de elementos comunes son truss, viga, placa, carcasa y elementos sólidos. Cada tipo de elemento puede contener varios subtipos, Elementos sólidos 2D de 4 nodos, elementos sólidos 3D de 20 nodos. Por lo tanto, se debe tener cuidado cuando se elige el tipo de elemento.

El elemento mesh en ANSYS se puede crear de varias maneras. La forma más común es que se crea automáticamente, sin embargo, más o menos controlado.

Por ejemplo, puede especificar un cierto número de elementos en un área específica, o puede forzar al generador de malla a mantener un tamaño de elemento específico dentro de un área. No se recomiendan ciertas formas o tamaños de elementos y si se violan estos límites, se generará una advertencia en ANSYS. Depende del usuario crear una malla que pueda generar resultados con un grado suficiente de precisión.

Procesador de soluciones

Aquí puede resolver el problema reuniendo toda la información especificada sobre el problema:

1. **Aplicar cargas:** las condiciones de contorno generalmente se aplican en nodos o elementos. La cantidad prescrita puede ser, por ejemplo, fuerza, tracción, desplazamiento, momento, rotación. Las cargas en ANSYS también pueden editarse desde el preprocesador.
2. **Obtener solución:** la solución al problema se puede obtener si se define todo el problema.

Postprocesador

Dentro de esta parte del análisis puede, por ejemplo:

1. **Visualice los resultados:** Por ejemplo, trace la forma deformada de la geometría o las tensiones.
2. **Enumere los resultados:** Si prefiere listados tabulares o impresiones de archivos, es posible.

2.2.3.5. Diseño de vigas acarteladas de concreto armado

Diseño por flexión

Hipótesis para determinar la resistencia nominal a flexión.

1. El concreto no podrá desarrollar una fuerza de compresión mayor a la de su resistencia f'_c
2. El concreto tiene una resistencia a la tracción muy pequeña y que se agrieta aproximadamente cuando este alcanza un 10% de su resistencia f'_c por lo que se omite en los cálculos de análisis y diseño y se asume que el acero toma toda la fuerza total en tracción.
3. La relación esfuerzo-deformación del concreto se considera lineal solo hasta aproximadamente el 50% de su resistencia.
4. Prevalece la hipótesis de Bernoulli en la que las secciones planas antes de la flexión permanecen planas y perpendiculares al eje neutro después de la flexión.
5. La deformación unitaria del concreto en la rotura es: $\epsilon_{cu} = 0.003$

Análisis de secciones de viga con falla dúctil

La ecuación que relaciona el momento último y el área de acero es:

$$M_u = \phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (2.2.19)$$

Donde ϕ es el factor de reducción que para vigas es $\phi = 0.9$

Además a es:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

Para el diseño por flexión debemos saber que el tipo de falla deseable es la falla dúctil con la cual la sección ha desarrollado grandes deformaciones.

El Código ACI da los límites de cuantía para el diseño:

Cuantía máxima

$$\rho_{max} = 0.75\rho_b \quad (2.2.20)$$

Para zona sísmica se tomará como cuantía máxima el valor de $0.5\rho_b$

$$\rho_b = \beta 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$

Para vigas es $\beta = 0.85$

Cuantía mínima

$$\rho_{min} = \frac{14}{f_y} \text{ o } \rho_{min} = 0.8 \frac{\sqrt{f'_c}}{f_y}$$

Donde f'_c y f_y están en kg/cm^2 .

Diseño por fuerza cortante

La fuerza cortante que resiste una viga será la que proporciona el concreto y el acero transversal, es decir:

$$V_n = V_c + V_s \quad (2.2.21)$$

Fuerza cortante que resiste el concreto (V_c)

$$V_c = 0.5\sqrt{f'_c}bd \quad (2.2.22)$$

Donde f'_c en kg/cm^2 . b_w , d en cm

Fuerza cortante que resiste el acero (V_s)

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad (2.2.23)$$

Requisitos mínimos para el diseño por corte

1. Si $V_n \leq \frac{V_c}{2}$, entonces no se necesita ningún tipo de refuerzo transversal.
2. Si $V_n \geq \frac{V_c}{2} \wedge V_n \leq V_c$ entonces un refuerzo transversal mínimo.

$$A_{vmin} = 3.5b_w \frac{s}{f_y}$$

Donde $s \leq \frac{d}{2} \wedge s \leq 60 \text{ cm}$

3. Si $V_n \geq V_c$ tenemos:

- si $V_s \leq 1.06\sqrt{f'_c}b_wd$, entonces: $s \leq \frac{d}{2} \quad \wedge \quad s \leq 60 \text{ cm}$

- si $V_s \leq 1.06\sqrt{f'_c}b_wd \quad \wedge \quad V_s \leq 1.12\sqrt{f'_c}b_wd$

entonces: $s \leq \frac{d}{4} \quad \vee \quad s \leq 30 \text{ cm}$

4. si $V_s \geq 2.12\sqrt{f'_c}b_wd$, entonces:

- Cambiar la sección
- Mejorará la calidad del concreto.

Diseño por fuerza cortante

La resistencia nominal V_n a cortante de las vigas acartelada se determinó según el enfoque tradicional que establece que la resistencia a cortante mediante la suma de las contribuciones del concreto, V_{cR} y del acero, V_{sR}

$$V_n = V_{cR} + V_{sR} \quad (2.2.24)$$

Contribución del concreto

$$V_{cR} = 0.5\sqrt{f'_c}bd_{crit} \quad (2.2.25)$$

En la cual la altura crítica está determinada por:

$$d_{crit} = d_{min}(1 + 1.37 \tan \alpha) \quad (2.2.26)$$

la cota superior para el valor de d_{crit} , el cual, dependiendo de la geometría, podría ubicarse fuera de las trabes, perdiendo su significado físico. Con la finalidad de evitar este problema, se limitó el máximo valor que puede tomar d_{crit} de tal manera que este valor sea la altura que se ubica a una distancia de media altura del apoyo. Debido a la linealidad de las cartelas, es muy sencillo determinar el valor límite establecido para la altura crítica:

$$d_{crit} \leq \left[\frac{h_{max}h_{min} - h_{max}^2}{2l_c} + h_{max} \right] - r \quad (2.2.27)$$

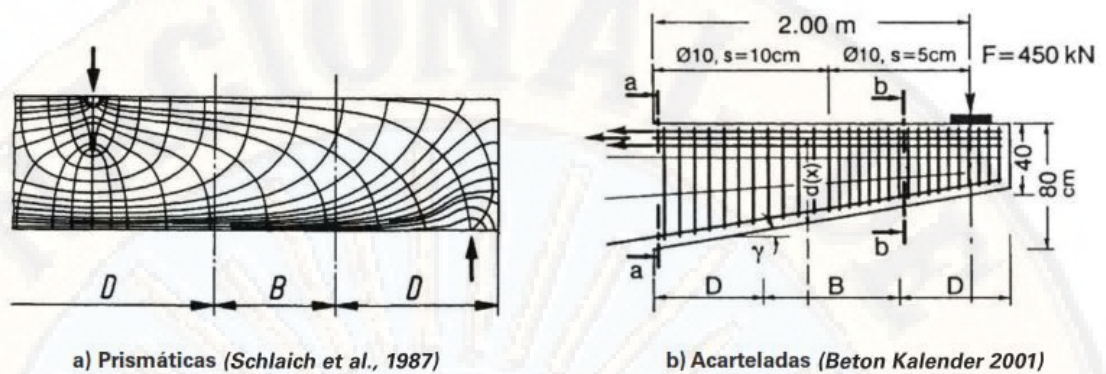


Figura 2.9 Regiones B-D en vigas prismáticas y acartelada.

Fuente: Archundia & Tena, 2013.

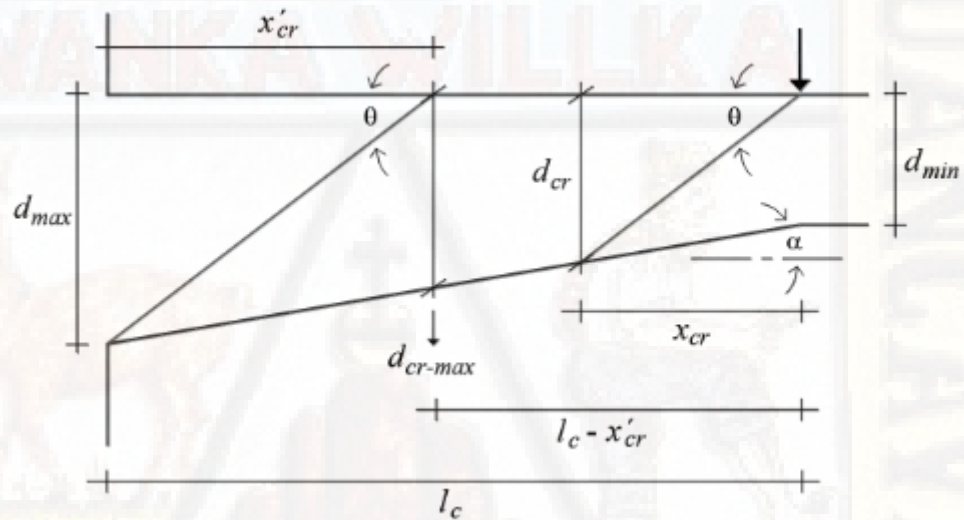


Figura 2.10 Cota superior para el altura crítico.

Fuente: Archundia & Tena, 2013.

$$x_{cr} = \frac{d_{min}}{\tan \theta - \tan \alpha}$$

Y

$$x'_{cr} = \frac{d_{max}}{\tan \theta}$$

Donde θ es el ángulo de inclinación del campo de compresión que es generalmente

45°

$$x_{cr} = \frac{d_{min}}{1 - \tan \alpha} \quad (2.2.28)$$

$$x'_{cr} = d_{max} \quad (2.2.29)$$

Donde h_{max} y h_{min} son las alturas totales máximas y mínimas de la cartela, l_c es la longitud de la cartela y r el recubrimiento.

Contribución del acero de refuerzo transversal

Una manera más realista de considerar la contribución de los estribos en la resistencia a cortante, es cuantificando el número de estribos, n espaciados una a una distancia, s , dentro de la porción de la longitud acartelada γl_c en la que se extiende todo el agrietamiento.

$$V_{sR} = \gamma \frac{A_s f_y l_c}{s} \quad (2.2.30)$$

A partir de los experimentos se determinó que el agrietamiento se extiende aproximadamente en un 85% de la longitud acartelada ($\gamma = 0.85$)

2.2.4. Geometría de acartelamiento

Geometría de acartelamiento se refiere a las dimensiones del acartelamiento, esto es: la longitud de acartelamiento y la altura de esta. Estos parámetros hacen variar el comportamiento de una viga acartelada, por lo que se debe encontrar una relación entre ellos para el diseño óptimo.

A diferencia del diseño, que es más un proceso de carácter subjetivo, el diseño óptimo es un proceso de carácter analítico pues permite contrastar exhaustivamente todas las posibilidades buscando la mejor solución al problema planteado.

a. Parámetros fijos:

- Longitud y ancho de la viga de concreto armado (L , b)
- Cargas o solicitaciones a las que estará sometida (W)
- Material de construcción.

b. Variables de diseño:

Variables de Geometría

- Altura de acartelamiento (H)

- Longitud de acartelamiento (L_c)

c. Variables de Armado

- Resistencia del concreto (f'_c)
- Área del refuerzo de acero ($A_s, A's$)

Según el autor (Estévez & Reiley, Estudio de la Influencia de Vigas Acarteladas en Porticos Planos de Concreto Armado, 2006)

Al introducir una variación dentro de las secciones de los elementos que conforman la estructura, el comportamiento de éstos cambia en función a la geometría que se disponga. Las cartelas son variaciones presentes en los extremos de los elementos, donde, comúnmente en las vigas, son más anchas. El efecto más evidente de las cartelas es el aumento de los momentos negativos en los nodos y disminución de los momentos positivos en el centro del elemento debido a la variación en la rigidez. Un segundo efecto es el cambio de los factores de distribución en el elemento que también influyen en la variación de los momentos en el elemento; un último efecto es del aumento de la resistencia al corte en los extremos. Al disminuir el momento en el centro del elemento la deformación disminuye, es decir, su flecha se reduce haciendo posible la disminución de material en este sector. (pág. 25)

2.2.5. Optimización

A partir del planteamiento general que se tiene sobre un diseño en ingeniería estructural, se establece la existencia de un número de propiedades estructurales, a las que podemos denominarlas: variables de diseño y que con la finalidad de alcanzar la configuración “ideal”, estas pueden ser modificadas a lo largo de todo el proceso, cuidando en todo momento que no se violenten las condiciones iniciales del problema (Hernández S.). Por lo tanto, este juego de variables se define como el conjunto de las variables de diseño que cumplen con alguna condición de restricción. (Álvarez, 2016)

Los problemas de optimización se componen generalmente de estos tres ingredientes.

Función objetivo

Es la medida cuantitativa del funcionamiento del sistema que se desea optimizar (maximizar o minimizar). Como ejemplo de función objetivo se puede mencionar la minimización del material utilizado en la fabricación de un producto.

Variables

Representan las decisiones que se pueden tomar para afectar el valor de la función objetivo. Desde un punto de vista funcional se pueden clasificar en variables independientes o principales o de control y variables dependientes o auxiliares o de estado, aunque matemáticamente todas son iguales. En caso de la fabricación de un producto, sus dimensiones físicas.

Restricciones

Representan el conjunto de relaciones (expresadas mediante ecuaciones e inecuaciones) que ciertas variables están obligadas a satisfacer.

Resolver un problema de optimización consiste en encontrar el valor que deben tomar las variables para hacer óptima la función objetivo satisfaciendo el conjunto de restricciones.

Los métodos clásicos de optimización son:

1. Programación lineal **LP**
2. Programación lineal entera mixta **MIP**
3. Programación cuadrática **QP**
4. Programación no lineal **NLP**

Programación no lineal

Se considera como tal al conjunto de métodos utilizados para optimizar una función objetivo, sujeta a una serie de restricciones en las que una o más de las variables incluidas es no lineal.

Como ejemplo considere el siguiente problema de programación no lineal

Minimizar $f(x)$

Sujeto a $g_i(x) \leq 0 \quad i = 1, 2, \dots, m$

Sujeto a $h_j(x) = 0 \quad j = 1, 2, \dots, l$

Donde $f, g_1, g_2, \dots, g_m, h_1, h_2, \dots, h_l$, son definidas en L_n el espacio euclidiano de n dimensiones. X es un sub conjunto de E_n , y x es un vector de componentes $x_1, x_2, \dots, x_n$.

El problema anterior puede ser resuelto para valores de las variables $x_1, x_2, \dots, x_n$ que satisfacen las restricciones y que minimicen la función f .

La función f es llamada usualmente la función objetivo o la función criterio. Cada una de las restricciones $g_i(x)$ para $i = 1, 2, \dots, m$ es llamado restricción de igualdad y cada una de las restricciones $h_j(x)$ para $j = 1, 2, \dots, l$ es llamada restricción de igualdad. Un vector $\vec{x}$ que satisface todas las restricciones es llamada una solución factible al problema.

La colección de todas las posibles soluciones forma la región factible. El problema de programación no lineal es encontrar un punto factible x tal que $f(x) \leq f(x)$ para cada punto factible x . Un punto tal x es llamado una solución óptima o simplemente una solución al problema. Si existe más de un punto óptimo, estos son referidos como soluciones alternativas óptimas.

Asimismo, un problema de programación no lineal puede expresarse como un problema de maximización y las restricciones de desigualdad pueden estar escritas en la forma $g_i(x) \geq 0$ para $i = 1, 2, \dots, m$. En el caso especial cuando la función objetivo es lineal y cuando todas las restricciones, incluyendo al conjunto X , puede ser representado por desigualdades lineales y/o ecuaciones lineales, el problema anterior es llamado un problema lineal.

2.3. Bases conceptuales

Altura de acartelamiento: Es la altura máxima de la sección variable de la viga.

Longitud de acartelamiento: Se refiere a la distancia horizontal de la viga con sección variable.

Flexión: Se refiere a los momentos causados en la viga por la aplicación de cargas perpendicular a su eje longitudinal.

2.4. Definición de términos

Acartelamiento: Aumento progresivo de altura de una viga de concreto armado por ensanchamiento análogo de sus elementos de apoyo.

Luz de viga: Es la distancia entre los apoyos de una viga

Momento flector negativo: Las fuerzas que actúan hacia abajo dan lugar a momentos flectores negativos.

Momento flector positivo: Las fuerzas que actúan hacia arriba respecto de cualquier sección producen momentos flectores positivos.

Resistencia a la flexión: Medida de la resistencia de un elemento o miembro estructural a las fuerzas flectoras.

Vigas: Las vigas son elementos estructurales que pueden ser de concreto armado, proyectado para soportar sobrecargas lineales, concentradas o uniformes, en una sola orientación.

Viga acartelada: Estos se definen como elementos estructurales que varían de sección en los extremos de la unión con las columnas o apoyos

2.5. Hipótesis (de ser necesario)

2.5.1. Hipótesis general

Existe una relación directa entre la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.

2.5.2. Hipótesis específicas

- Existe una relación directa entre la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.
- Existe una relación directa entre la altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.
- Existe una relación directa entre la longitud de una viga y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces.

2.6. Variables

2.6.1. Variable 1

Geometría de acartelamiento

Geometría de acartelamiento se refiere a las dimensiones del acartelamiento, esto es; la longitud de acartelamiento y la altura de acartelamiento.

2.6.2. Variable 2.

Resistencia a la flexión

Se refiere a la capacidad de una viga a resistir a momentos flectores.

2.7. Operacionalización de variables

Tabla 2.1: Identificación de variables

	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	FACTOR A MEDIR
VARIABLE 1	Geometría de acartelamiento	Geométrica	longitud de acartelamiento	Metros
			altura de acartelamiento	
			Longitud de viga acartelada	
VARIABLE 2	Resistencia a la flexión	Deformación	Desplazamiento máximo	Kgf.m
		Esfuerzos internos	Momento flector máximo positivo	
			Momento flector máximo negativo	

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Ámbito temporal y espacial

El ámbito de estudio del presente proyecto de investigación es en el departamento de Huancavelica

3.2. Tipo de investigación

El proyecto de investigación está enfocado al tipo de investigación Aplicada según: **Carrasco, 2005** afirma:

Esta investigación se distingue por tener propósitos prácticos inmediatos bien definidos, es decir, se investiga para actuar, transformar, modificar o producir cambios en un determinado sector de la realidad. (pág. 43)

Para realizar investigaciones aplicadas es muy importante contar con el aporte de las teorías científicas, que son producidas por la investigación básica y sustantiva. (pág. 44)

3.3. Nivel de investigación

El presente trabajo se desarrollará a nivel Descriptivo y Correlacional como señala: **Sampiere, Collado, y Lucio, 2010**

Los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis. Es decir, únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las

variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas. (pág. 80)

Los estudios de alcance correlacional tienen como finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular (pág. 83).

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población.

La población según Briones (2002) menciona que la “Población o universo es el conjunto de unidades que componen el colectivo en el cual se estudiará el fenómeno expuesto en el proyecto de investigación” (pág. 57).

Se trabajó con 160 vigas Acarteladas de propiedades geométricas diferentes

3.4.2. Muestra.

La muestra es censal, es decir que se ha seleccionado el 100% de la población

3.4.3. Muestreo.

Se considera como un muestreo no probabilísticas. Se ha seleccionado a criterio del investigador.

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

(Caballero, 2014)

Análisis documental: Utilizando como instrumentos de recolección de datos de las fuentes documentales, fichas textuales y de resumen, recurriendo como fuentes a libros especializados, documentos oficiales, que se aplicarán para obtener los datos de los dominios de las variables: (pág. 229)

3.5.1. Recopilación bibliográfica.

Esta metodología consistió en la búsqueda de información para el conocimiento global de las propiedades paramétricas de las vigas acarteladas según las experiencias, investigaciones y normas relacionadas con las vigas acarteladas tanto a nivel nacional como internacional. Específicamente, se identificó y analizó sus propiedades y dimensiones factibles de realizarse de

acuerdo a los lineamientos del Instituto Americano del Concreto versión 2014 (ACI-318SUS-14), Portland Cement Association (PCA, 1948), libros y artículos científicos nombrados en las referencias bibliográficas.

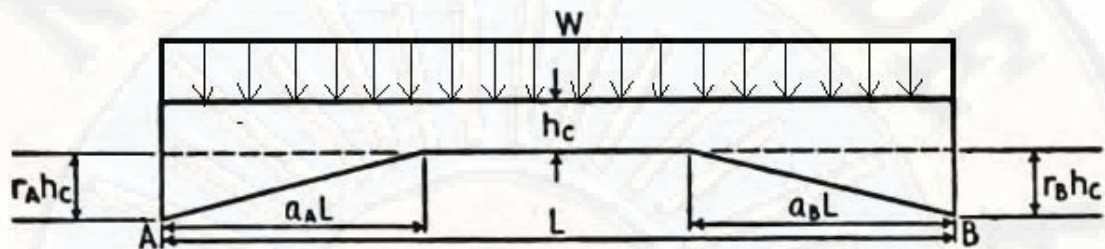


Figura 3.1 Propiedades paramétrica de una viga acartelada.

Fuente: Elaboración Propia.

Donde:

Luz de la viga	: (L)
Longitud de cartela	: (aL)
Altura de la viga constante	: (hc)
Altura de las cartelas con respecto a cada extremo	: $(rAhc, rBhc)$
Carga distribuida	: (W)
Relación de longitud de cartela y luz de viga	: $(aL/L = a)$
Relación de altura de cartela y viga constante	: $(rAhc, rBhc)/hc = (rA, rB)$

3.5.2. Elaboración de vigas acarteladas con distintas geometrías

Se ha propuesto vigas acarteladas de grandes luces y/o cargas elevadas, en total de 160 tipos de vigas con características geométricas mostradas en la Tabla 3.1 y con las siguientes consideraciones.

1. La viga es simétrica y empotrada
2. Luz de viga $L = 7.5\text{m}, 10.0\text{m}, 12.5\text{m}, 15.0\text{m}$
3. Altura de viga constante aproximadamente $hc = L/16$
4. Base de la viga $b = 0.30\text{m}$
5. Longitud de cartela $aL = (0.2, 0.3, 0.4, 0.5)L$
6. Altura de cartela $rhc = (0.2, 0.4, \dots, 2.0)hc$
7. $h_{max} \leq 2l_c + 2.74re - 2.74h_{min}$

Tabla 3.1 Viga propuestos con distintas geometrías

Luz de Viga	α	r
7.50 m	0.2	0.2
		0.4
		0.6
		0.8
		1.0
10.00 m	0.3	0.8
12.50 m	0.4	1.0
y	y	1.2
15.00 m	0.5	1.4
		1.6
		1.8
		2.0

Fuente: Elaboración propia

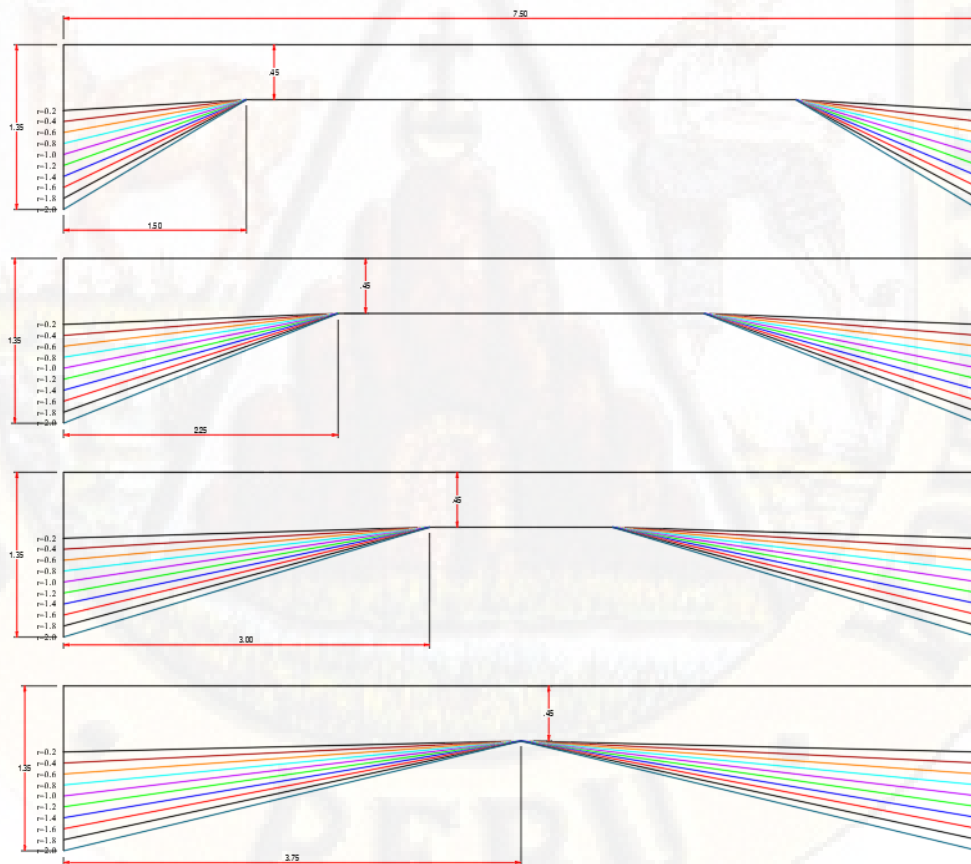


Figura 3.2 Variación de longitud y altura de cartela para una luz de viga

Fuente: Elaboración Propia.

Donde (α) es la relación de la luz de las vigas en términos de la longitud del miembro es 0,10; 0,20; 0,30; 0,40 y 0,50 (valor adimensional). Las profundidades de las vigas son dadas por el radio r , es el cociente de la profundidad de la viga y la profundidad de la sección más superficial, los valores de (r) son 0,2; 0,60; 2,00.

Todas estas geometrías se elaboraron haciendo uso de los softwares Microsoft Excel 2019 y se dibujaron con AutoCAD 2017.

3.6. Técnicas y procesamiento de análisis de datos

Los datos obtenidos mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos antes mencionados fueron incorporados a programas computarizados:

3.6.1. Cálculo de los momentos y desplazamiento con ANSYS APDL.

Se calcularon los momentos positivos, negativos y los desplazamientos máximos utilizando el paquete *Mechanica APDL* del software ANSYS 18.1 para cada uno de los 160 tipos de vigas acarteladas con los siguientes parámetros.

Propiedades del concreto

Resistencia a compresión : $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de elasticidad : $E = 2.1737E + 9 \text{ kg/cm}^2$

Módulo de Poisson : $\nu = 0.2$

Tipo de elemento: BEAM188 es adecuado para analizar estructuras de vigas delgadas a moderadamente gruesas / gruesas. El elemento se basa en la teoría del Vigas de Timoshenko que incluye efectos de deformación por corte. (ANSYS, Inc., 2017)

Tipo de sección 1: BEAM, sub tipo REC, Define una sección de viga y de tipo rectangular

Tipo de sección 2: TAPER Define una viga o sección de tubería cónica. Las secciones en los puntos finales deben ser topológicamente idénticas.

Mallado de la viga: El tamaño de la malla asignado a las vigas para una mejor precisión es de 0.02m

Condiciones de contorno: En los extremos de la viga, es decir en los apoyos, se ha restringido desplazamientos y rotaciones.

Tipo de análisis: Static, Análisis estático.

3.6.2. Elaboración de Regresiones polinomiales.

La fórmula simplificada para calcular momentos y desplazamientos para una viga prismática doblemente empotrada, como se muestra en la Figura 3.3 es:

$$M = -\eta WL^2 \quad (3.6.1)$$

Donde $\eta = 1/24$

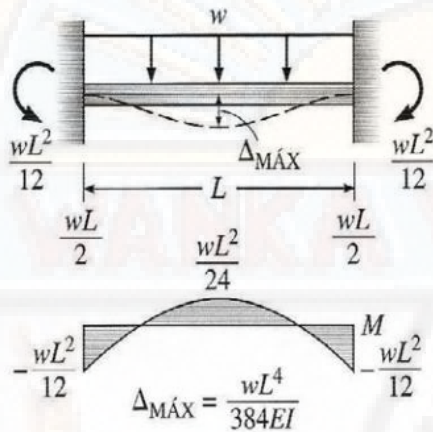


Figura 3.4 Momento máximo positivo, negativo y desplazamiento de viga prismática empotrada en los extremos.

Fuente: Rossi, 2012.

Para obtener el coeficiente η para calcular momentos negativos para una viga acartelada fue despejar la ecuación (3.6.1).

$$\eta = \frac{M}{WL^2} \quad (3.6.2)$$

Con los momentos calculados para cada viga con distintas altura y longitudes de acartelamiento con ANSYS APDL, se hace una regresión polinomial para calcular η para distintas alturas de cartela.

$$\eta = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (3.6.3)$$

Donde x es la altura efectivo máximo d_{max} esto con el fin de encontrar una altura y longitud de cartela óptimo.

3.6.3. Optimización de vigas acarteladas.

Minimizar:

$$Costo = \frac{h_{max} + h_{min}}{2} b L c C_c + A_s L c C_s + (h_{max} + h_{min} + b) L c C_{enc} \quad (3.6.4)$$

Sujeto a:

$$\phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) - M_u \geq 0 \quad (3.6.5)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b}$$

$$\frac{14}{f_y} \leq \frac{A_s}{b d} \leq 0.75 \rho_b \quad (3.6.6)$$

$$h_{max} \leq \text{ecuación (3.6.15)} \quad (3.6.7)$$

$$h_{max} \geq h_{min} \quad (3.6.8)$$

$$\rho_b = \beta 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left(\frac{6000}{6000 + f_y} \right)$$

Para vigas $\beta = 0.85$

Donde:

h_{max}	: Altura máxima de cartela	cm
h_{min}	: Altura mínima de cartela	cm
b	: Ancho de viga	cm
L	: Luz de viga	m
Lc	: Longitud de cartela	cm
C_c	: Costo del concreto	s./cm ³
C_s	: Costo del Acero	s./kg
C_{enc}	: Costo del encofrado	s./cm ²
ϕ	: Factor de reducción	
M_n	: Momento nominal del concreto	kg · m
A_s	: Área del acero del refuerzo	cm ²
f_y	: Punto de fluencia del acero	kg/cm ²
d	: Altura efectivo de la viga	cm

f'_c : Resistencia a compresión del concreto kg/cm^2

ρ : cuantía del área de acero

ρ_b : cuantía balanceada del área de acero

re : Recubrimiento del acero cm

Dándole una forma matemática a las ecuaciones anteriores:

Minimizar:

$$Costo = (a_1 + a_3)x + a_2y + a_5 \quad (3.6.9)$$

Sujeto a:

$$b_2y^2 + b_1xy + b_3 \geq 0 \quad (3.6.10)$$

$$c_1 \leq \frac{y}{x} \leq c_2 \quad (3.6.11)$$

$$c_4 \leq d \leq c_3 \quad (3.6.12)$$

Donde:

$$y = A_s$$

$$x = d$$

$$a_1 = \frac{bLcC_c}{2}$$

$$a_2 = LcC_s$$

$$a_3 = LcC_{enc}$$

$$a_4 = a_1h_{min} + a_3h_{min} + a_3b$$

$$a_5 = a_4 + (a_1 + a_3)re$$

$$b_1 = \phi f_y$$

$$b_2 = -\frac{\phi f_y^2}{1.7f'_c b}$$

$$b_3 = -M_d$$

$$c_1 = \frac{14}{f_y} b$$

$$c_2 = 0.75b\rho_b$$

$$c_3 = \text{ecuación (3.6.15)}$$

$$c_4 = h_{min} - re$$

Verificación de falla por cortante

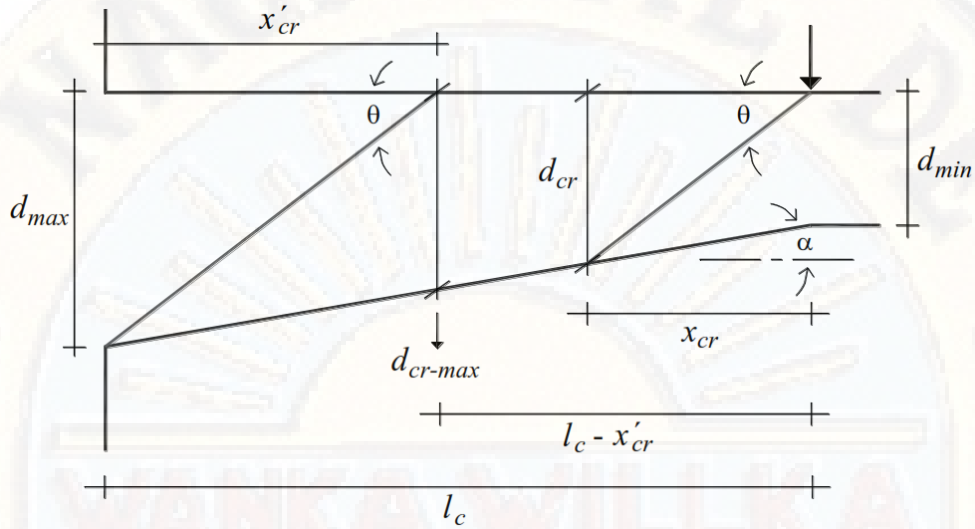


Figura 3.5 Campos de esfuerzo en la cartela.

Fuente: Hans Israel Archundia Aranda y Arturo Tena Colunga.

La carga distribuida máxima que puede soportar la viga en la sección de altura mínimo se puede expresar:

$$W = \frac{0.5\sqrt{f'_c}bd_{max}(1 - \tan \alpha)}{\frac{L}{2} - d_{max}} \quad (3.6.13)$$

La carga distribuida máxima que puede soportar la viga en la sección de altura máximo se puede expresar:

$$W = \frac{0.5\sqrt{f'_c}bd_{min}(1 + 1.35 \tan \alpha)}{\frac{L}{2} - L_c + \frac{d_{min}}{1 - \tan \alpha}} \quad (3.6.14)$$

Igualando las ecuaciones (2.2.13) y (2.2.14) se obtiene una relación entre h_{min} y h_{max}

$$d_{max} = \frac{L}{2} - \frac{d_{max}(1 - \tan \alpha)}{d_{min}(1 + 1.35 \tan \alpha)} \left(\frac{L}{2} - L_c + \frac{d_{min}}{1 - \tan \alpha} \right) \quad (3.6.15)$$

$$\tan \alpha = \frac{d_{max} - d_{min}}{L_c}$$

Para resolver d_{max} de la ecuación (3.6.15) puede ser resuelto por medio de métodos numéricos, el método del punto fijo, en específico. Cuando la altura máxima de la cartela es d_{max} significa que la resistencia a cortante con refuerzo mínimo en la sección mínima y sección máxima de la cartela son iguales.

3.6.4. Análisis de datos

Con respecto a las informaciones presentadas como figuras, gráficos, cuadros o resúmenes, se formularán apreciaciones descriptivas, se calificarán e interpretarán (esas apreciaciones con respecto al marco teórico) que se presentarán como apreciaciones resultantes del análisis.

Las “Conclusiones”; las apreciaciones resultantes del análisis directamente relacionadas con una determinada subhipótesis se usarán como premisas para contrastar esa subhipótesis; se procederá igual con cada una de ellas. El resultado de la contratación de cada subhipótesis dará la base para formular una conclusión parcial. Las “Recomendaciones”, cada conclusión dará base para formular una recomendación parcial.

PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Análisis de información

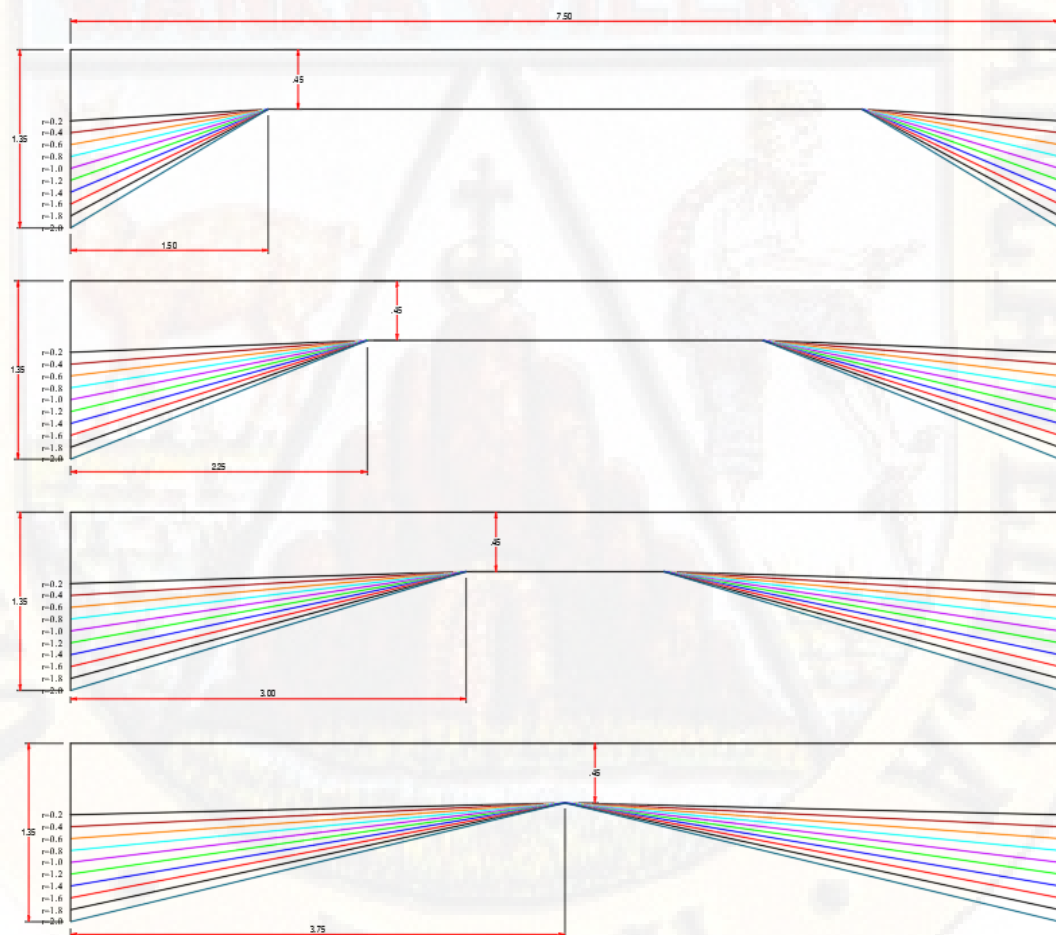


Figura 4.1 Variación de longitud y altura de cartela para vigas de luces 7.50, 10.0, 12.50, y 15.00m.

Fuente: Elaboración Propia.

4.1.1. Resultado par viga acartelada $L=7.50\text{m}$, $h_c=0.45\text{m}$.

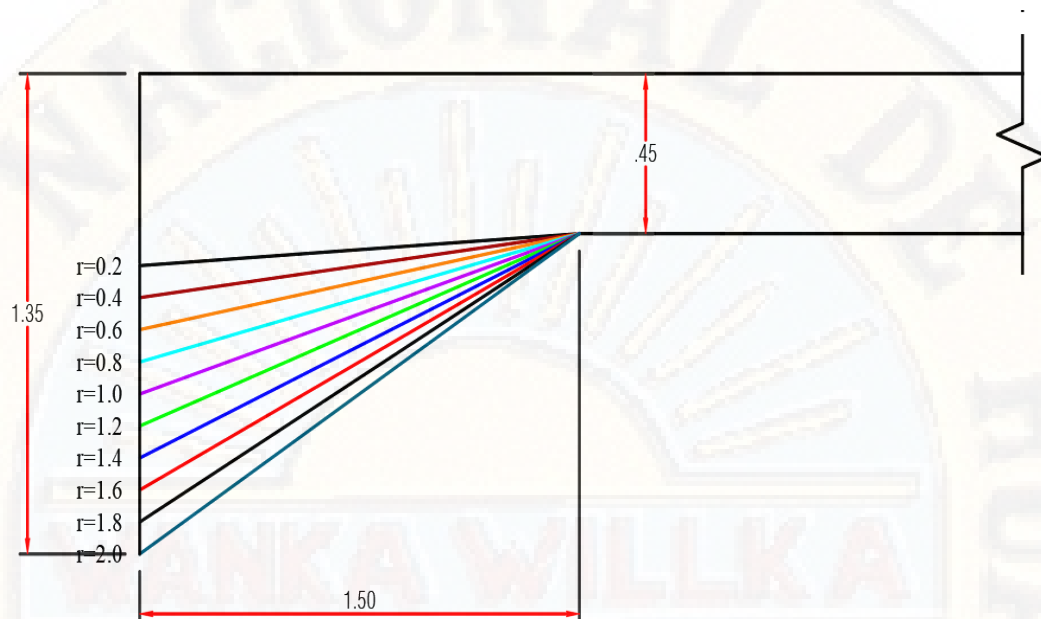


Figura 4.2 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5\text{m}$, $AL/L=0.2$

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.1

Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5\text{m}$, $aL/L=0.2$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
1	0.2	0.09	30x54	30x45	3.43	8161.90	19963.00	-5.559
2	0.4	0.18	30x63	30x45	6.84	7292.90	20832.00	-4.616
3	0.6	0.27	30x72	30x45	10.20	6651.60	21473.00	-3.942
4	0.8	0.36	30x81	30x45	13.50	6119.00	22006.00	-3.399
5	1.0	0.45	30x90	30x45	16.70	5788.50	22336.00	-3.070
6	1.2	0.54	30x99	30x45	19.80	5489.80	22635.00	-2.778
7	1.4	0.63	30x108	30x45	22.78	5248.90	22876.00	-2.548
8	1.6	0.72	30x117	30x45	25.64	5051.60	23073.00	-2.362
9	1.8	0.81	30x126	30x45	28.37	4887.70	23237.00	-2.211
10	2.0	0.90	30x135	30x45	30.96	4749.80	23375.00	-2.085

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 1.5m y la altura de cartela varía de 0.09 a 0.90 m.

Fuente: Elaboración propia.

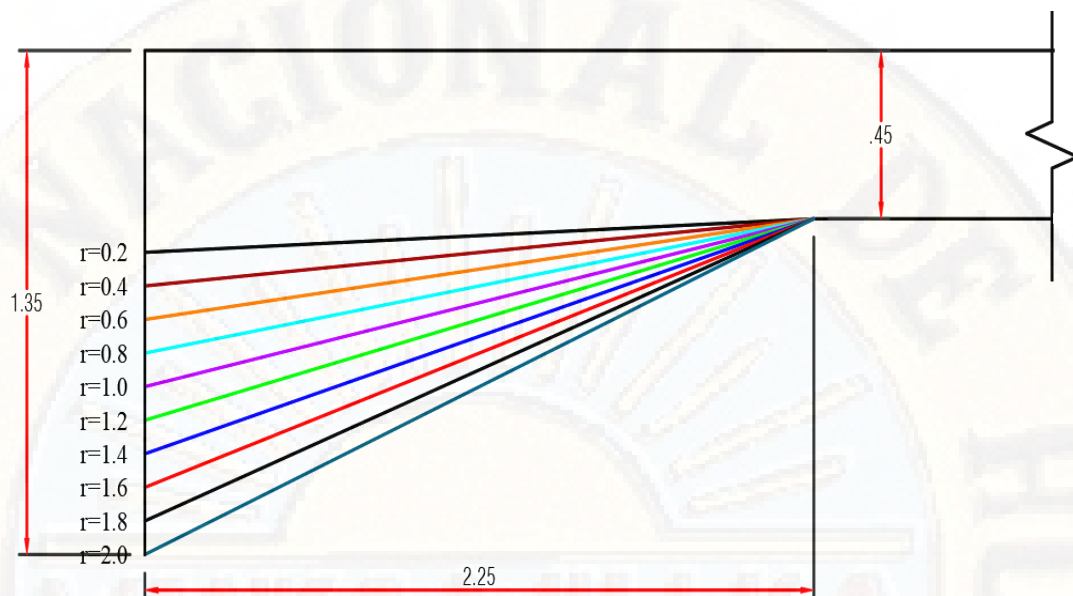


Figura 4.3 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5\text{m}$, $AL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.2

Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5\text{m}$, $aL/L=0.3$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
11	0.2	0.09	30x54	30x45	2.29	7941.20	20184.00	-5.375
12	0.4	0.18	30x63	30x45	4.57	6859.00	21266.00	-4.292
13	0.6	0.27	30x72	30x45	6.84	6027.80	22097.00	-3.512
14	0.8	0.36	30x81	30x45	9.09	5378.30	22747.00	-2.934
15	1.0	0.45	30x90	30x45	11.31	4862.60	23262.00	-2.495
16	1.2	0.54	30x99	30x45	13.50	4446.90	23678.00	-2.155
17	1.4	0.63	30x108	30x45	15.64	4107.20	24018.00	-1.887
18	1.6	0.72	30x117	30x45	17.74	3826.20	24299.00	-1.672
19	1.8	0.81	30x126	30x45	19.80	3591.20	24534.00	-1.497
20	2.0	0.90	30x135	30x45	21.80	3392.50	24732.00	-1.353

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 2.25m y la altura de cartela varia de 0.09 a 0.90m.

Fuente: Elaboración propia

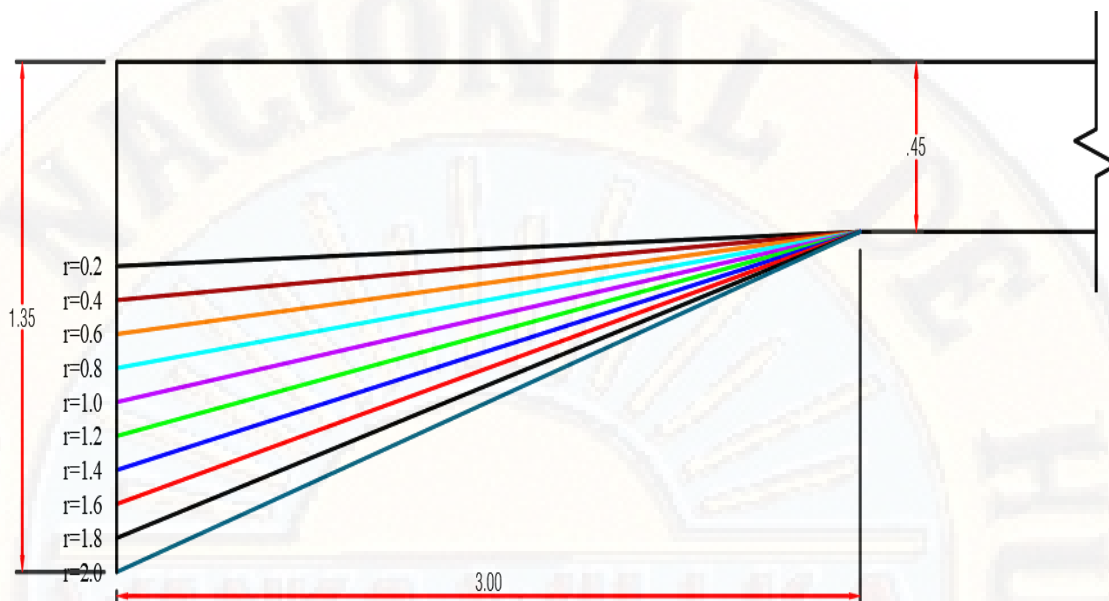


Figura 4.4 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, L=7.5m, AL/L= 0.4

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.3

Resultado del análisis con Ansys, L=7.5m, $aL/L = 0.4$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
21	0.2	0.09	30x54	30x45	1.72	7941.30	20183.00	-5.261
22	0.4	0.18	30x63	30x45	3.43	6813.10	21312.00	-4.117
23	0.6	0.27	30x72	30x45	5.14	5912.30	22212.00	-3.302
24	0.8	0.36	30x81	30x45	6.84	5183.90	22941.00	-2.701
25	1.0	0.45	30x90	30x45	8.53	4587.70	23537.00	-2.247
26	1.2	0.54	30x99	30x45	10.20	4094.40	24030.00	-1.897
27	1.4	0.63	30x108	30x45	11.86	3682.20	24443.00	-1.622
28	1.6	0.72	30x117	30x45	13.50	3334.70	24790.00	-1.402
29	1.8	0.81	30x126	30x45	15.11	3039.20	25086.00	-1.224
30	2.0	0.90	30x135	30x45	16.70	2786.10	25339.00	-1.077

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 3.00m y la altura de cartela varía de 0.09 a 0.90m.

Fuente: Elaboración propia

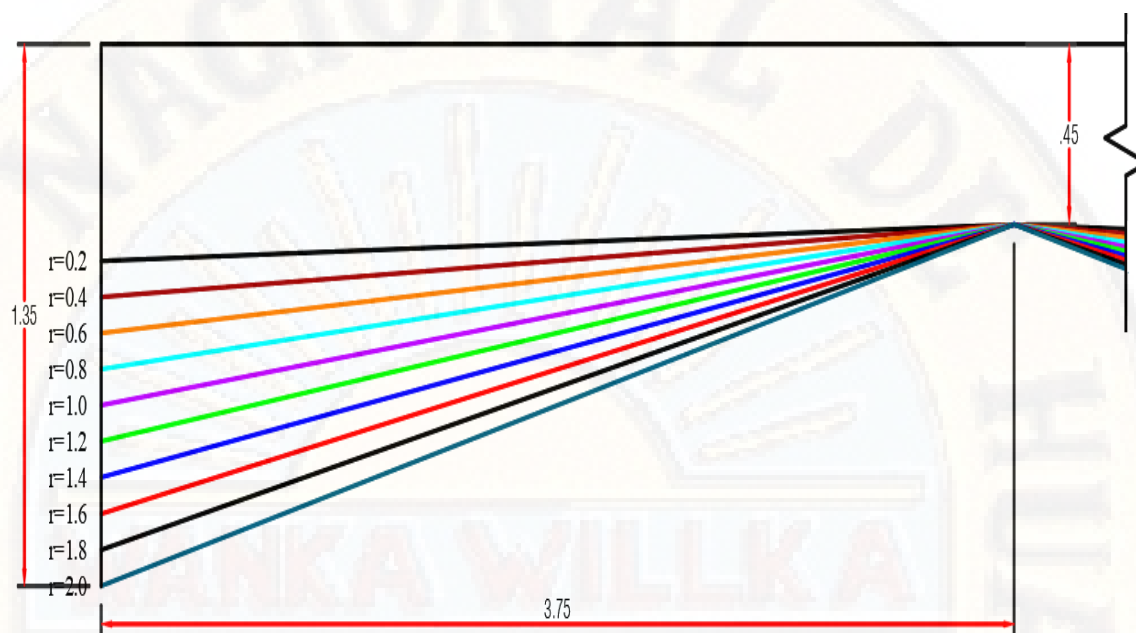


Figura 4.5 Variación de altura de cartela, 0.09 a 0.90m, $L=7.5m$, $AL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.4

Resultado del análisis con Ansys, $L=7.5m$, $aL/L=0.5$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
31	0.2	0.09	30x54	30x45	1.37	8127.80	19997.00	-5.084
32	0.4	0.18	30x63	30x45	2.75	7136.00	20989.00	-3.871
33	0.6	0.27	30x72	30x45	4.12	6331.30	21794.00	-3.034
34	0.8	0.36	30x81	30x45	5.48	5667.20	22458.00	-2.435
35	1.0	0.45	30x90	30x45	6.84	5111.30	23014.00	-1.992
36	1.2	0.54	30x99	30x45	8.19	4640.30	23485.00	-1.657
37	1.4	0.63	30x108	30x45	9.54	4237.00	23888.00	-1.397
38	1.6	0.72	30x117	30x45	10.87	3888.40	24237.00	-1.193
39	1.8	0.81	30x126	30x45	12.19	3584.70	24540.00	-1.029
40	2.0	0.90	30x135	30x45	13.50	3318.20	24807.00	-0.896

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 3.75m y la altura de cartela varía de 0.09 a 0.90m.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Resultado par viga acartelada $L=10.00\text{m}$, $h_c=0.60\text{m}$.

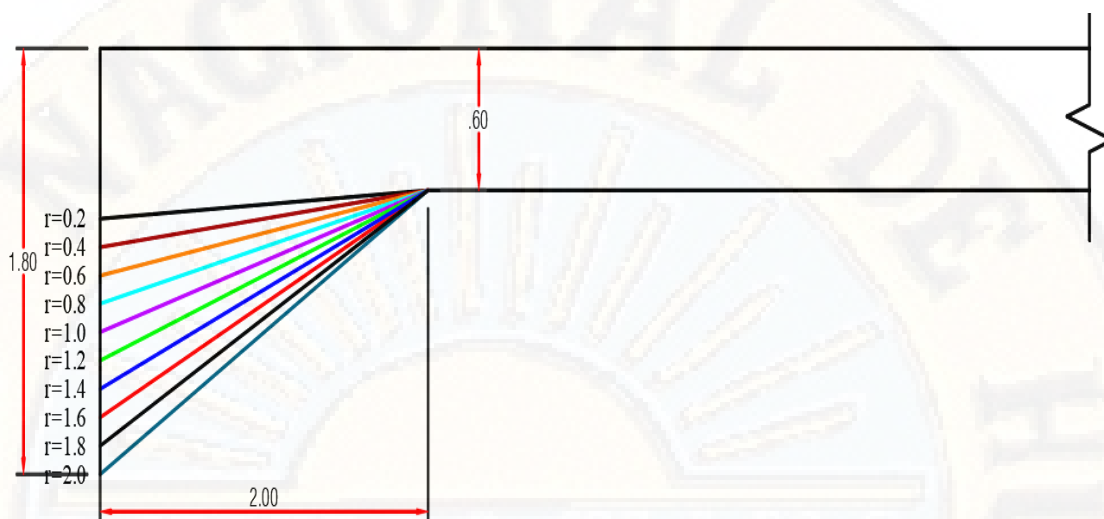


Figura 4.6 Variación de altura de cartelera, 0.12 a 1.20m, $L=10\text{m}$, $AL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.5

Resultado del análisis con Ansys, $L=10\text{m}$, $aL/L=0.2$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
41	0.2	0.12	30x72	30x60	3.43	14510.00	35490.00	-7.412
42	0.4	0.24	30x84	30x60	6.84	12965.00	37035.00	-6.154
43	0.6	0.36	30x96	30x60	10.20	11825.00	38175.00	-5.256
44	0.8	0.48	30x108	30x60	13.50	10961.00	39039.00	-4.594
45	1.0	0.60	30x120	30x60	16.70	10291.00	39709.00	-4.093
46	1.2	0.72	30x132	30x60	19.80	9759.90	40240.00	-3.705
47	1.4	0.84	30x144	30x60	22.78	9331.70	40668.00	-3.397
48	1.6	0.96	30x156	30x60	25.64	8980.90	41019.00	-3.150
49	1.8	1.08	30x168	30x60	28.37	8689.50	41311.00	-2.948
50	2.0	1.20	30x180	30x60	30.96	8444.40	41556.00	-2.780

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartelera es 2.00m y la altura de cartelera varia de 0.12 a 1.20 m.

Fuente: Elaboración propia.

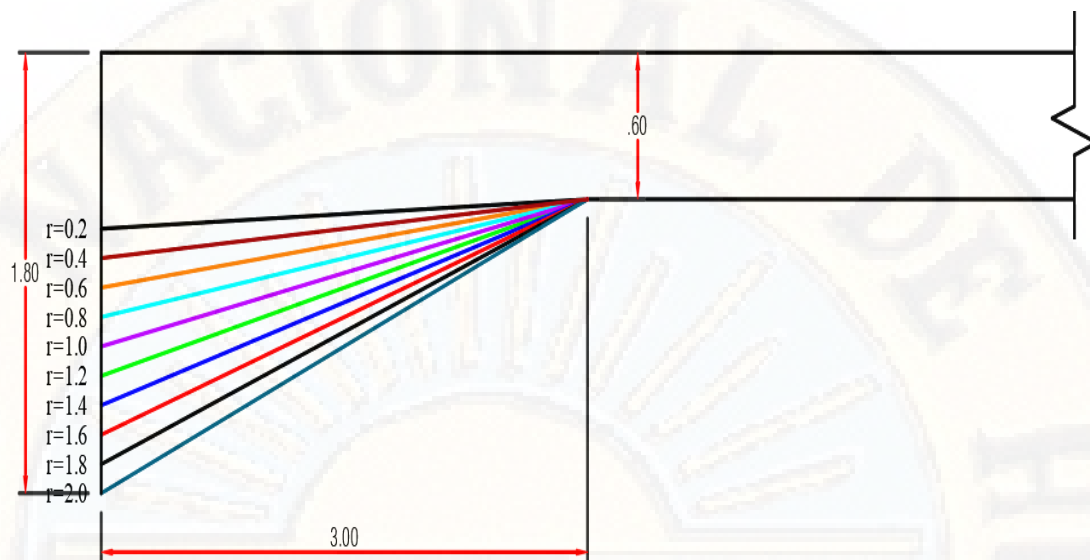


Figura 4.7 Variación de altura de cartel, 0.12 a 1.20m, $L=10m$, $AL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.6

Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $aL/L=0.3$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
51	0.2	0.12	30x72	30x60	2.29	14118.00	35882.00	-7.167
52	0.4	0.24	30x84	30x60	4.57	12194.00	37806.00	-5.723
53	0.6	0.36	30x96	30x60	6.84	10716.00	39284.00	-4.682
54	0.8	0.48	30x108	30x60	9.09	9561.30	40439.00	-3.912
55	1.0	0.60	30x120	30x60	11.31	8644.50	41356.00	-3.327
56	1.2	0.72	30x132	30x60	13.50	7905.40	42095.00	-2.874
57	1.4	0.84	30x144	30x60	15.64	7301.60	42698.00	-2.516
58	1.6	0.96	30x156	30x60	17.74	6802.00	43198.00	-2.229
59	1.8	1.08	30x168	30x60	19.80	6384.20	43616.00	-1.996
60	2.0	1.20	30x180	30x60	21.80	6031.00	43969.00	-1.804

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartel es 3.00m y la altura de cartel varía de 0.12 a 1.20 m.

Fuente: Elaboración propia.

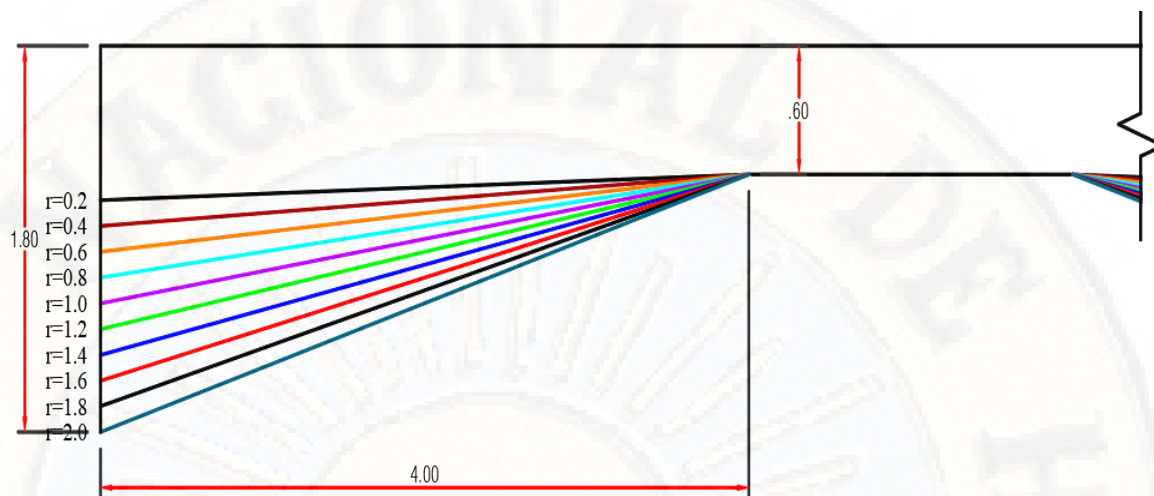


Figura 4.8 Variación de altura de acartelamiento, 0.12 a 1.20m, $L=10\text{m}$, $AL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.7

Resultado del análisis con Ansys, $L=10\text{m}$, $aL/L=0.4$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
61	0.2	0.12	30x72	30x60	1.72	14118.00	35882.00	-7.014
62	0.4	0.24	30x84	30x60	3.43	12112.00	37888.00	-5.490
63	0.6	0.36	30x96	30x60	5.14	10511.00	39489.00	-4.402
64	0.8	0.48	30x108	30x60	6.84	9216.00	40784.00	-3.601
65	1.0	0.60	30x120	30x60	8.53	8156.00	41844.00	-2.996
66	1.2	0.72	30x132	30x60	10.20	7279.10	42721.00	-2.529
67	1.4	0.84	30x144	30x60	11.86	6546.30	43454.00	-2.162
68	1.6	0.96	30x156	30x60	13.50	5928.50	44072.00	-1.869
69	1.8	1.08	30x168	30x60	15.11	5403.20	44597.00	-1.631
70	2.0	1.20	30x180	30x60	16.70	4953.20	45047.00	-1.437

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartelera es 4.00m y la altura de cartelera varía de 0.12 a 1.20 m.

Fuente: Elaboración propia.

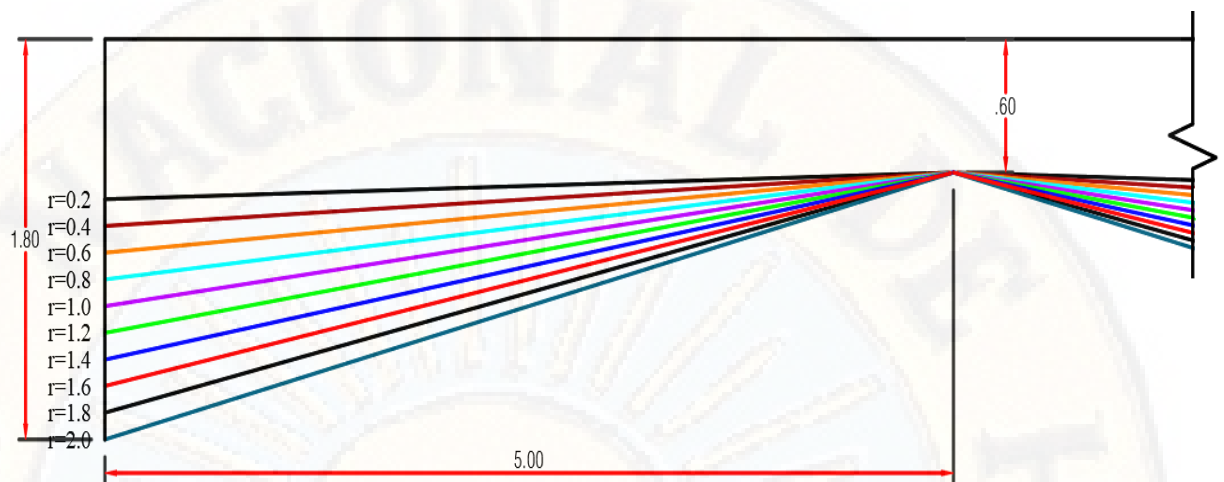


Figura 4.9 Variación de altura de acartelamiento, $L=10m$, 0.12 a $1.20m$, $aL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.8

Resultado del análisis con Ansys, $L=10m$, $aL/L=0.5$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
71	0.2	0.12	30x72	30x60	1.37	14449.00	35551.00	-6.778
72	0.4	0.24	30x84	30x60	2.75	12686.00	37314.00	-5.161
73	0.6	0.36	30x96	30x60	4.12	11255.00	38745.00	-4.046
74	0.8	0.48	30x108	30x60	5.48	10075.00	39925.00	-3.247
75	1.0	0.60	30x120	30x60	6.84	9086.50	40913.00	-2.656
76	1.2	0.72	30x132	30x60	8.19	8249.20	41751.00	-2.209
77	1.4	0.84	30x144	30x60	9.54	7532.20	42468.00	-1.863
78	1.6	0.96	30x156	30x60	10.87	6912.60	43087.00	-1.590
79	1.8	1.08	30x168	30x60	12.19	6372.60	43627.00	-1.372
80	2.0	1.20	30x180	30x60	13.50	5898.80	44101.00	-1.195

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartel es 5.00m y la altura de cartel varía de 0.12 a 1.20 m.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. Resultado par viga acartelada $L=12.50\text{m}$, $h_c=0.75\text{m}$.

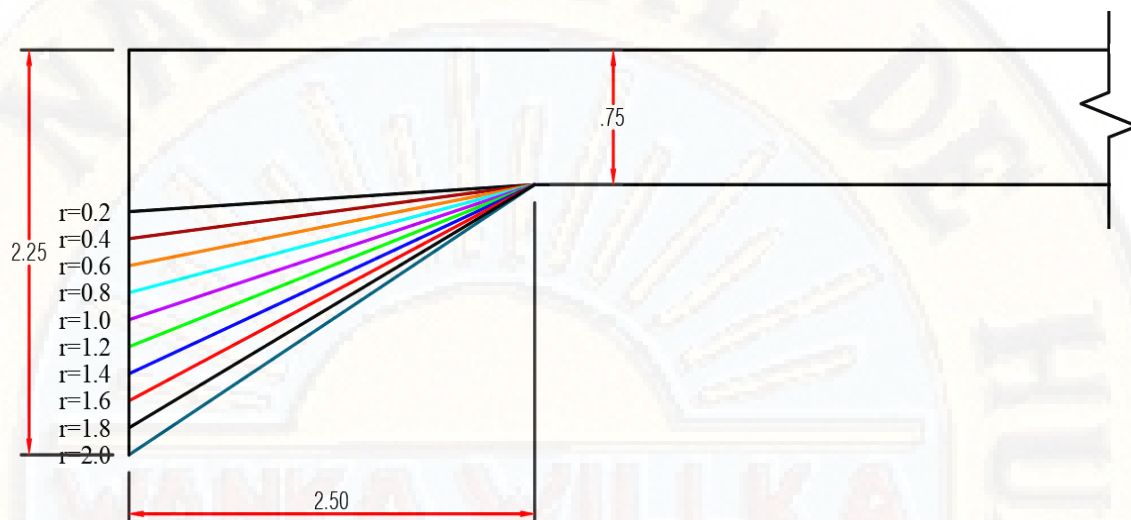


Figura 4.10 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, 0.12 a 1.20 $AL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.9

Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5\text{m}$, $aL/L=0.2$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
81	0.2	0.15	30x90	30x75	3.43	22672.00	55453.00	-9.265
82	0.4	0.30	30x105	30x75	6.84	20258.00	57867.00	-7.693
83	0.6	0.45	30x120	30x75	10.20	18477.00	59648.00	-6.570
84	0.8	0.60	30x135	30x75	13.50	17127.00	60998.00	-5.743
85	1.0	0.75	30x150	30x75	16.70	16079.00	62046.00	-5.116
86	1.2	0.90	30x165	30x75	19.80	15250.00	62875.00	-4.631
87	1.4	1.05	30x180	30x75	22.78	14581.00	63544.00	-4.247
88	1.6	1.20	30x195	30x75	25.64	14032.00	64092.00	-3.937
89	1.8	1.35	30x210	30x75	28.37	13577.00	64548.00	-3.685
90	2.0	1.50	30x225	30x75	30.96	13194.00	64931.00	-3.475

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 2.50m y la altura de cartela varía de 0.15 a 1.50 m.

Fuente: Elaboración propia.

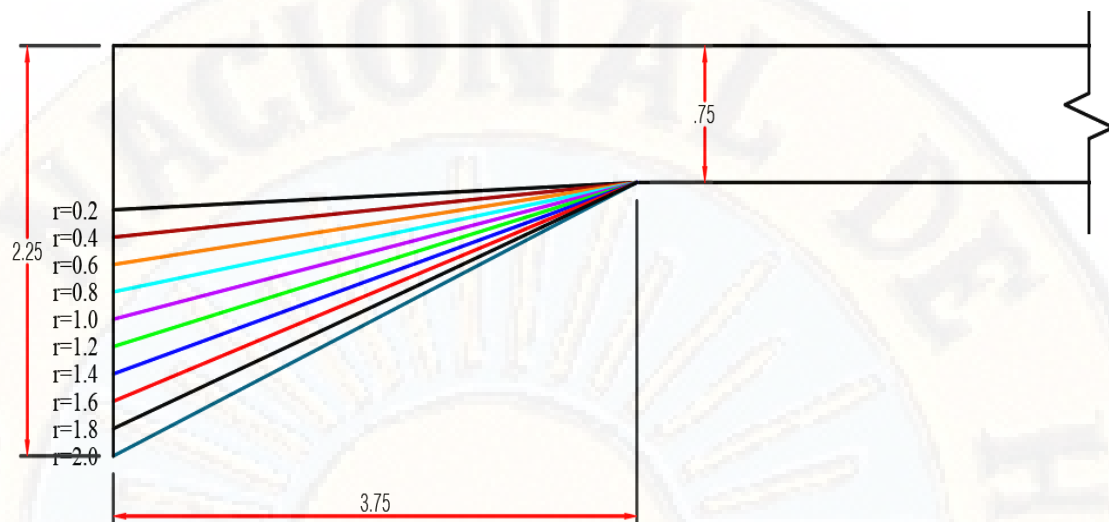


Figura 4.11 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5m$, $AL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.10

Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $aL/L=0.3$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
91	0.2	0.15	30x90	30x75	2.29	22059.00	56066.00	-8.959
92	0.4	0.30	30x105	30x75	4.57	19052.00	59073.00	-7.154
93	0.6	0.45	30x120	30x75	6.84	16743.00	61382.00	-5.853
94	0.8	0.60	30x135	30x75	9.09	14939.00	63186.00	-4.890
95	1.0	0.75	30x150	30x75	11.31	13507.00	64618.00	-4.158
96	1.2	0.90	30x165	30x75	13.50	12352.00	65773.00	-3.592
97	1.4	1.05	30x180	30x75	15.64	11409.00	66716.00	-3.145
98	1.6	1.20	30x195	30x75	17.74	10628.00	67497.00	-2.787
99	1.8	1.35	30x210	30x75	19.80	9975.10	68150.00	-2.495
100	2.0	1.50	30x225	30x75	21.80	9423.40	68702.00	-2.255

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 3.75m y la altura de cartela varía de 0.15 a 1.50 m.

Fuente: Elaboración propia.

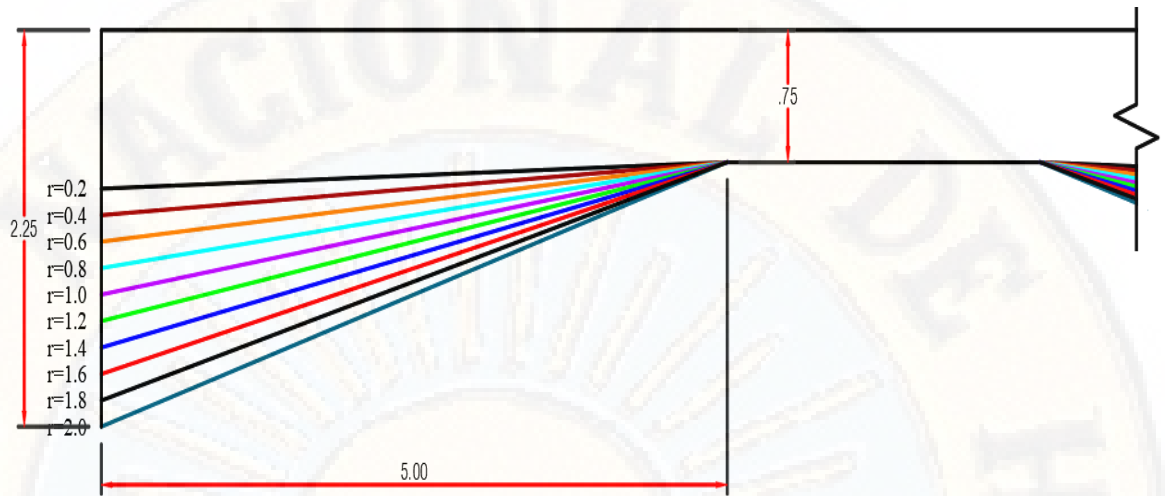


Figura 4.12 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5m$, $AL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.11

Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5m$, $aL/L=0.4$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
101	0.2	0.15	30x90	30x75	1.72	22059.00	56066.00	-8.768
102	0.4	0.30	30x105	30x75	3.43	18925.00	59200.00	-6.862
103	0.6	0.45	30x120	30x75	5.14	16423.00	61702.00	-5.503
104	0.8	0.60	30x135	30x75	6.84	14400.00	63725.00	-4.502
105	1.0	0.75	30x150	30x75	8.53	12743.00	65381.00	-3.745
106	1.2	0.90	30x165	30x75	10.20	11373.00	66752.00	-3.162
107	1.4	1.05	30x180	30x75	11.86	10228.00	67896.00	-2.703
108	1.6	1.20	30x195	30x75	13.50	9262.90	68862.00	-2.336
109	1.8	1.35	30x210	30x75	15.11	8442.20	69683.00	-2.039
110	2.0	1.50	30x225	30x75	16.70	7739.00	70386.00	-1.796

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartel es 5.00m y la altura de cartel varia de 0.15 a 1.50 m.

Fuente: Elaboración propia.

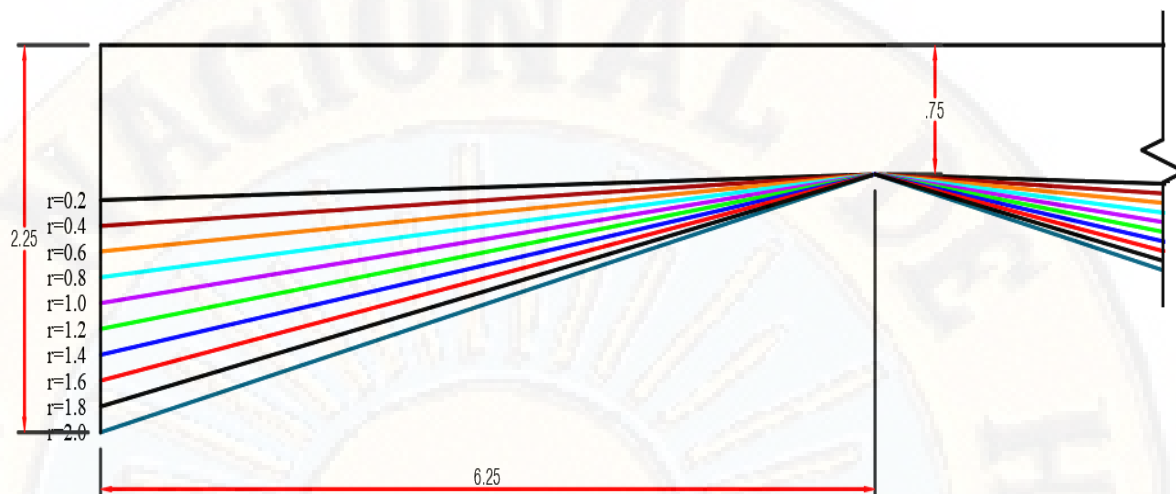


Figura 4.13 Variación de altura de acartelamiento, 0.15 a 1.50m, $L=12.5\text{m}$, $AL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.12

Resultado del análisis con Ansys, $L=12.5\text{m}$, $aL/L=0.5$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
111	0.2	0.15	30x90	30x75	1.37	22577.00	55548.00	-8.473
112	0.4	0.30	30x105	30x75	2.75	19822.00	58303.00	-6.452
113	0.6	0.45	30x120	30x75	4.12	17586.00	60539.00	-5.057
114	0.8	0.60	30x135	30x75	5.48	15742.00	62383.00	-4.058
115	1.0	0.75	30x150	30x75	6.84	14198.00	63927.00	-3.320
116	1.2	0.90	30x165	30x75	8.19	12889.00	65236.00	-2.761
117	1.4	1.05	30x180	30x75	9.54	11769.00	66356.00	-2.328
118	1.6	1.20	30x195	30x75	10.87	10801.00	67324.00	-1.988
119	1.8	1.35	30x210	30x75	12.19	9957.10	68168.00	-1.715
120	2.0	1.50	30x225	30x75	13.50	9216.70	68908.00	-1.494

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 6.25m y la altura de cartela varia de 0.15 a 1.50 m.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Resultado par viga acartelada $L=15.00\text{m}$, $h_c=0.90\text{m}$.

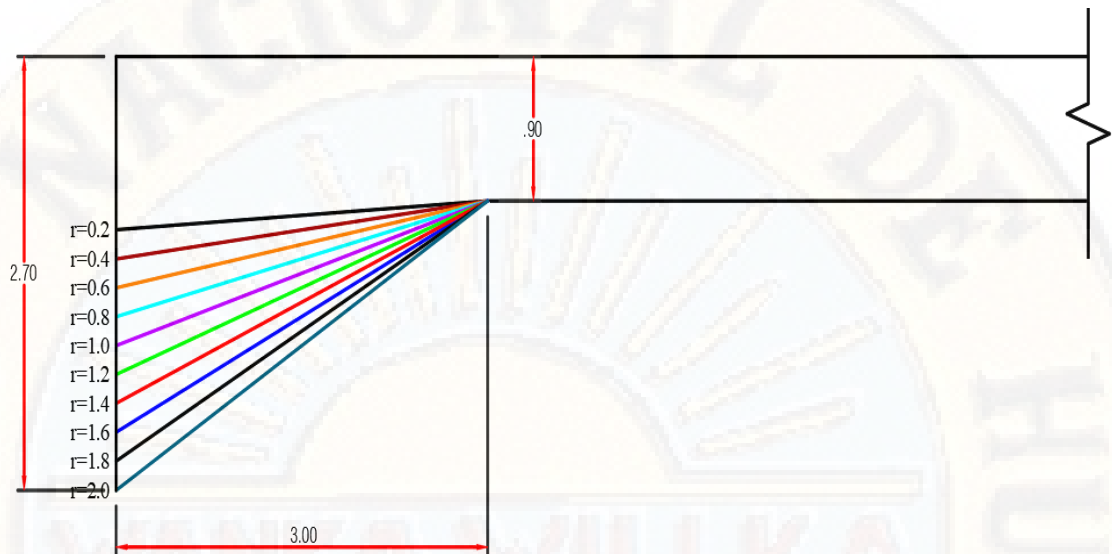


Figura 4.14 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15\text{m}$, $AL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.13

Resultado del análisis con Ansys, $L=15\text{m}$, $aL/L=0.2$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
121	0.2	0.18	30x108	30x90	3.43	32647.00	79852.00	-11.118
122	0.4	0.36	30x126	30x90	6.84	29172.00	83328.00	-9.231
123	0.6	0.54	30x144	30x90	10.20	26607.00	85893.00	-7.884
124	0.8	0.72	30x162	30x90	13.50	24663.00	87837.00	-6.891
125	1.0	0.90	30x180	30x90	16.70	23154.00	89346.00	-6.140
126	1.2	1.08	30x198	30x90	19.80	21960.00	90540.00	-5.557
127	1.4	1.26	30x216	30x90	22.78	20996.00	91504.00	-5.096
128	1.6	1.44	30x234	30x90	25.64	20207.00	92293.00	-4.725
129	1.8	1.62	30x252	30x90	28.37	19551.00	92949.00	-4.422
130	2.0	1.80	30x270	30x90	30.96	19000.00	93500.00	-4.170

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 3.00m y la altura de cartela varía de 0.18 a 1.80 m.

Fuente: Elaboración propia.

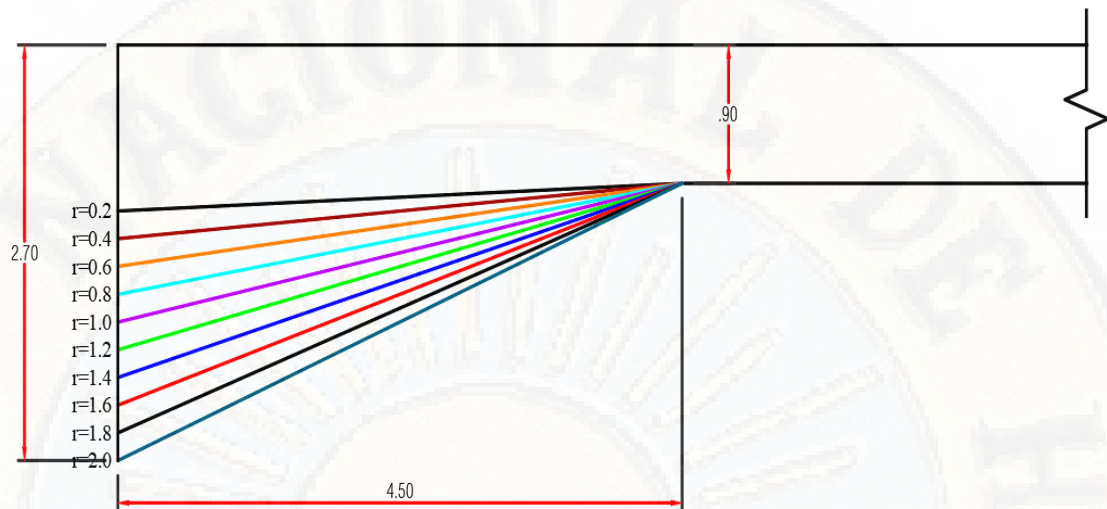


Figura 4.15 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m $L=15m$, $AL/L= 0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.14

Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $aL/L= 0.3$

N°	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
131	0.2	0.18	30x108	30x90	2.29	31764.00	80736.00	-10.750
132	0.4	0.36	30x126	30x90	4.57	27435.00	85065.00	-8.584
133	0.6	0.54	30x144	30x90	6.84	24111.00	88389.00	-7.024
134	0.8	0.72	30x162	30x90	9.09	21513.00	90987.00	-5.867
135	1.0	0.90	30x180	30x90	11.31	19450.00	93050.00	-4.990
136	1.2	1.08	30x198	30x90	13.50	17787.00	94713.00	-4.310
137	1.4	1.26	30x216	30x90	15.64	16428.00	96072.00	-3.774
138	1.6	1.44	30x234	30x90	17.74	15304.00	97196.00	-3.344
139	1.8	1.62	30x252	30x90	19.80	14364.00	98136.00	-2.994
140	2.0	1.80	30x270	30x90	21.80	13570.00	98930.00	-2.706

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 4.50m y la altura de cartela varia de 0.18 a 1.80 m.

Fuente: Elaboración propia.

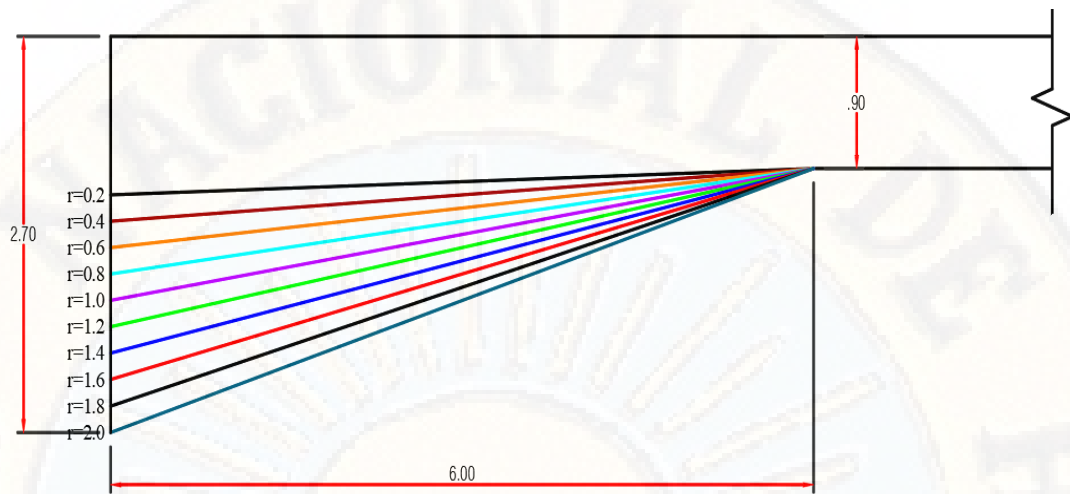


Figura 4.16 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15m$, $AL/L = 0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.15

Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $aL/L = 0.4$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
141	0.2	0.18	30x108	30x90	1.72	31765.00	80735.00	-10.522
142	0.4	0.36	30x126	30x90	3.43	27252.00	85248.00	-8.235
143	0.6	0.54	30x144	30x90	5.14	23650.00	88850.00	-6.603
144	0.8	0.72	30x162	30x90	6.84	20736.00	91764.00	-5.402
145	1.0	0.90	30x180	30x90	8.53	18351.00	94149.00	-4.494
146	1.2	1.08	30x198	30x90	10.20	16378.00	96122.00	-3.794
147	1.4	1.26	30x216	30x90	11.86	14729.00	97771.00	-3.243
148	1.6	1.44	30x234	30x90	13.50	13339.00	99161.00	-2.803
149	1.8	1.62	30x252	30x90	15.11	12157.00	100340.00	-2.447
150	2.0	1.80	30x270	30x90	16.70	11144.00	101360.00	-2.155

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartel es 6.00m y la altura de cartel varía de 0.18 a 1.80 m.

Fuente: Elaboración propia.

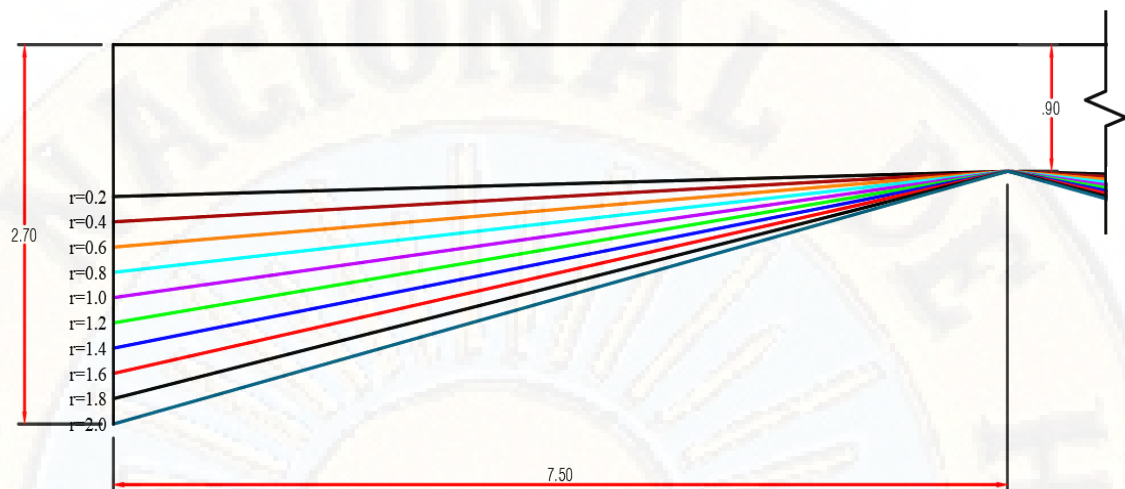


Figura 4.17 Variación de altura de acartelamiento, 0.18 a 1.80m, $L=15m$, $AL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.16

Resultado del análisis con Ansys, $L=15m$, $aL/L=0.5$

Nº	r	rhc m	Sec.Max cm	Sec.Min cm	Ang. °	M ⁺ kg-m	M ⁻ kg-m	δ mm
151	0.2	0.18	30x108	30x90	1.37	32511.00	79989.00	-10.168
152	0.4	0.36	30x126	30x90	2.75	28544.00	83956.00	-7.742
153	0.6	0.54	30x144	30x90	4.12	25324.00	87176.00	-6.069
154	0.8	0.72	30x162	30x90	5.48	22668.00	89832.00	-4.870
155	1.0	0.90	30x180	30x90	6.84	20444.00	92056.00	-3.984
156	1.2	1.08	30x198	30x90	8.19	18560.00	93940.00	-3.313
157	1.4	1.26	30x216	30x90	9.54	16947.00	95553.00	-2.794
158	1.6	1.44	30x234	30x90	10.87	15553.00	96947.00	-2.385
159	1.8	1.62	30x252	30x90	12.19	14338.00	98162.00	-2.058
160	2.0	1.80	30x270	30x90	13.50	13272.00	99228.00	-1.792

Muestra la magnitud de los momentos negativos, positivos y los desplazamientos máximos para una viga acartelada cuya longitud de cartela es 7.50m y la altura de cartela varia de 0.18 a 1.80 m.

Fuente: Elaboración propia.

4.1.5. Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos.

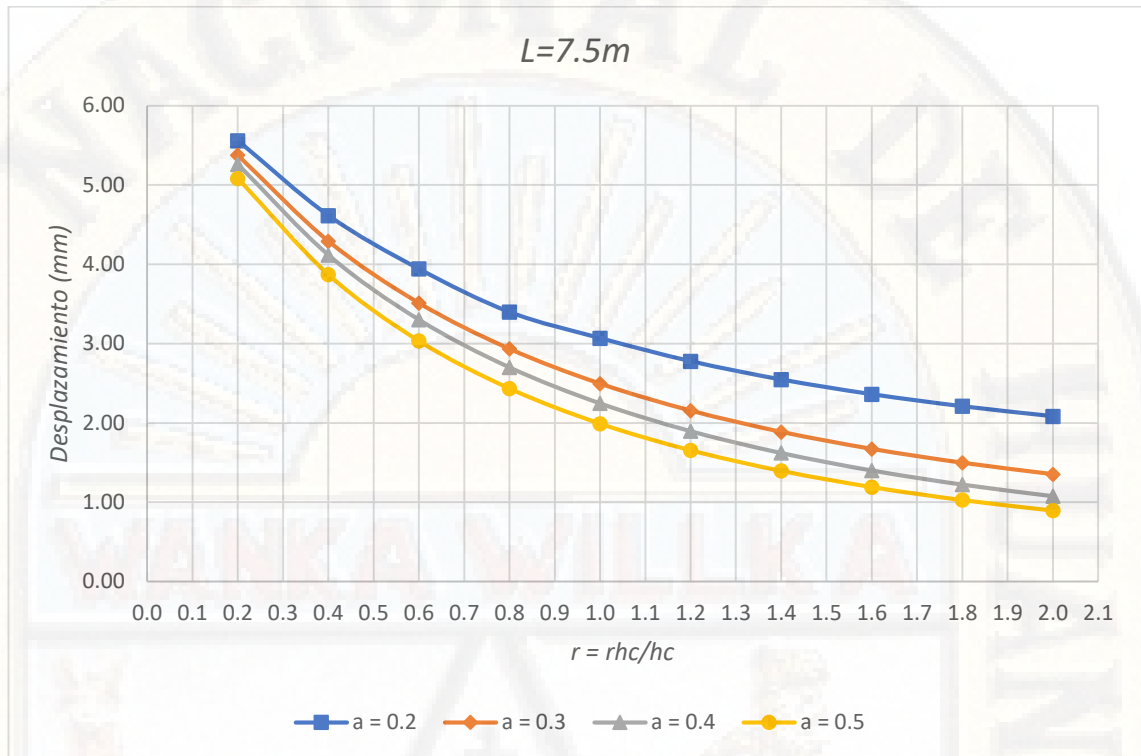


Figura 4.18 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=7.50m$.

Fuente: Elaboración propia.

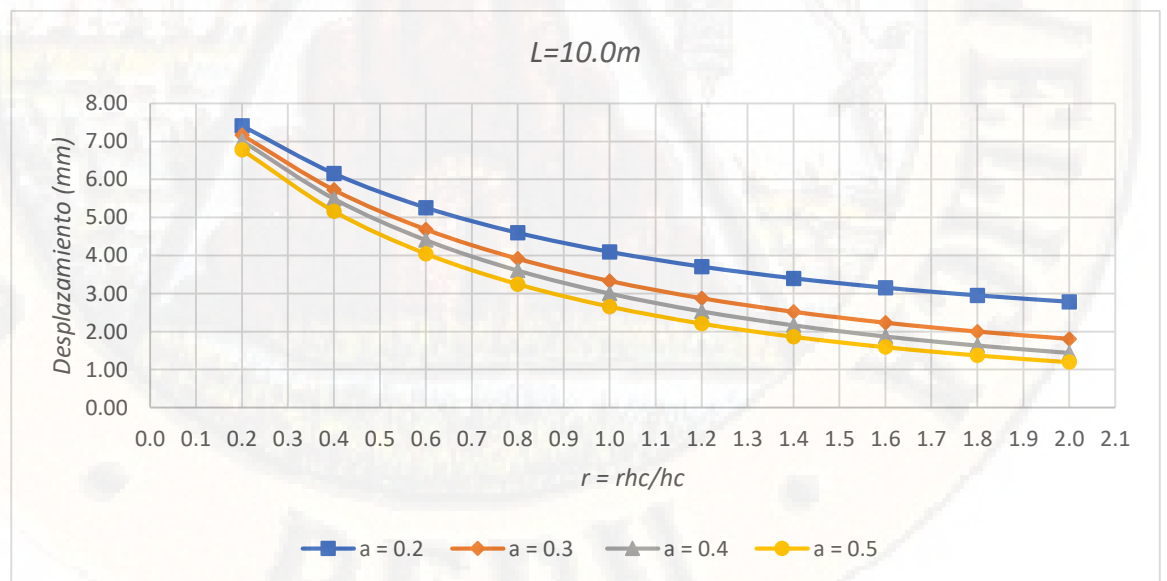


Figura 4.19 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=10.00m$.

Fuente: Elaboración propia.

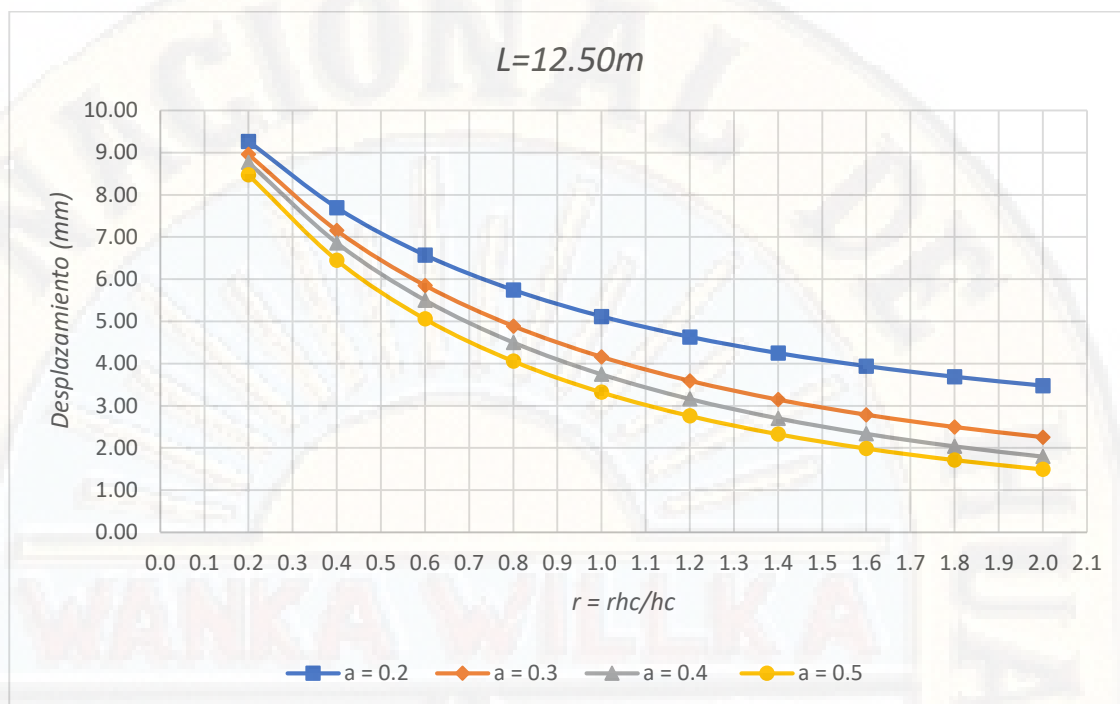


Figura 4.20 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=12.50m$
Fuente: Elaboración propia.

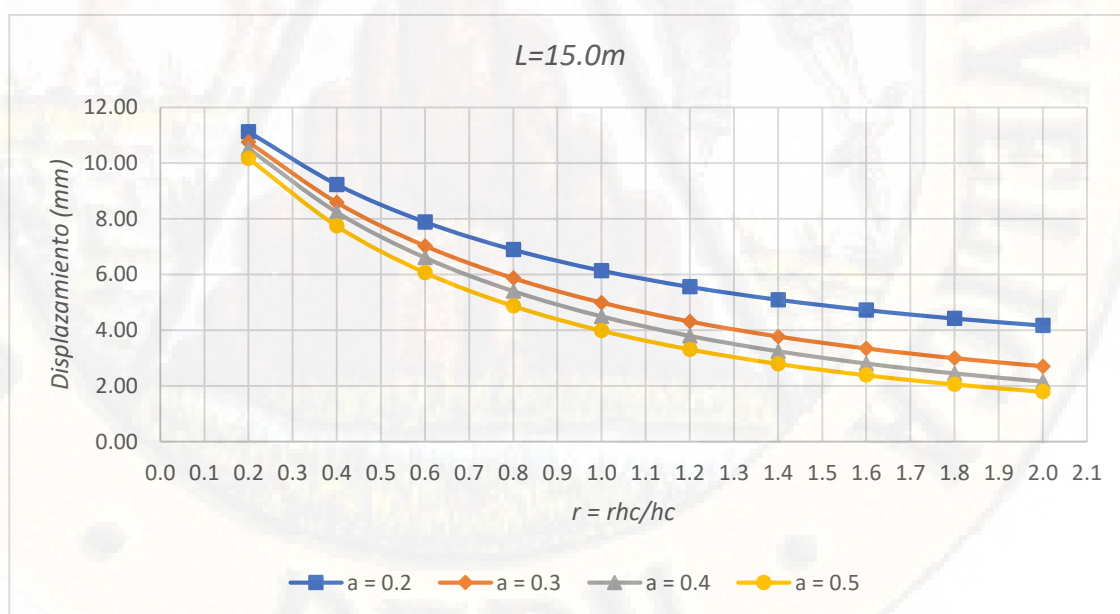


Figura 4.21 Relación de longitud y altura de cartela con desplazamientos máximos para $L=15.00m$
Fuente: Elaboración propia.

4.1.6. Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo.

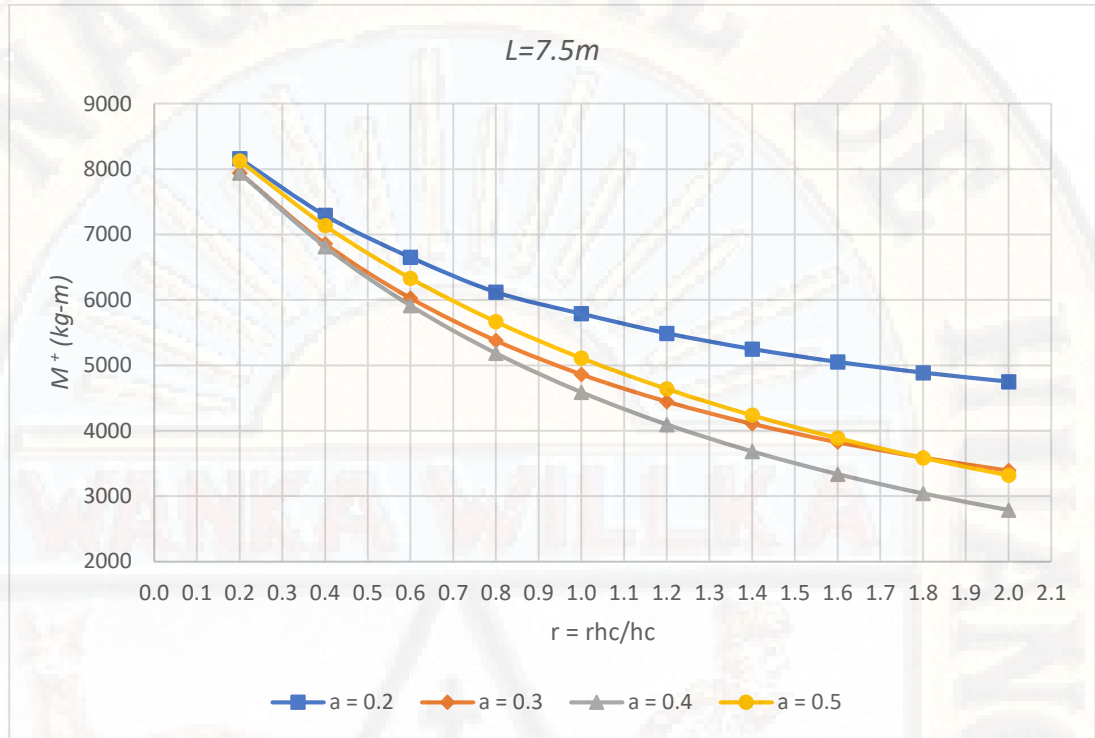


Figura 4.22 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=7.50m$.

Fuente: Elaboración propia.

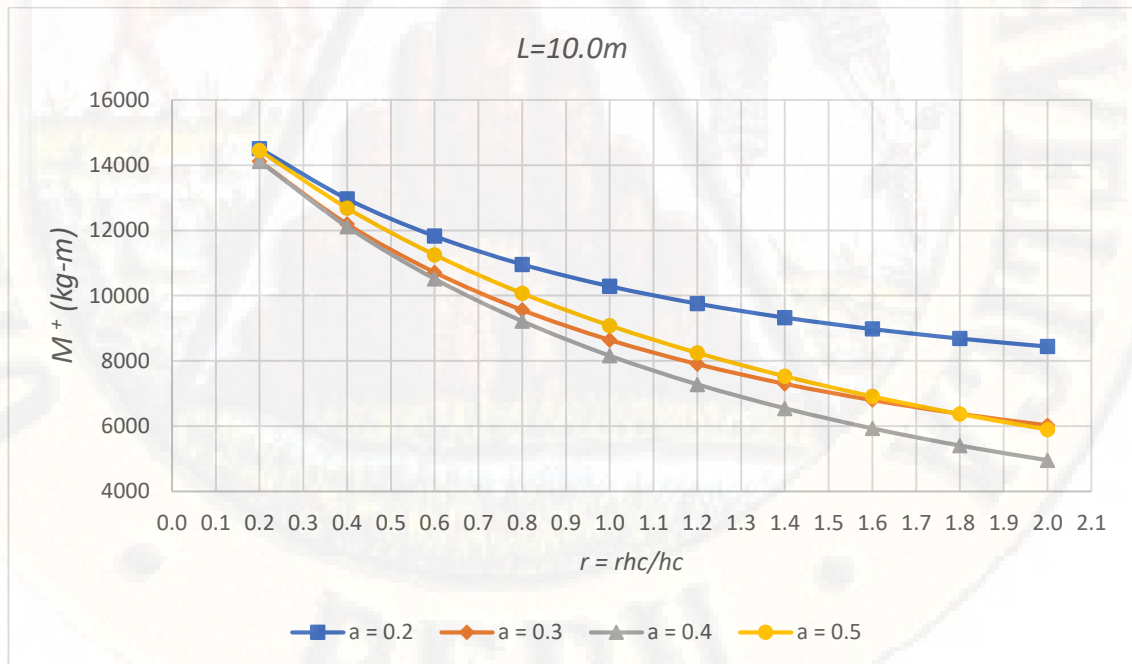


Figura 4.23 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=10.00m$.

Fuente: Elaboración propia.

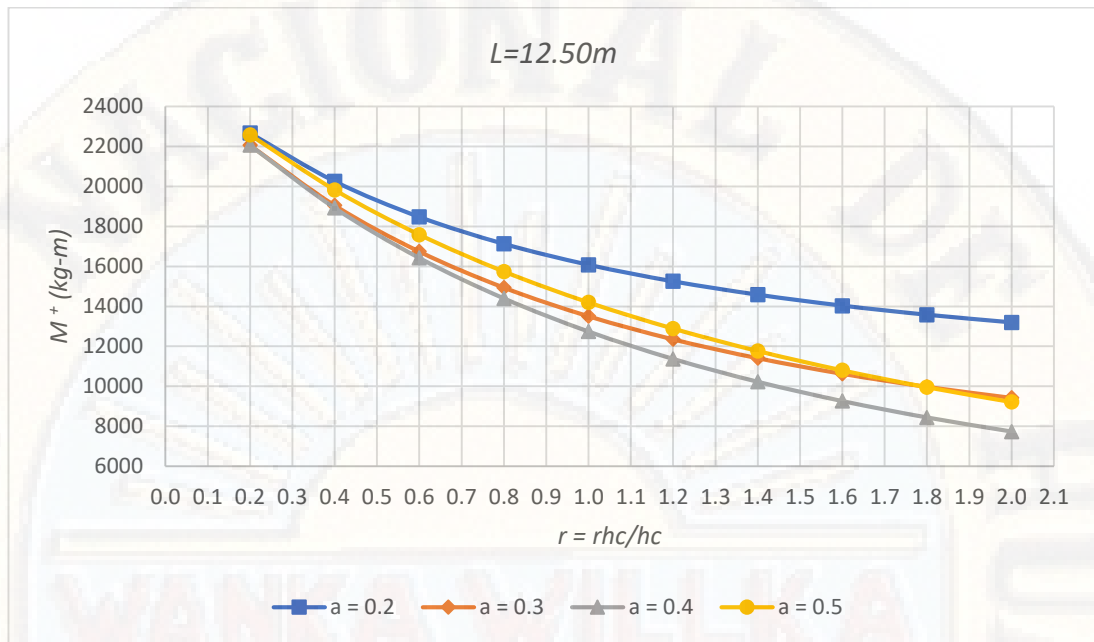


Figura 4.24 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=12.50m$.
Fuente: Elaboración propia.

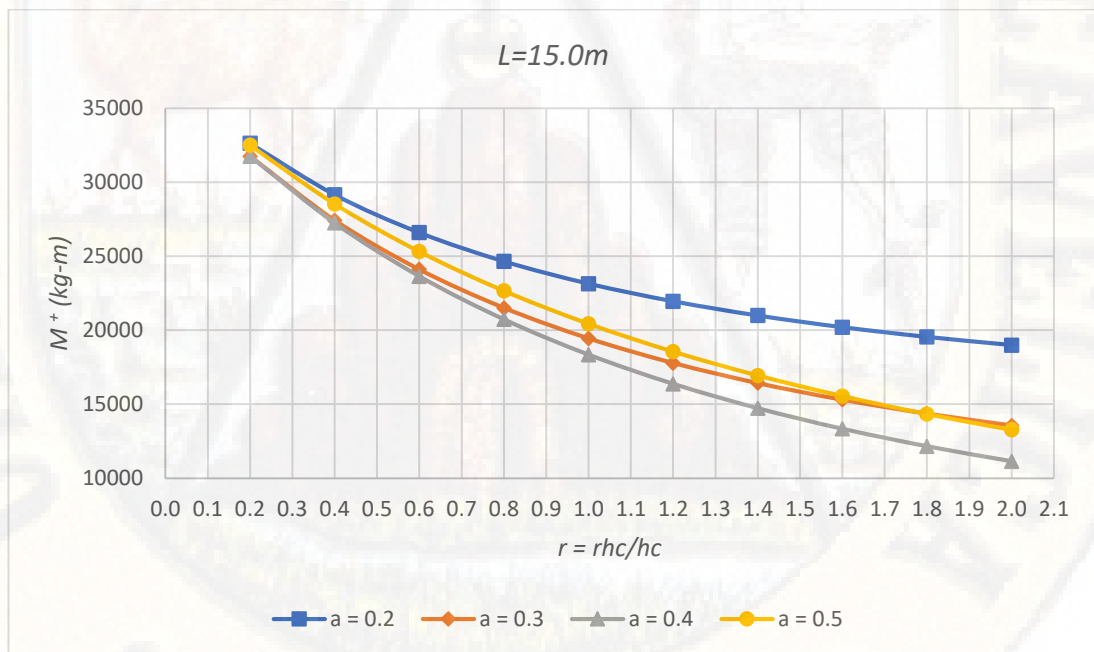


Figura 4.25 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo positivo para $L=15.00m$.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.7. Relación de longitud y altura de cartela con Momento negativo máximo.

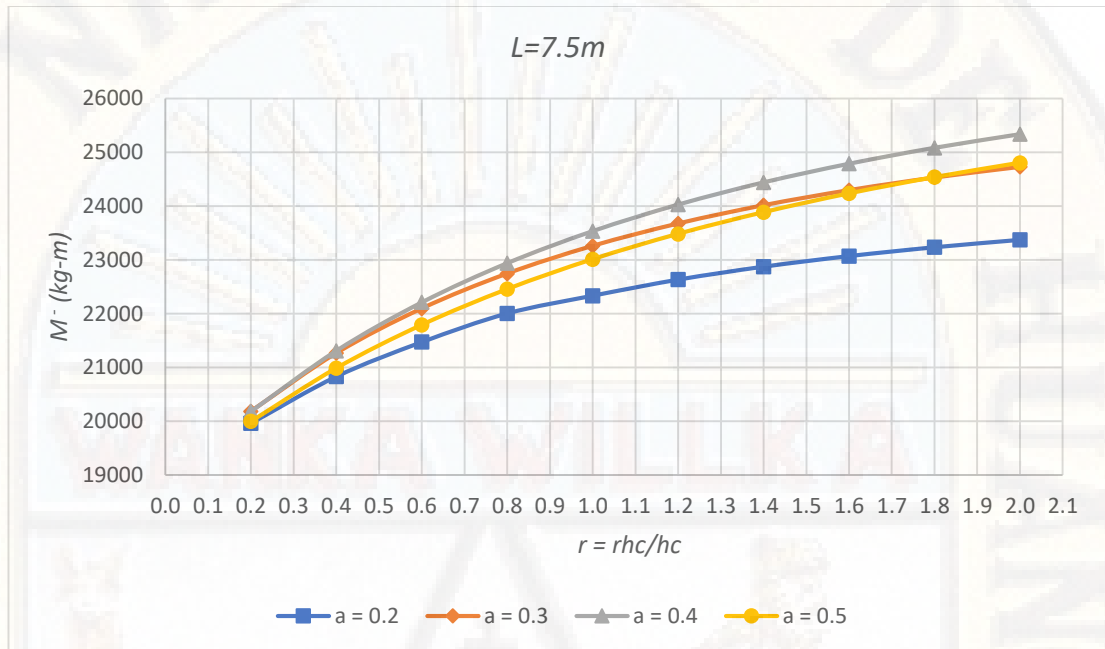


Figura 4.26 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=7.50m$.
Fuente: Elaboración propia.

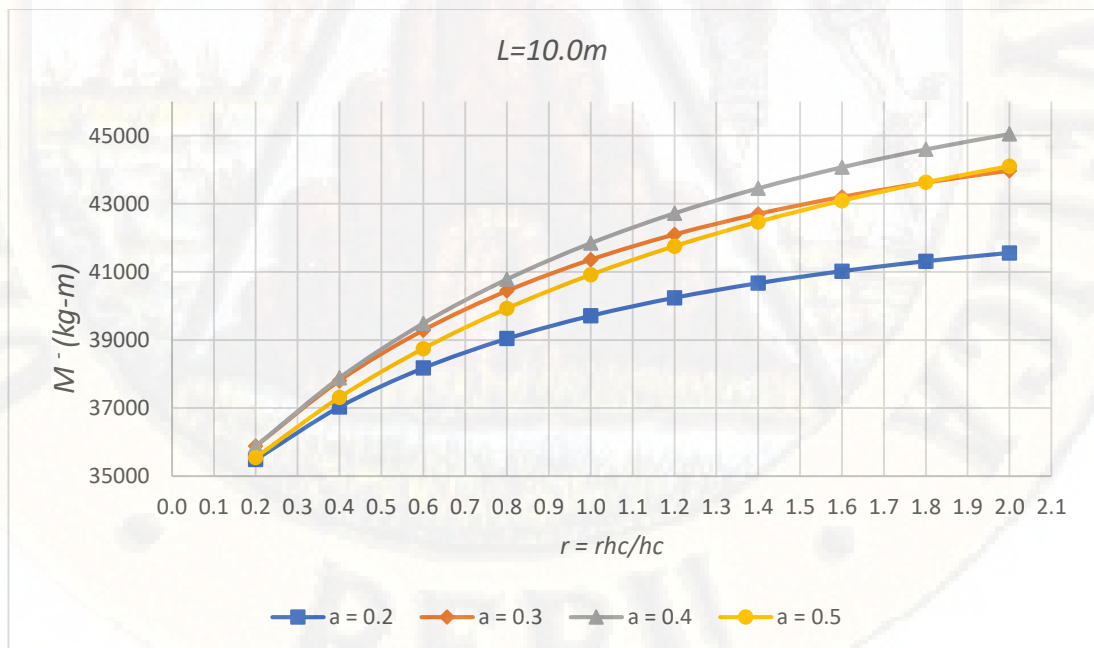


Figura 4.27 Relación de longitud y altura de cartela con momento máximo negativo para $L=10.00m$.
Fuente: Elaboración propia.

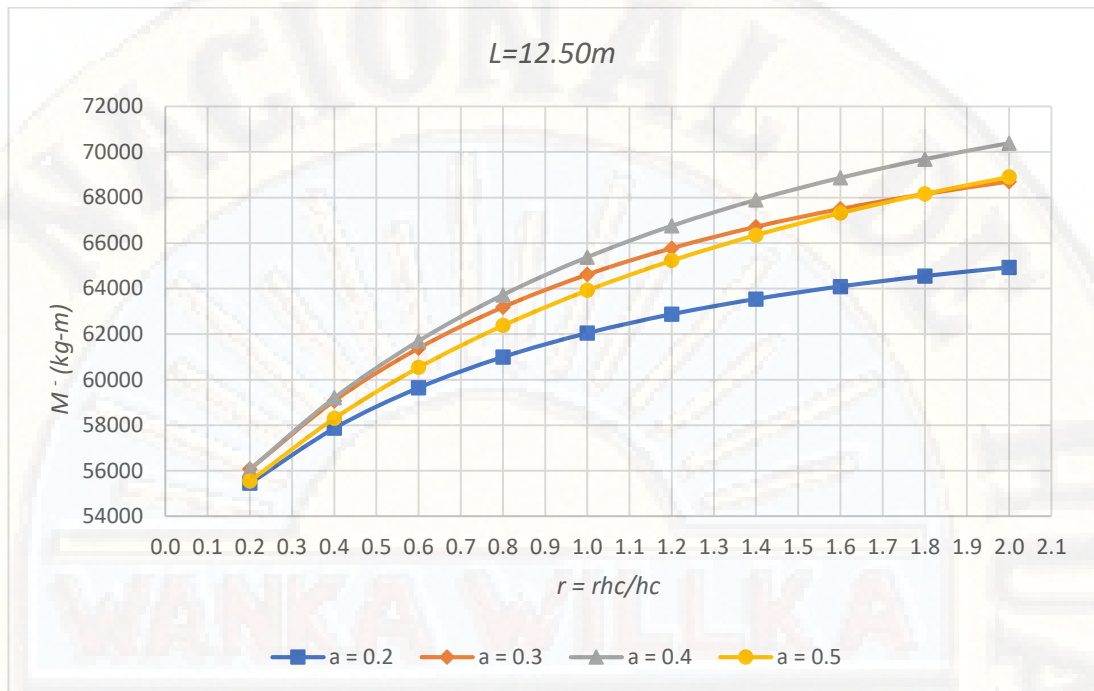


Figura 4.28 Relación de longitud y altura de cartel con momento máximo negativo para $L=12.50m$.
Fuente: Elaboración propia.

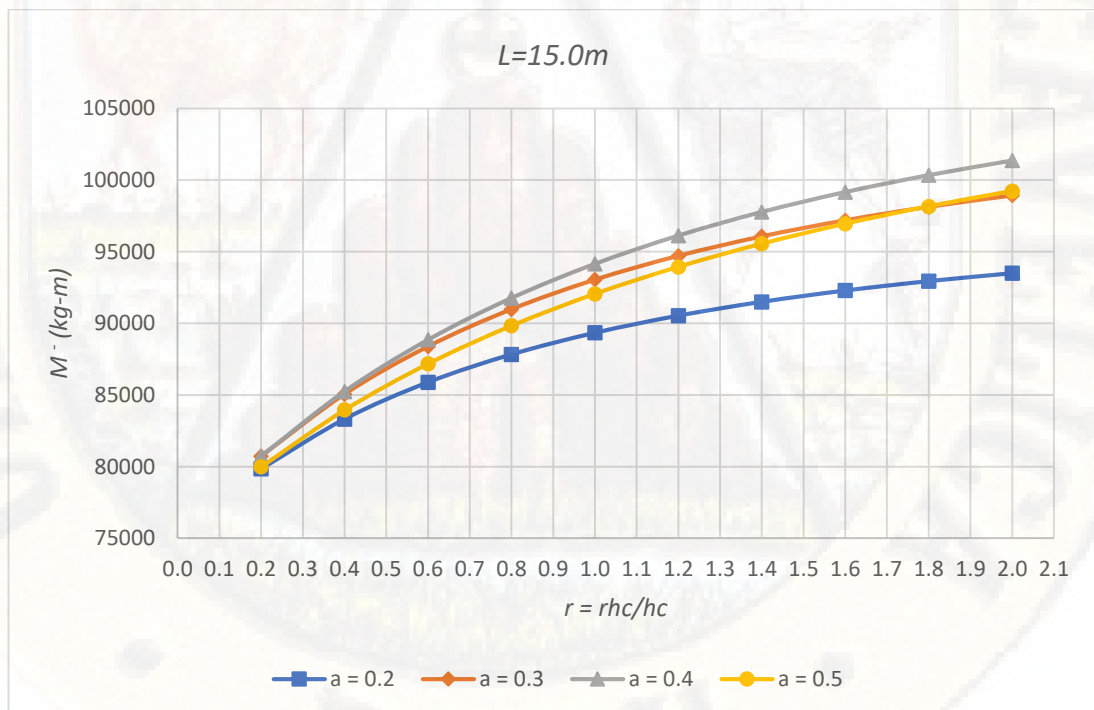


Figura 4.29 Relación de longitud y altura de cartel con momento máximo negativo para $L=15.00m$.
Fuente: Elaboración propia.

4.1.8. % de variación de momento positivo, negativo y desplazamiento respecto a la variación de la longitud y altura de cartela

Tabla 4.17

Porcentaje (%) de variación de momento máximo positivo

r	a=0.2	a=0.3	a=0.4	a=0.5
0.2	10.65	13.63	14.21	12.20
0.4	8.79	12.12	13.22	11.28
0.6	7.31	10.77	12.32	10.48
0.8	6.11	9.59	11.50	9.81
1.0	5.16	8.55	10.75	9.214
1.2	4.39	7.64	10.07	8.69
1.4	3.76	6.84	9.44	8.23
1.6	3.24	6.14	8.86	7.81
1.8	2.82	5.531	8.33	7.43
2.0				

Muestra el porcentaje de variación del momento positivo para una viga acartelada de longitud de 10.00m. al variar la longitud y altura de la cartela.

Fuente: Elaboración propia.

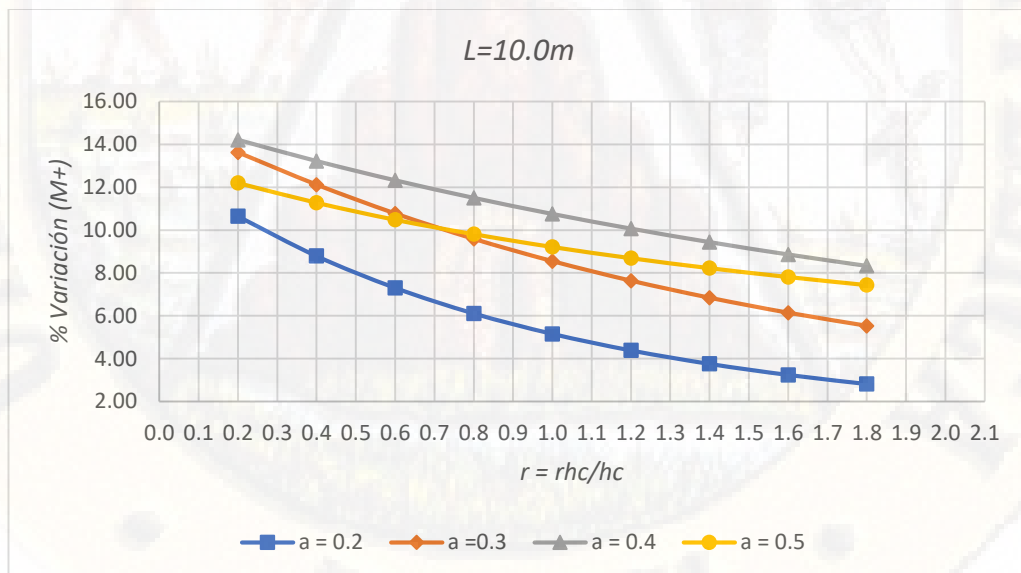


Figura 4.30 El % de variación de momento positivo respecto a la variación de longitud y altura de cartela para $L=10.00m$

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 4.18

Porcentaje (%) de variación de momento máximo Negativo

r	a=0.2	a=0.3	a=0.4	a=0.5
0.2	4.35	5.36	5.59	4.6
0.4	3.08	3.91	4.23	3.84
0.6	2.268	2.94	3.28	3.04
0.8	1.72	2.27	2.60	2.47
1.0	1.34	1.79	2.09	2.05
1.2	1.06	1.43	1.72	1.72
1.4	0.86	1.17	1.42	1.46
1.6	0.71	0.97	1.19	1.25
1.8	0.59	0.81	1.01	1.09
2.0				

Muestra el porcentaje de variación del momento negativo para una viga acartelada de longitud de 10.00m. al variar la longitud y altura de la cartel.

Fuente: Elaboración propia.

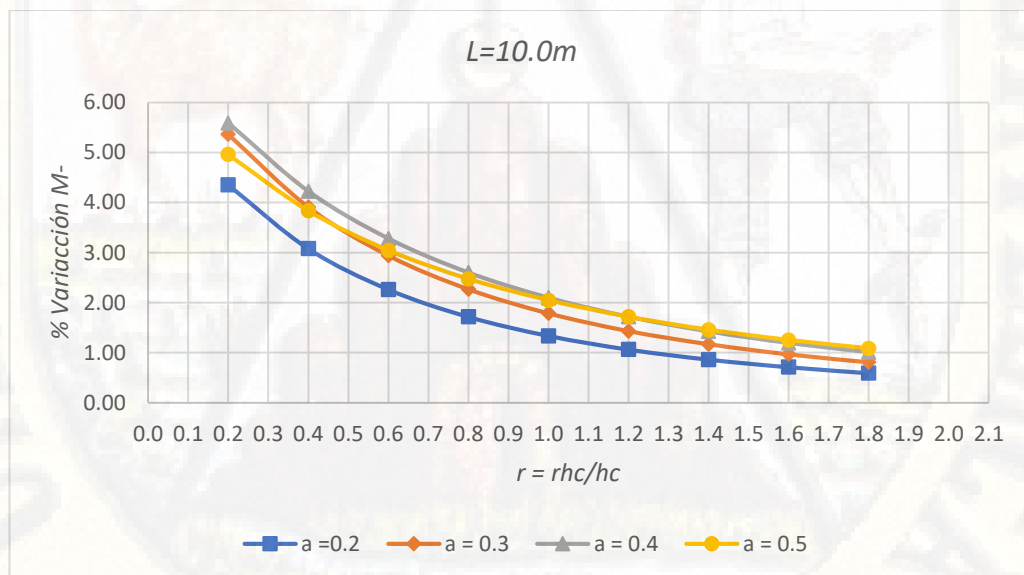


Figura 4.31 El % de variación de momento negativo respecto a la variación de longitud y altura de cartel para $L=10.00m$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.19

Porcentaje (%) de variación de desplazamiento máximo

r	a=0.2	a=0.3	a=0.4	a=0.5
0.2	16.97	20.15	21.74	23.85
0.4	14.59	18.18	19.81	21.61
0.6	12.59	16.46	18.19	19.76
0.8	10.91	14.96	16.80	18.19
1.0	9.49	13.62	15.59	16.84
1.2	8.29	12.45	14.52	15.67
1.4	7.28	11.40	13.57	14.64
1.6	6.42	10.46	12.71	13.72
1.8	5.69	9.62	11.94	12.91
2.0				

Muestra el porcentaje de variación del desplazamiento para una viga acartelada de longitud de 10.00m. al variar la longitud y altura de la cartela.

Fuente: Elaboración propia.

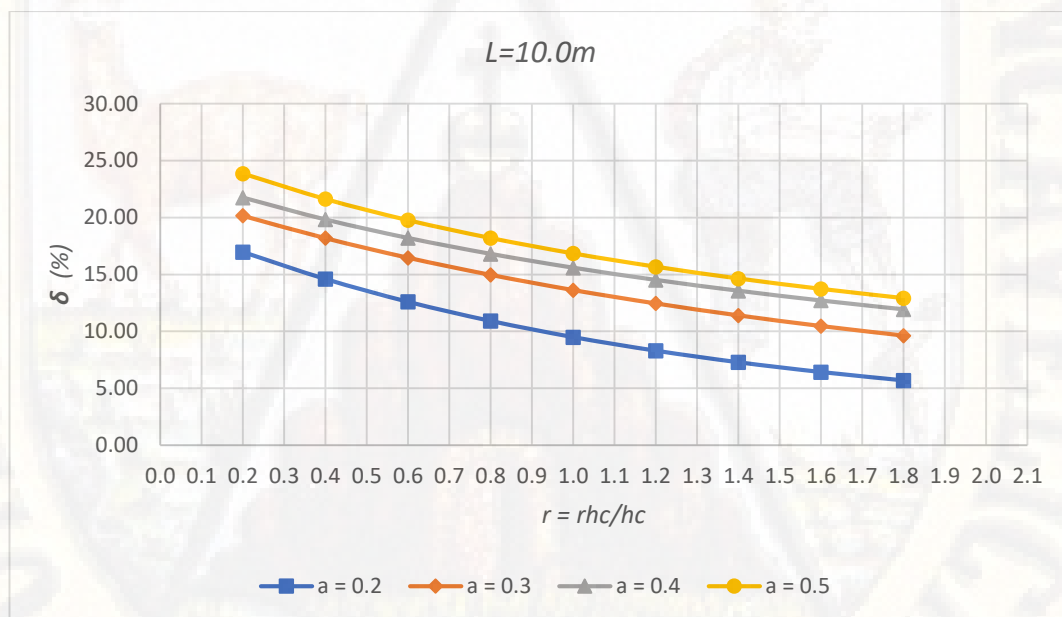


Figura 4.32 El % de variación de desplazamiento respecto a la variación de longitud y altura de cartela para $L=10.00m$

Fuente: Elaboración propia.

Nota El presente ítem se ha mostrado resultados para una viga acartelada $L=10.00$ y longitud de cartela 3.00m. El resto de la viga siguen el mismo patrón de variaciones.

4.1.9. Diagrama de momento flector para una viga acartelada $L=10\text{m}$, $a=0.3$, altura de cartela variable.

Tabla 4.20

Diagrama de momento flector para viga acartelada de $L=10.00\text{m}$

r	M-	M+	M-
0.2	-35490.00	14510	-35490.00
0.4	-37035.00	12965	-37035.00
0.6	-38175.00	11825	-38175.00
0.8	-39039.00	10961	-39039.00
1.0	-39709.00	10291	-39709.00
1.2	-40240.00	9759.9	-40240.00
1.4	-40668.00	9331.7	-40668.00
1.6	-41019.00	8980.9	-41019.00
1.8	-41311.00	8689.5	-41311.00
2.0	-41556.00	8444.4	-41556.00

Figura 4.33 Momentos para distintas alturas de cartela y longitud de cartela 3.0m

Fuente: Elaboración Propia.

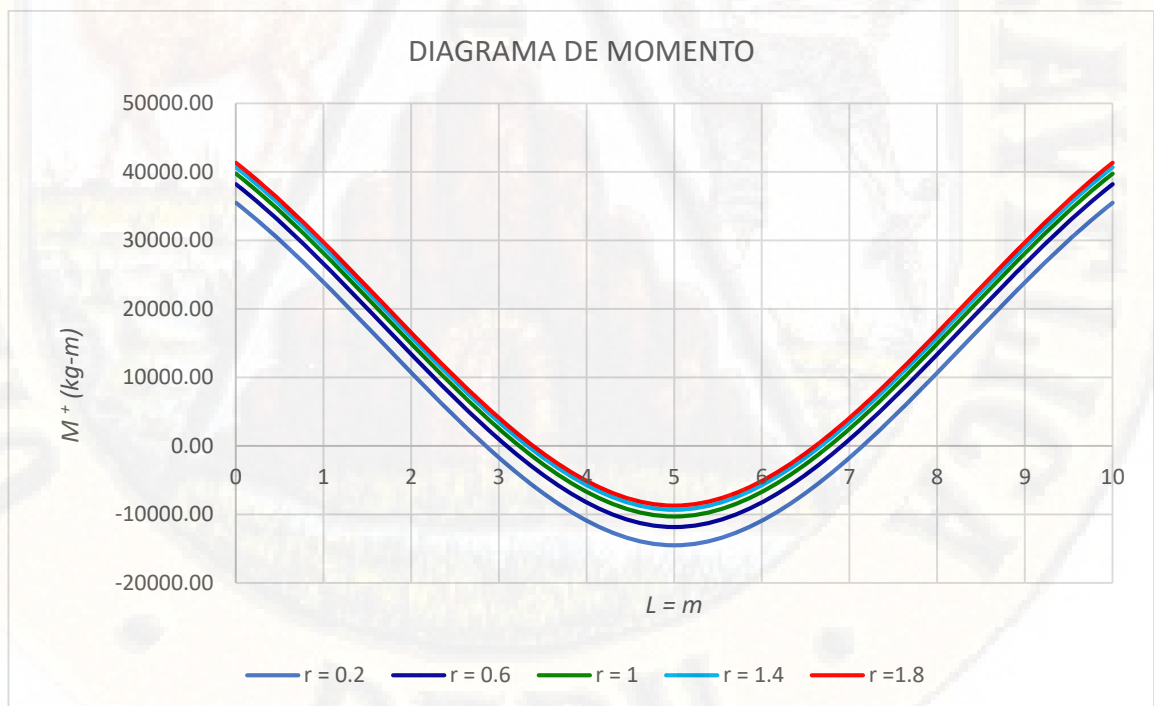


Figura 4.34 Diagrama de momento flector para viga acartelada $L=10.0\text{m}$, $L_a=3.00\text{m}$, altura de viga variable

Fuente: Elaboración propia.

Nota El presente ítem se ha mostrado resultados para una viga acartelada $L=10.00$ y longitud de cartela 3.00m . El resto de la viga siguen el mismo patrón de variaciones.

4.1.10. Regresión polinomial para $M/(WL^2)$ en función de la altura máxima efectivo $L=7.50\text{m}$.

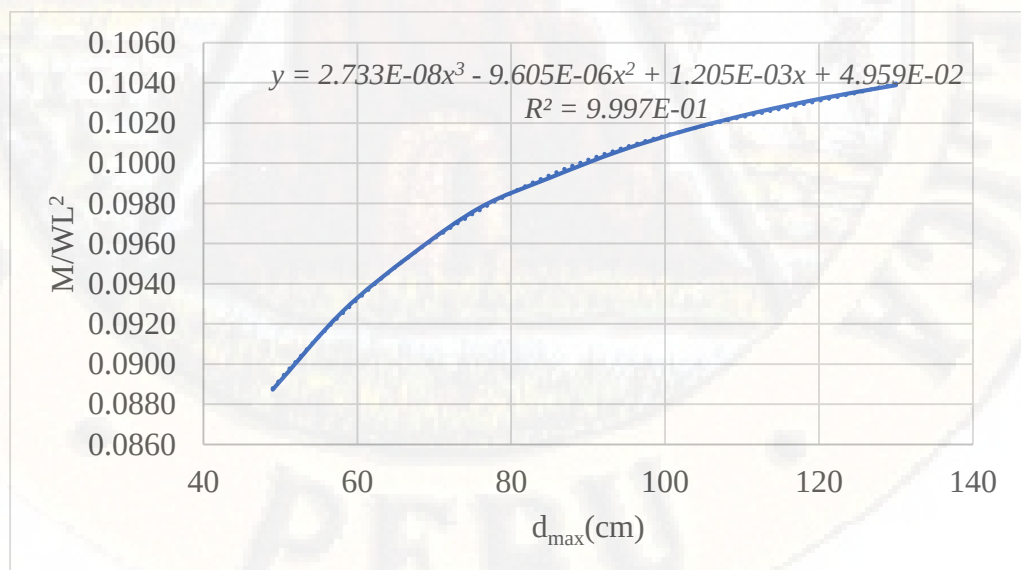
Tabla 4.21

Coefficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L=0.2$

$d_{\max}$	M	M/WL^2	$F(d_{\max})$	Coef
49	19963	0.0887	x^3	$2.73\text{E-}08$
58	20832	0.0926	x^2	$-9.61\text{E-}06$
67	21473	0.0954	x	$1.21\text{E-}03$
76	22006	0.0978	c	$4.96\text{E-}02$
85	22336	0.0993		
94	22635	0.1006		
103	22876	0.1017		
112	23073	0.1025		
121	23237	0.1033		
130	23375	0.1039		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{\max}$

Fuente: Elaboración propia.



|Figura 4.35 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5\text{m}$, $aL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.22

Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.3$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
49	20184	0.0897	x^3	2.82E-08
58	21266	0.0945	x^2	-1.03E-05
67	22097	0.0982	x	1.38E-03
76	22747	0.1011	c	4.38E-02
85	23262	0.1034		
94	23678	0.1052		
103	24018	0.1067		
112	24299	0.1080		
121	24534	0.1090		
130	24732	0.1099		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

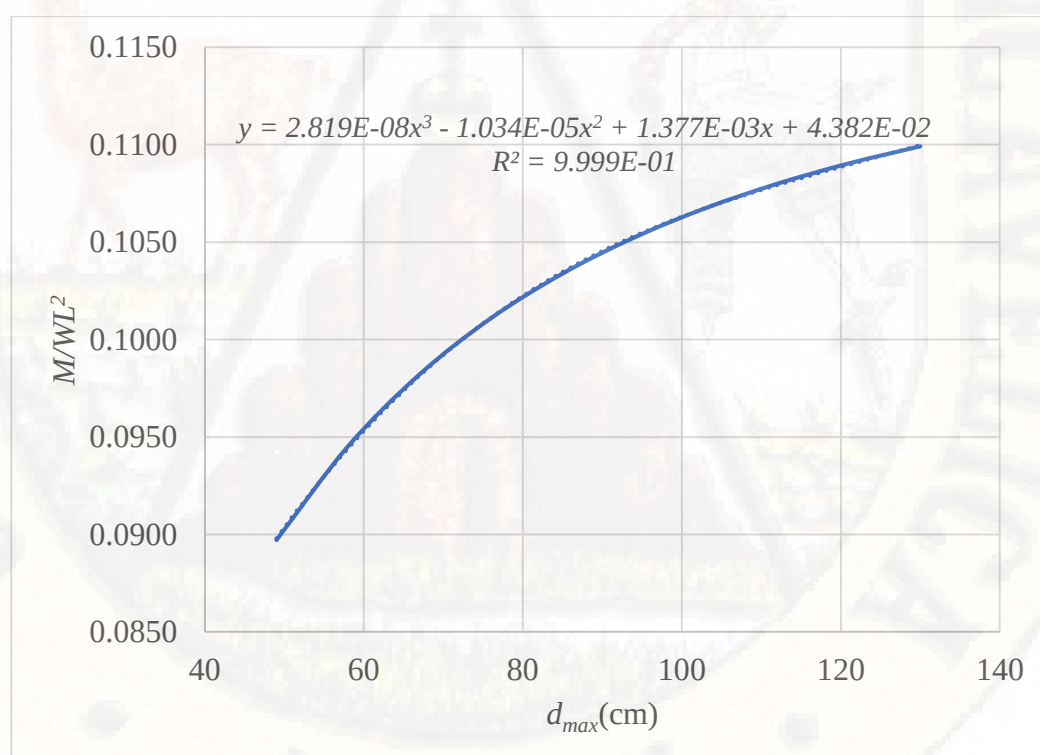


Figura 4.36 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.23

Coefficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.4$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
49	20183	0.0897	x^3	2.49E-08
58	21312	0.0947	x^2	-9.49E-06
67	22212	0.0987	x	1.34E-03
76	22941	0.1020	c	4.39E-02
85	23537	0.1046		
94	24030	0.1068		
103	24443	0.1086		
112	24790	0.1102		
121	25086	0.1115		
130	25339	0.1126		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

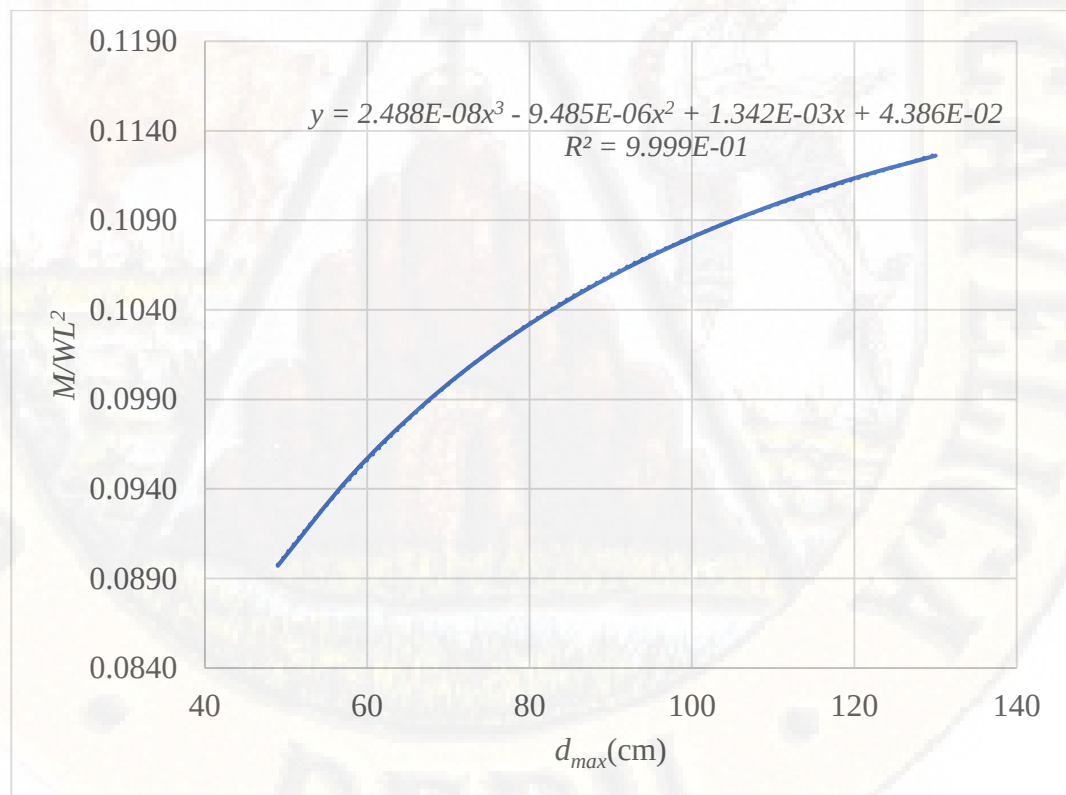


Figura 4.37 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.24

Coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.5$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
49	19997	0.0889	x^3	1.99E-08
58	20989	0.0933	x^2	-7.67E-06
67	21794	0.0969	x	1.13E-03
76	22458	0.0998	c	4.98E-02
85	23014	0.1023		
94	23485	0.1044		
103	23888	0.1062		
112	24237	0.1077		
121	24540	0.1091		
130	24807	0.1103		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

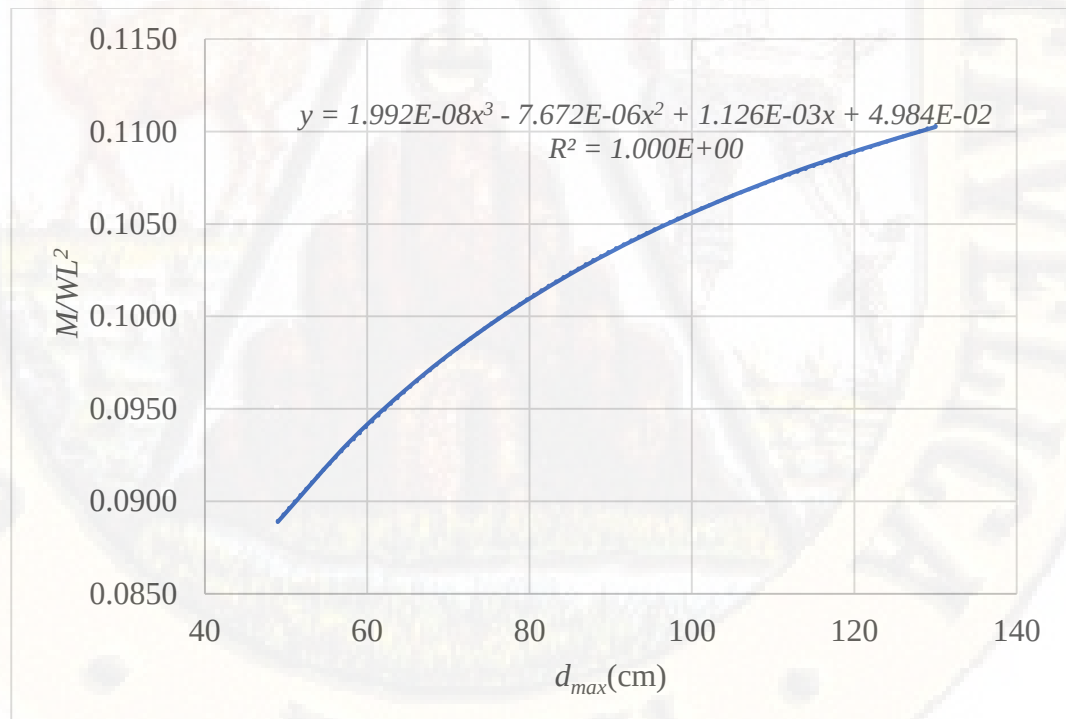


Figura 4.38 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=7.5m$, $aL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.11. Regresión polinomial para $M/(WL^2)$ en función de la altura máxima efectivo $L=10.00m$.

Tabla 4.25

Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.2$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
67	35490	0.0887	x^3	2.89E-08
79	37035	0.0926	x^2	-1.04E-05
91	38175	0.0954	x	1.38E-03
103	39039	0.0976	c	3.42E-02
115	39709	0.0993		
127	40240	0.1006		
139	40668	0.1017		
151	41019	0.1025		
163	41311	0.1033		
175	41556	0.1039		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

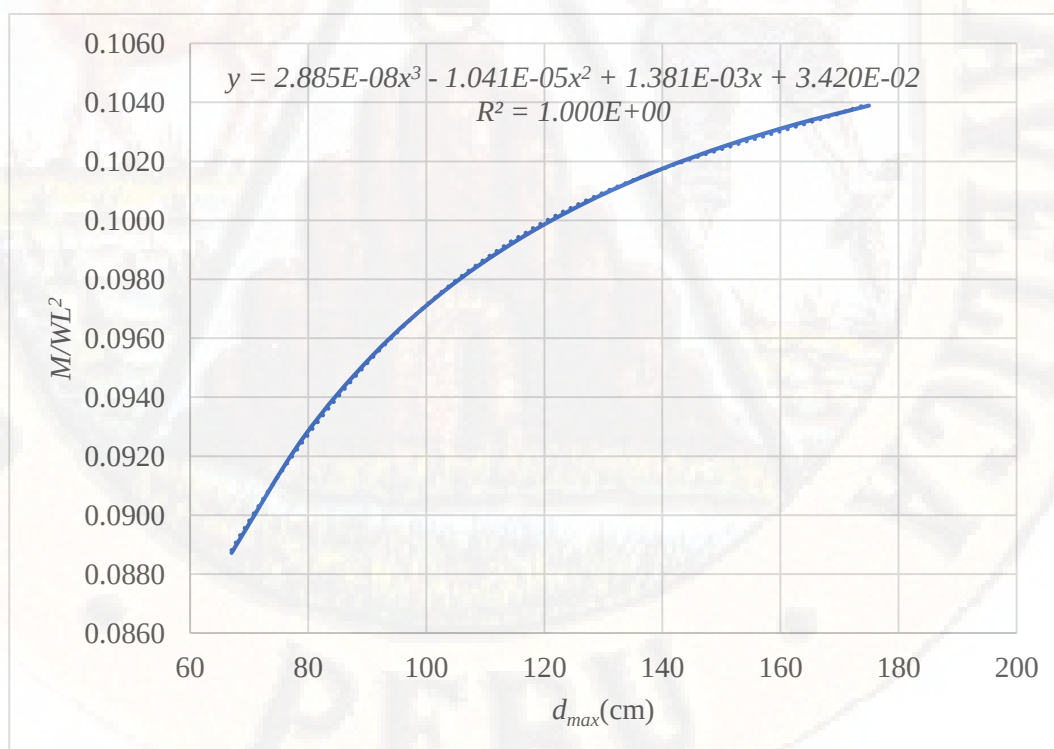


Figura 4.39 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.26

Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.3$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
67	35882	0.0897	x^3	1.19E-08
79	37806	0.0945	x^2	-5.89E-06
91	39284	0.0982	x	1.05E-03
103	40439	0.1011	c	4.20E-02
115	41356	0.1034		
127	42095	0.1052		
139	42698	0.1067		
151	43198	0.1080		
163	43616	0.1090		
175	43969	0.1099		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

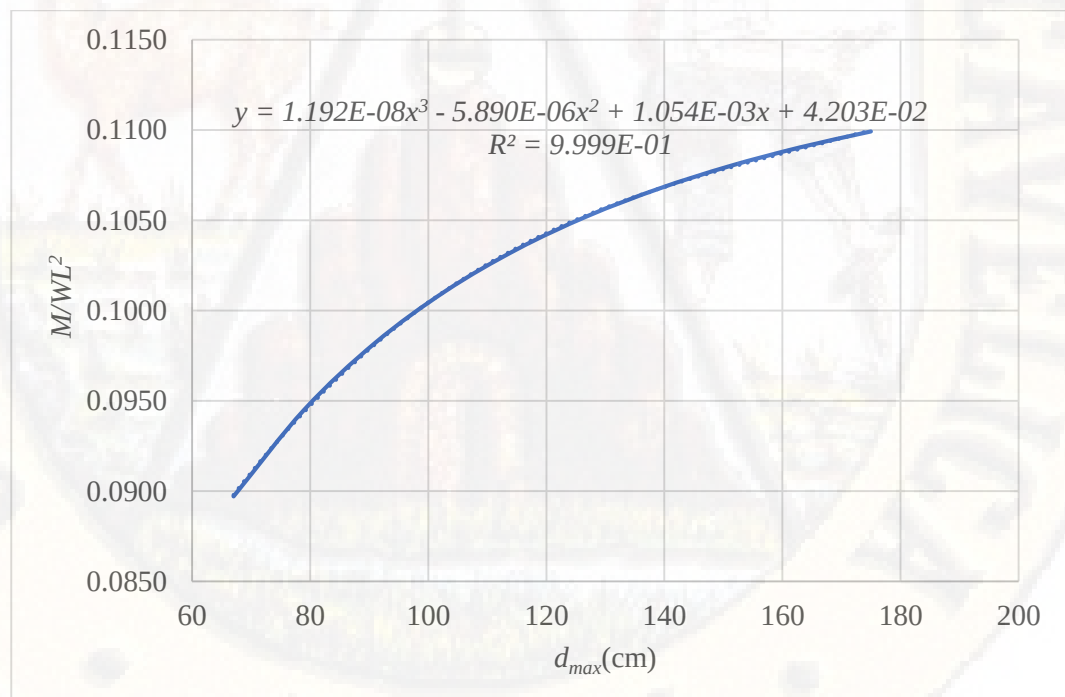


Figura 4.40 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.27

Coefficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.4$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
67	35882	0.0897	x^3	1.05E-08
79	37888	0.0947	x^2	-5.38E-06
91	39489	0.0987	x	1.02E-03
103	40784	0.1020	c	4.22E-02
115	41844	0.1046		
127	42721	0.1068		
139	43454	0.1086		
151	44072	0.1102		
163	44597	0.1115		
175	45047	0.1126		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

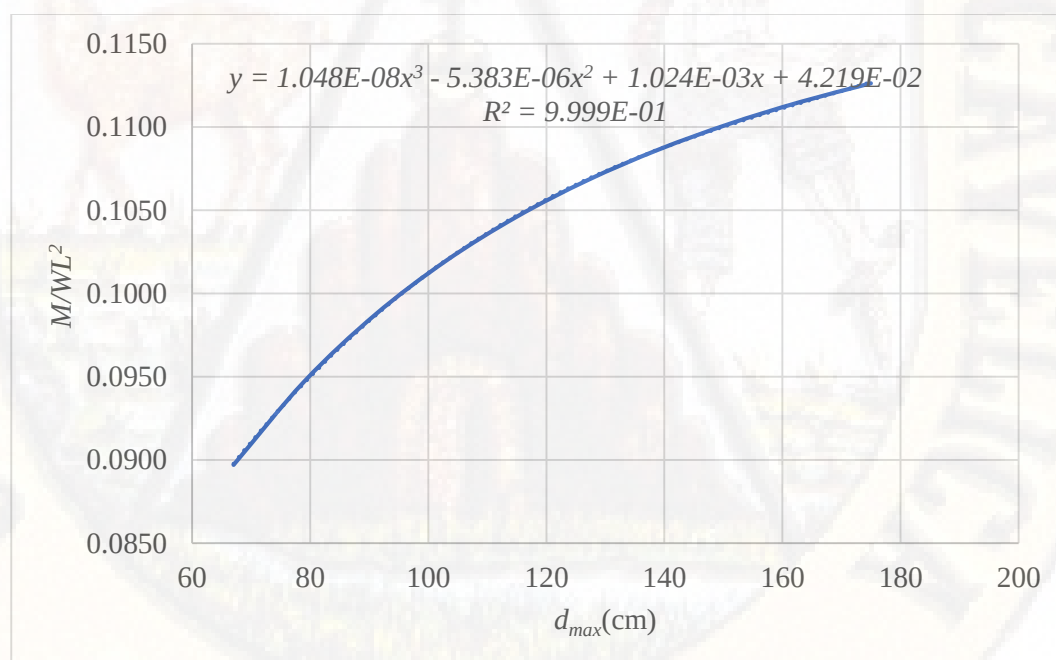


Figura 4.41 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.28

Coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.5$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
67	35551	0.0889	x^3	8.39E-09
79	37314	0.0933	x^2	-4.35E-06
91	38745	0.0969	x	8.58E-04
103	39925	0.0998	c	4.85E-02
115	40913	0.1023		
127	41751	0.1044		
139	42468	0.1062		
151	43087	0.1077		
163	43627	0.1091		
175	44101	0.1103		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

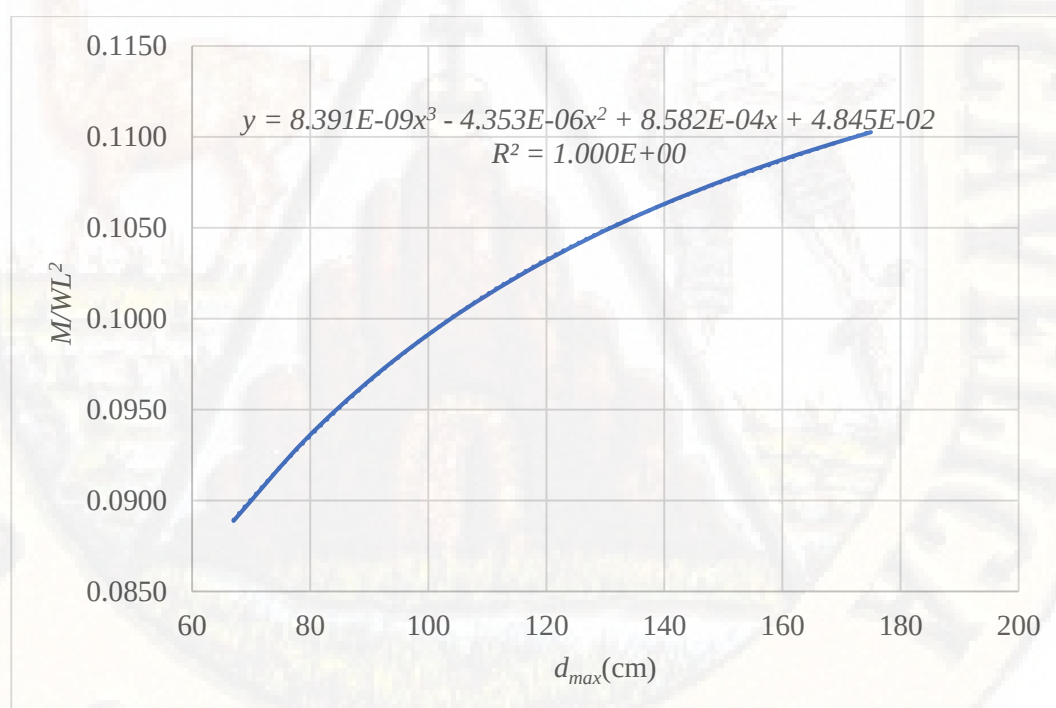


Figura 4.42 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=10m$, $aL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.12. Regresión polinomial para $M/(WL^2)$ en función de la altura máxima efectivo $L=12.5m$.

Tabla 4.29

Coefficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.2$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
85	55453	0.0887	x^3	5.54E-09
100	57867	0.0926	x^2	-3.34E-06
115	59648	0.0954	x	7.19E-04
130	60998	0.0976	c	4.84E-02
145	62046	0.0993		
160	62875	0.1006		
175	63544	0.1017		
190	64092	0.1025		
205	64548	0.1033		
220	64931	0.1039		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

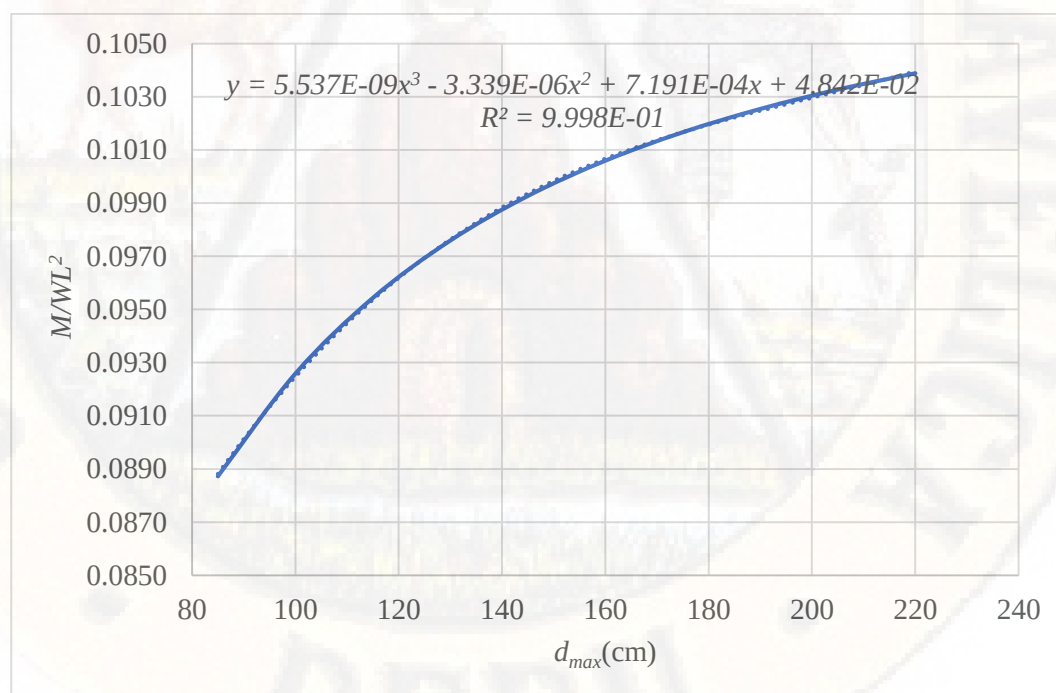


Figura 4.43 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.30

Coefficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.3$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
85	56066	0.0897	x^3	6.11E-09
100	59073	0.0945	x^2	-3.79E-06
115	61382	0.0982	x	8.53E-04
130	63186	0.1011	c	4.10E-02
145	64618	0.1034		
160	65773	0.1052		
175	66716	0.1067		
190	67497	0.1080		
205	68150	0.1090		
220	68702	0.1099		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

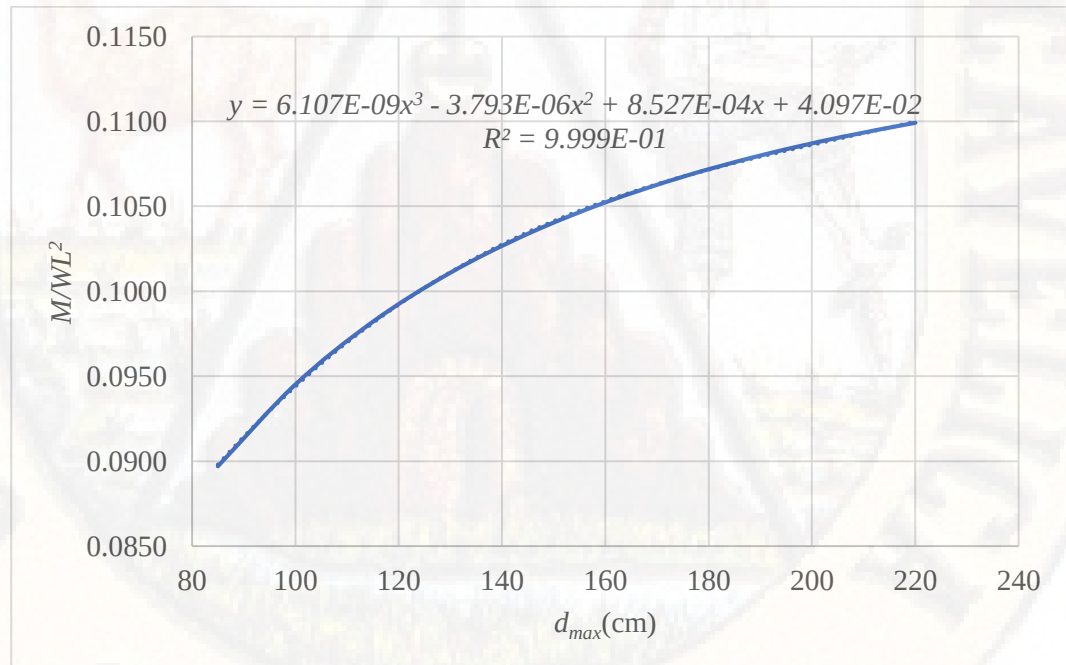


Figura 4.44 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.31

Coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.4$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
85	56066	0.0897	x^3	5.37E-09
100	59200	0.0947	x^2	-3.47E-06
115	61702	0.0987	x	8.28E-04
130	63725	0.1020	c	4.12E-02
145	65381	0.1046		
160	66752	0.1068		
175	67896	0.1086		
190	68862	0.1102		
205	69683	0.1115		
220	70386	0.1126		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

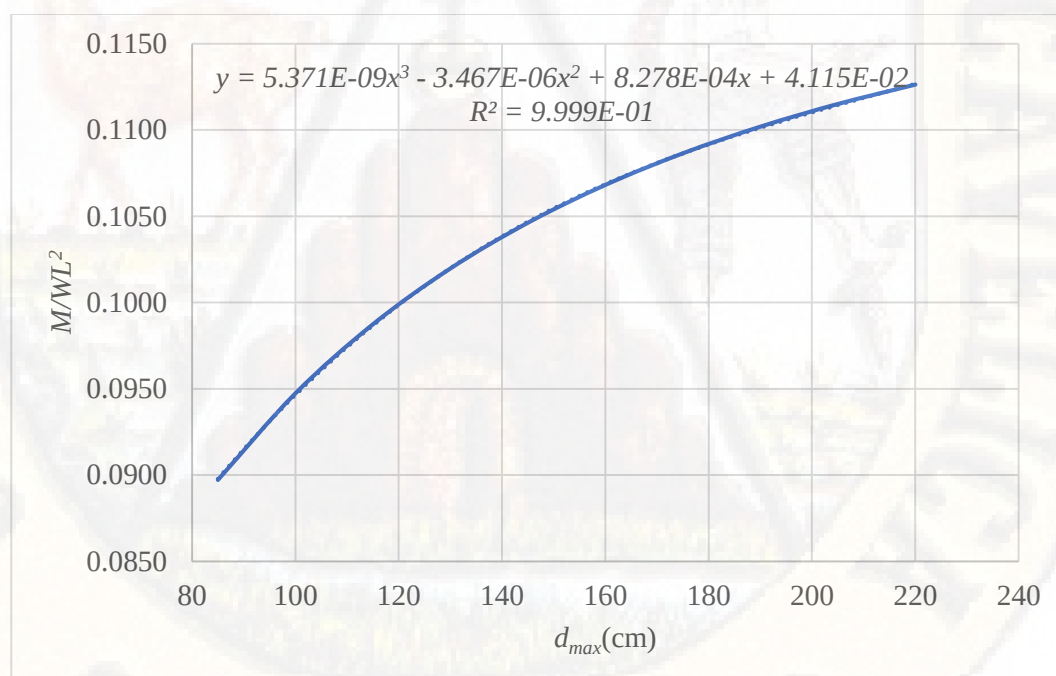


Figura 4.45 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.32

Coefficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.5$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
85	55548	0.0889	x^3	4.30E-09
100	58303	0.0933	x^2	-2.80E-06
115	60539	0.0969	x	6.94E-04
130	62383	0.0998	c	4.76E-02
145	63927	0.1023		
160	65236	0.1044		
175	66356	0.1062		
190	67324	0.1077		
205	68168	0.1091		
220	68908	0.1103		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

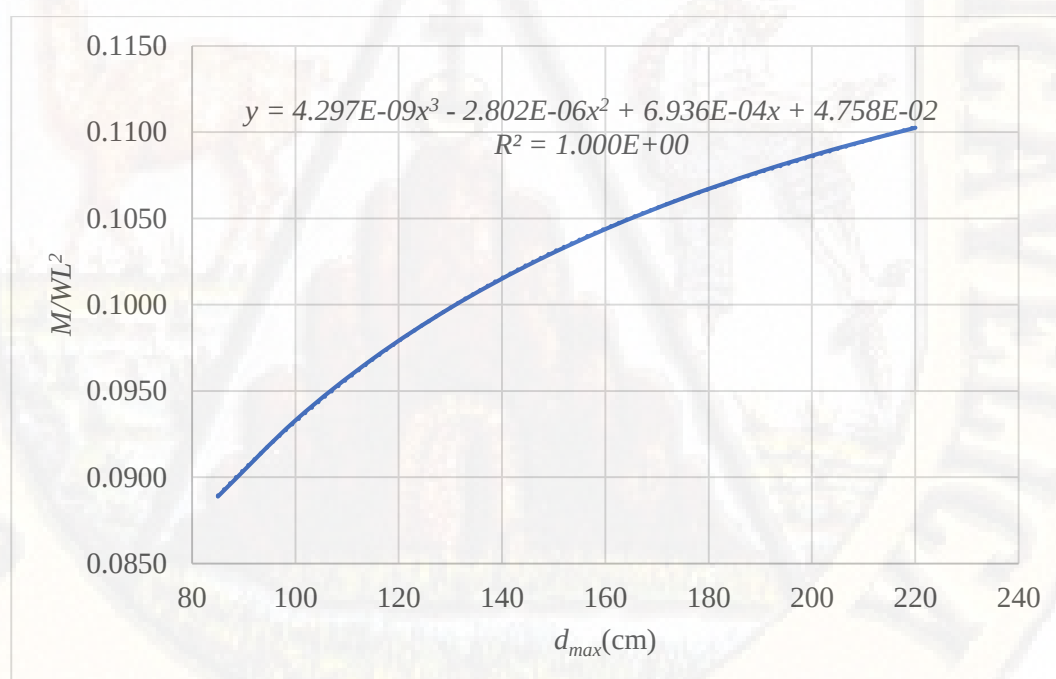


Figura 4.46 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=12.5m$, $aL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.13. Regresión polinomial para $M/(WL^2)$ en función de la altura máxima efectivo $L=15.00m$.

Tabla 4.33

Coefficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.2$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
103	79852	0.0887	x^3	3.20E-09
121	83328	0.0926	x^2	-2.33E-06
139	85893	0.0954	x	6.04E-04
157	87837	0.0976	c	4.78E-02
175	89346	0.0993		
193	90540	0.1006		
211	91504	0.1017		
229	92293	0.1025		
247	92949	0.1033		
265	93500	0.1039		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

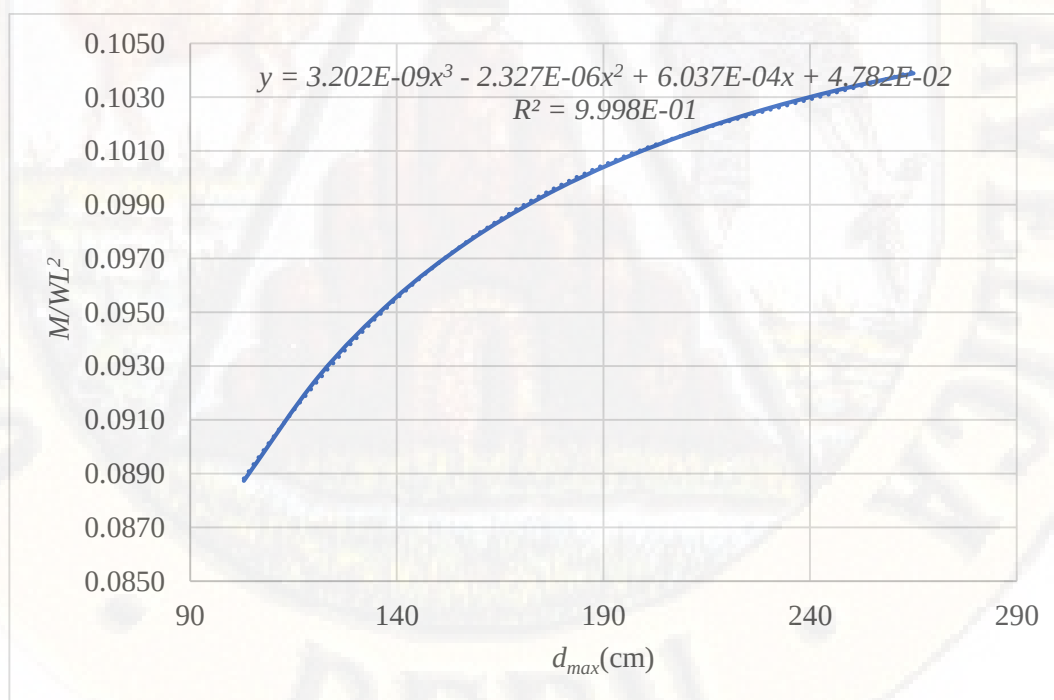


Figura 4.47 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.2$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.34

Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.3$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
103	80736	0.0897	x^3	3.53E-09
121	85065	0.0945	x^2	-2.64E-06
139	88389	0.0982	x	7.15E-04
157	90987	0.1011	c	4.03E-02
175	93050	0.1034		
193	94713	0.1052		
211	96072	0.1067		
229	97196	0.1080		
247	98136	0.1090		
265	98930	0.1099		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

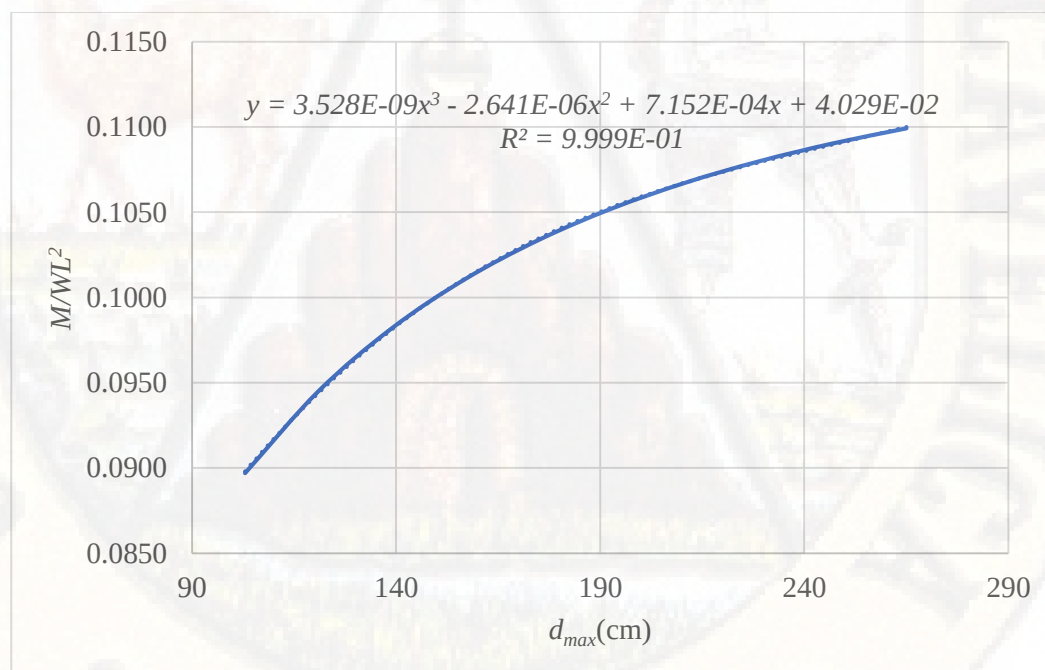


Figura 4.48 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.3$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.35

Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.4$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
103	80735	0.0897	x^3	3.12E-09
121	85248	0.0947	x^2	-2.42E-06
139	88850	0.0987	x	6.95E-04
157	91764	0.1020	c	4.04E-02
175	94149	0.1046		
193	96122	0.1068		
211	97771	0.1086		
229	99161	0.1102		
247	100340	0.1115		
265	101360	0.1126		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

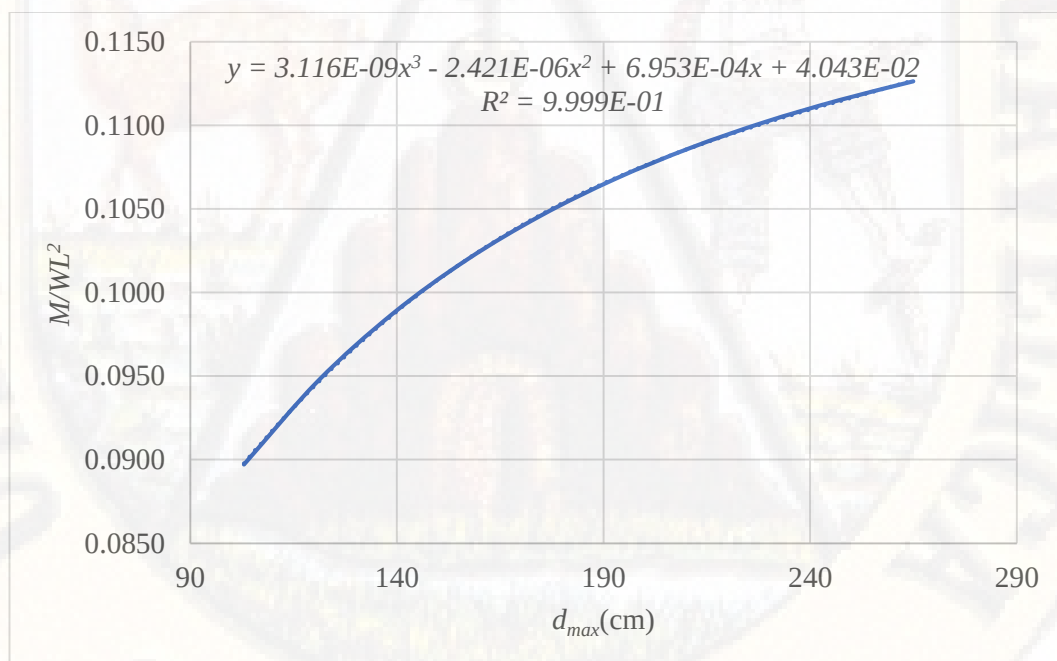


Figura 4.49 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.4$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4.36

Coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.5$

d_{max}	M	M/WL^2	$F(d_{max})$	Coef
103	79989	0.0889	x^3	2.49E-09
121	83956	0.0933	x^2	-1.95E-06
139	87176	0.0969	x	5.82E-04
157	89832	0.0998	c	4.70E-02
175	92056	0.1023		
193	93940	0.1044		
211	95553	0.1062		
229	96947	0.1077		
247	98162	0.1091		
265	99228	0.1103		

Regresión polinomial de 3er grado para calcular $M/(WL^2)$ en función de $x = d_{max}$

Fuente: Elaboración propia.

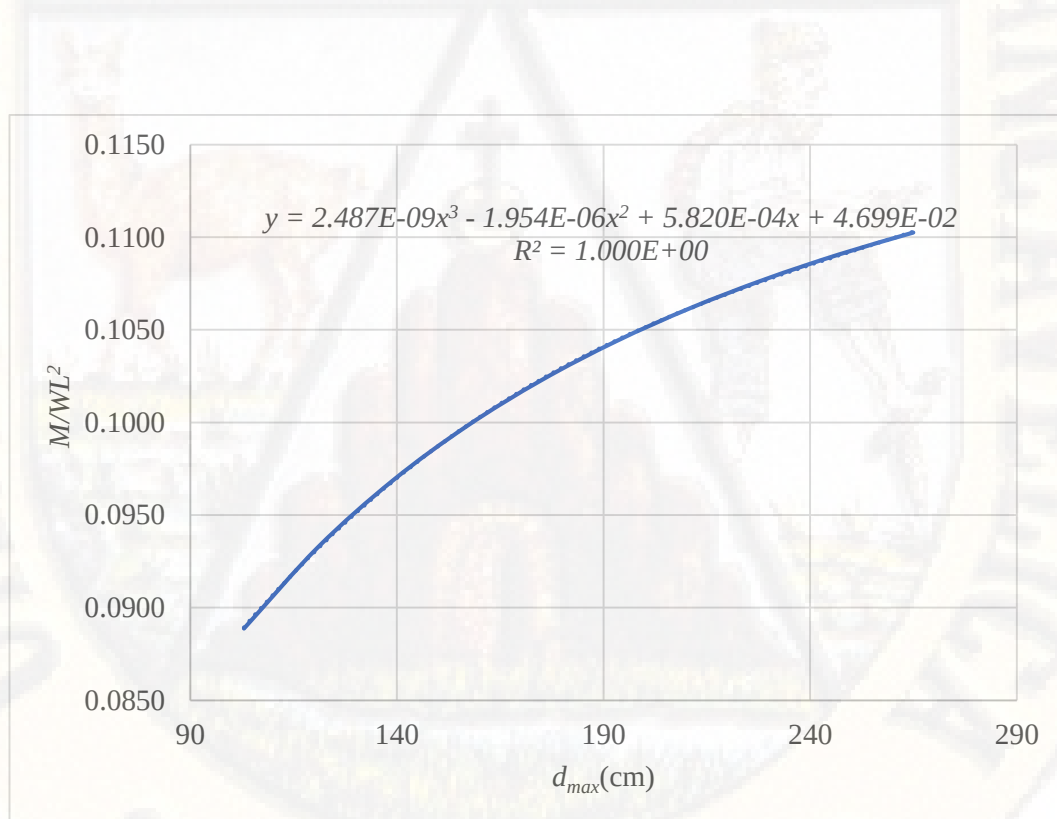


Figura 4.50 Regresión polinomial para coeficiente de WL^2 , $L=15m$, $aL/L=0.5$

Fuente: Elaboración propia.

4.1.14. Resultados de Optimización

Tabla 4.37

Propiedades de la viga acartelada para optimización

Propiedades de los Materiales			
Acero grado 60°	$f_y =$	4200	Kg/cm ²
Tipo de concreto	$f'_c =$	210	Kg/cm ²
Peso del C°A° por unidad de volumen	$\gamma_c =$	0.0024	Kg/cm ³
Parámetros de la función costo			
Costo del acero (s/. 5.07 kg)	$C_s =$	0.0398	sol/cm ³
Costo del concreto (s/. 379.74 m ³)	$C_c =$	0.00038	sol/cm ³
Costo del encofrado (s/. 72.45 m ²)	$C_e =$	0.007245	sol/cm ²
Restricciones de diseño o de optimización			
Cuantía geométrico mínima	$14/f_y =$	0.0033	
Cuantía geométrico máxima	$0.75P_b =$	0.015938	

Fuente: Elaboración propia

Diagrama de flujo de Optimización estructural

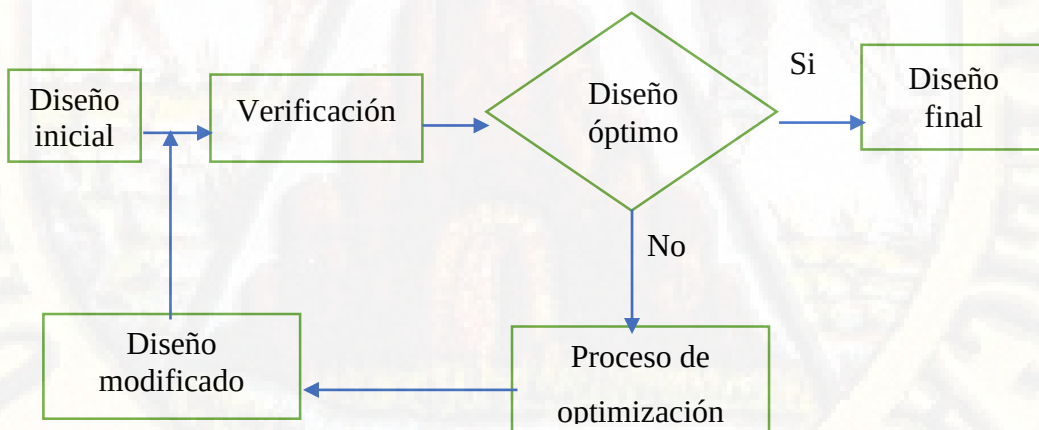
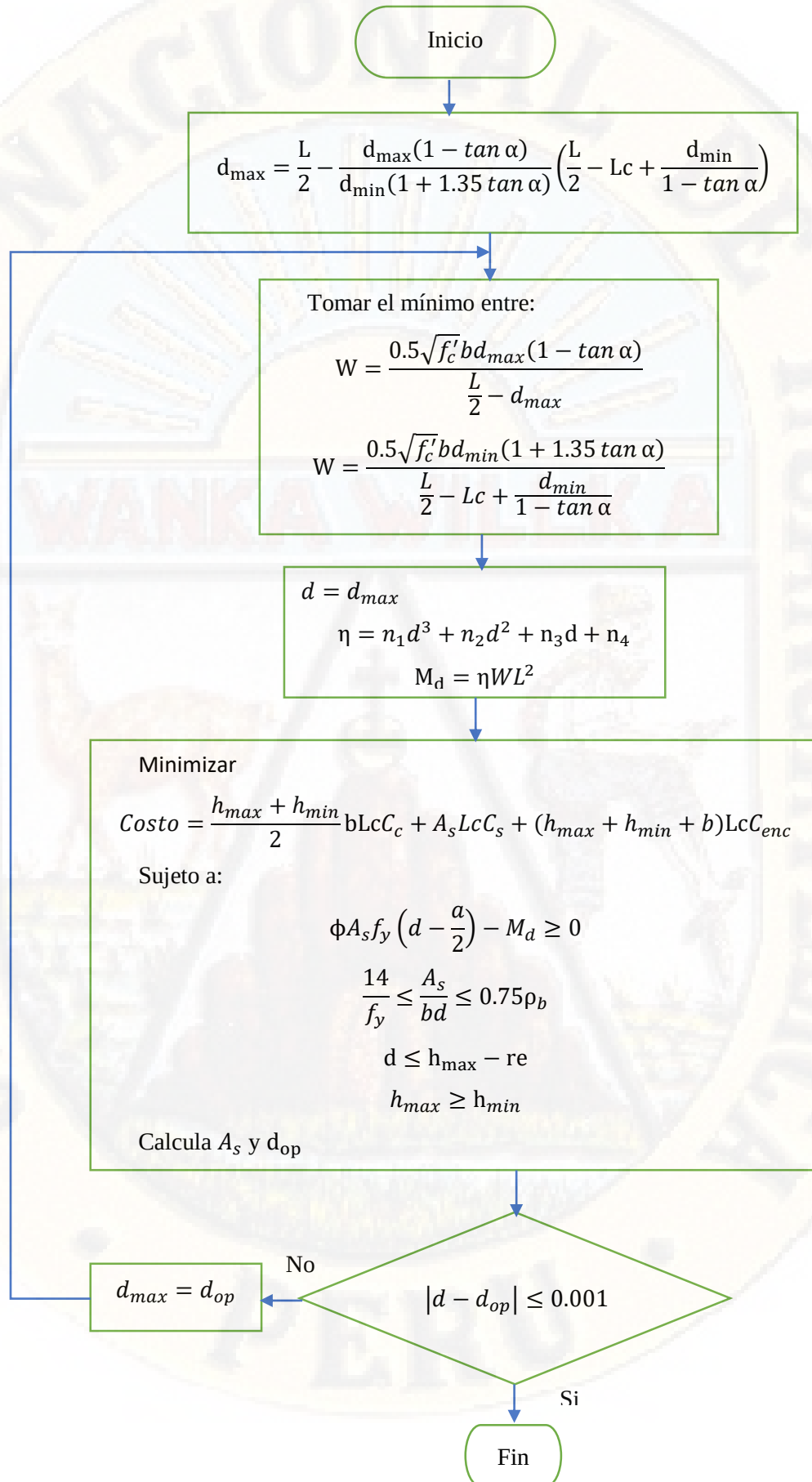


Diagrama de flujo para optimización de vigas



Resultado de secciones Óptimas

Tabla 4.38

Resultados de secciones óptimas

L	aL	hmin	hmax	As	d	costo	M-	W	Costo/W	L/x	Angulo
m	cm	cm	cm	cm ²	cm	s/.	tn . m	tn/m	sol/(tn/m)	x	°
7.5	150	45	48.51	8.927	43.51	317.6	13.501	2.788	113.93	5.0	2.68
7.5	225	45	45.56	8.94	40.56	459.15	12.52	2.632	174.45	3.3	0.283
7.5	300	45	45	8.855	40	603	12.227	2.591	232.76	2.5	0
7.5	375	45	45	8.883	40	749.85	12.261	2.598	288.63	2.0	0
10	200	60	70.88	15.854	65.88	672.2	36.684	4.157	161.68	5.0	6.226
10	300	60	67.83	16.279	62.83	980.08	35.712	4.059	241.44	3.3	2.988
10	400	60	65.03	16.18	60.03	1274.11	33.806	3.906	326.17	2.5	1.442
10	500	60	63.02	16.012	58.02	1563.27	32.264	3.785	413.04	2.0	0.691
12.5	250	75	95.14	24.821	90.14	1131.01	79.095	5.614	201.46	5.0	9.212
12.5	375	75	92.17	25.854	87.17	1655.88	79.241	5.602	295.56	3.3	5.242
12.5	500	75	89.07	25.942	84.07	2155.68	76.453	5.471	393.98	2.5	3.223
12.5	625	75	85.94	25.608	80.94	2631.13	72.513	5.295	496.89	2.0	2.005
15	300	90	120.28	35.664	115.28	1872.45	145.979	7.099	263.77	5.0	11.526
15	450	90	117.96	37.696	112.96	2763.39	150.428	7.23	382.19	3.3	7.111
15	600	90	114.79	38.136	109.79	3611.83	147.493	7.148	505.31	2.5	4.733
15	750	90	110.66	37.623	105.66	4402.03	139.766	6.933	634.98	2	3.155

Fuente: Elaboración propia

4.2. Discusión de Resultados

La investigación tuvo como objetivo determinar la relación que existe entre la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes. Del mismo modo se busca determinar la relación entre cada una de las dimensiones de las variables geometría de acartelamiento (longitud de cartela, altura de cartela y luz de viga acartelada), con la variable satisfacción del cliente.

En las figuras desde la Figura 4.18 a Figura 4.32 se puede apreciar que al incrementar la altura de la cartela, manteniendo constante la longitud de cartela, los momentos negativos en las zonas de empotramiento aumentan, mientras que los momentos positivos y los desplazamientos en centro de la luz de viga disminuyen.

También en las figuras desde la Figura 4.18 a Figura 4.32 se puede apreciar que, al incrementar la longitud de cartela, los momentos negativos en las zonas de empotramiento aumentan, mientras que los momentos positivos y los desplazamientos en centro de la luz de viga disminuyen.

Figura 4.30 a Figura 4.32 En los gráficos podemos observar que la tasa de variación de los momentos negativos, positivos y desplazamientos máximos disminuyen progresivamente cuando se aumentan las longitudes de cartela y/o altura de cartela, significa que la influencia de las dimensiones de la cartela es menor en la flexión y desplazamientos cuando las dimensiones de la cartela van aumentando.

En la Figura 4.34 se puede evidenciar la tasa de variación del diagrama de momentos al aumentar la altura de cartela, esto es, cuanto más se incrementa la altura de la cartela, la tasa de variación del momento flector tiende a disminuir progresivamente.

En la Tabla 4.38 donde se muestran las secciones óptimas para distintas luces de vigas acarteladas y distintas geometrías de cartela, se puede evidenciar que cuando la

longitud de cartela es mayor que $0.3L$ la capacidad para soportar carga distribuida, consecuentemente a flexión disminuye y el costo mínimo se va incrementando. Además, se observa el ángulo máximo alcanzado es de 11.526° .

La mayor limitante de la investigación es que para vigas de concreto armado de luces grandes el diseño por fuerzas cortantes predomina sobre el diseño por flexión. Esto se ha evidenciado al realizar la optimización en diseño a flexión la cuantía óptima del acero de viga en los momentos negativos tiende hacia la cuantía mínima y en ninguno de los casos se ha aproximado hacia la cuantía máxima. Además, el diseño a flexión por momento positivo siempre resultó ser cuantía mínima. Por lo cual para la optimización primero se verificó la máxima carga que puede soportar a corte, luego, para esta carga se ha encontrado los valores del área de acero y la altura máxima de cartela que minimicen el costo por flexión.

Según el objetivo, determinar la relación de la longitud, altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces, los resultados mostrados en las figuras, Figura 4.18 a Figura 4.29 Se evidencian un nivel de correlación positiva considerable, entre de la longitud, altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión, reflejando que al hacer variar la longitud y/o altura de cartela tiene una relación directa en los momentos negativos en la zona de empotramiento y el momento máximo positivo en el centro de la luz de la viga. Dado que al ser comparados con lo encontrado por **Estévez y Reiley** (2006) en su trabajo especial de grado titulada “Estudio de la influencia de vigas acarteladas en pórticos planos de concreto armado”. Quien concluyó que con las cartelas, la distribución de carga en dirección gravitacional produce mayor concentración de los momentos en los nodos, de esta manera se reduce el momento en la parte central de la viga. Con estos resultados se afirma que la longitud de cartela si contribuye de una manera directa en el mecanismo de resistencia a flexión en vigas de grandes luces, además San Bartolomé (1998) indica que en estructuras con grandes luces o con altas sobrecargas, puede colocarse cartelas (incremento gradual de altura) en los extremos de las vigas, con la finalidad de disminuir las deflexiones y los momentos positivos a costa de incrementar los momentos negativos.

Conclusiones

En el presente trabajo de investigación se pudo encontrar que la variación de la longitud de cartela tiene una relación directamente proporcional con los momentos negativos máximos e inversamente proporcional a los momentos positivos y los desplazamientos máximos

Se pudo encontrar también que la variación de la altura de cartela se relaciona directamente con el mecanismo de resistencia a flexión. Así de esta manera cuando mayor es la altura de la cartela genera mayores momentos negativos; mientras disminuye los momentos máximos positivos y desplazamientos

La longitud óptima de una cartela en la relación a la luz total de la viga se encuentra entre los límites $L/5$ y $L/3$. Dentro de esta región la viga acartelada puede soportar mayores solicitaciones de carga y con el menor costo de construcción.

El ángulo de acartelamiento para un diseño óptimo debe ser mayor a 3° y no debe superar los 13° . Con ángulos entre estos límites la viga tiene un mejor desempeño estructural a fuerzas cortante y momentos flectores con costos menores de construcción.

Recomendaciones

A los profesionales, tener en consideración en el momento del diseño de vigas acarteladas el costo de los encofrados, debido a que este costo es muy influente en el costo total de construcción.

A los profesionales, verificar y/o diseñar antes por fuerzas cortantes y después por momentos flectores en vigas acarteladas sometida a cargas distribuidas.

A los investigadores se recomienda el uso del paquete Mechanical ANSYS APDL para análisis y simulaciones de estructuras, puesto este software brinda la posibilidad de realizar macros que facilitan realizar cálculos comunes o repetitivos.

Referencias bibliográficas

- Álvarez, G. E. (2016). *Diseño Óptimo de Vigas De Hormigón Armado Sometidas a Flexión Diseño Integral Costo vs Resistencia*. Mexico.
- ANSYS, Inc. (2017). *ANSYS Mechanical APDL Help Viewer*. ANSYS, Inc.
- Archundia, A. H., & Tena, C. A. (2013). *Resistencia Bidereccional a Cortante de Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado*. Mexico: XIX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Archundia, A. H., Tena, C. A., & Gonzáles, C. O. (2002). *Comportamiento a Cortante de Trabes Acarteladas de Concreto Reforzado Ante Carga Estática*. Mexico: Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural, A.C.
- Beer, F., Johnston, E., DeWolf, J., & Mazurek, D. (2010). *Mecánica de Materiales*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Briones, G. (2002). *Metodología De La Investigacion Cuantitativa En Las Ciencias Sociales*. Bogotá, Colombia: ICFES.
- Brito, F. (2014). Estructuras De Ejes Rectos Con Seccion Variable. *Instituto Universitario Politecnico "Santiago Mariño" Extension Guayana*, 10.
- Caballero, R. A. (2014). *Metodología integral innovadora para planes y tesis*. Mexico: Cengage Learning Editores.
- Cantu, C. R. (1996). *Programación no Lineal*. San Nicolás de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo Leon.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. Lima: Editorial San Marcos.
- Cervera, M., & Blanco, E. (2001). *Resistencia de Materales*. Barcelona: Ediciones UPC.
- Chapra, S., & Canale, R. (2007). *Métodos Numéricos Para Ingenieros*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Estévez, L. J., & Reiley, Z. J. (2006). *Estudio de la Influencia de Vigas Acarteladas en Porticos Planos de Concreto Armado*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- García, L. (2014). *Comparación de resultados entre los módulos de análisis estructural de CATIA V5 y ANSYS*. Sevilla.

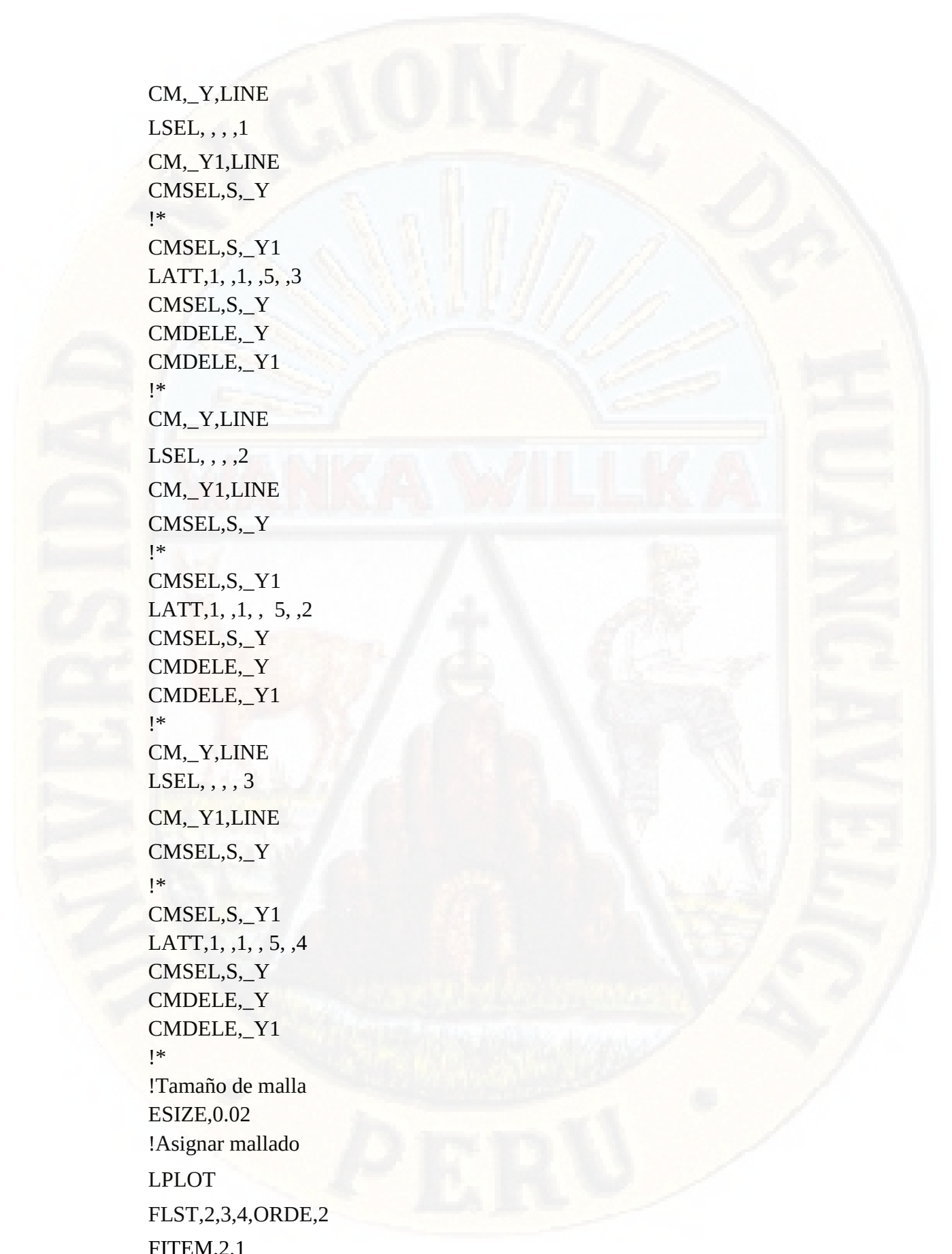
- Godínez, E., Tena, A., & Juárez, G. (2013). " *Análisis numérico de trabes acarteladas de concreto reforzado diseñadas para presentar una falla por cortante*. México.
- Hibbeler, R. (2012). *Análisis Estructural* (Octava Edición ed.). Mexico: Pearson Educación.
- Morales, M. R. (2000). *Diseño en Concreto Armado*. Lima - Perú: Capítulo ACI.
- Posada, G. J. (2016). *Elementos Basicos De Estadística Descriptiva Para El Analisis De Datos*. Medellin, Colombia: Fondo Editorial Luis Amigo.
- Pytel, A., & Singer, F. (1994). *Resistencia de Materiales Intoducción a la mecánica de sólidos*. Mexico: Harla.
- Sampiere, H. R., Collado, F. C., & Lucio, B. M. (2010). *Metodología de la investigación*. Mexico: Mcgraw-Hill / Interamericana Editores, S.A.
- San Bartolomé, Á. (1998). *Análisis de Edificios*. Lima, Perú.
- Tena, A. (2002). " *Modelado elástico de trabes acarteladas de sección T*". México.
- Tena, A., Urbina, L., & Archundia, H. (2017). *Trabes Acarteladas De Concreto Reforzado Continuas Diseñadas Para Fallar Por Cortante. Parte 1: Descripción De Los Experimentos y del Comportamiento Ciclico. Revista de Ingeniería Sísmica*.
- Tena, C. A. (2007). *Análisis de Estructuras con Métodos Matriciales*. México: Limusa.
- Vázquez, M., & López, E. (2001). *El Método de los Elementos Finitos Aplicado al Analisis Estructural*. Madrid: Noela.

Apéndice

MACRO EN ANSYS APDL PARA HACER EL ANÁLISIS DE VIGA

ACARTELADA

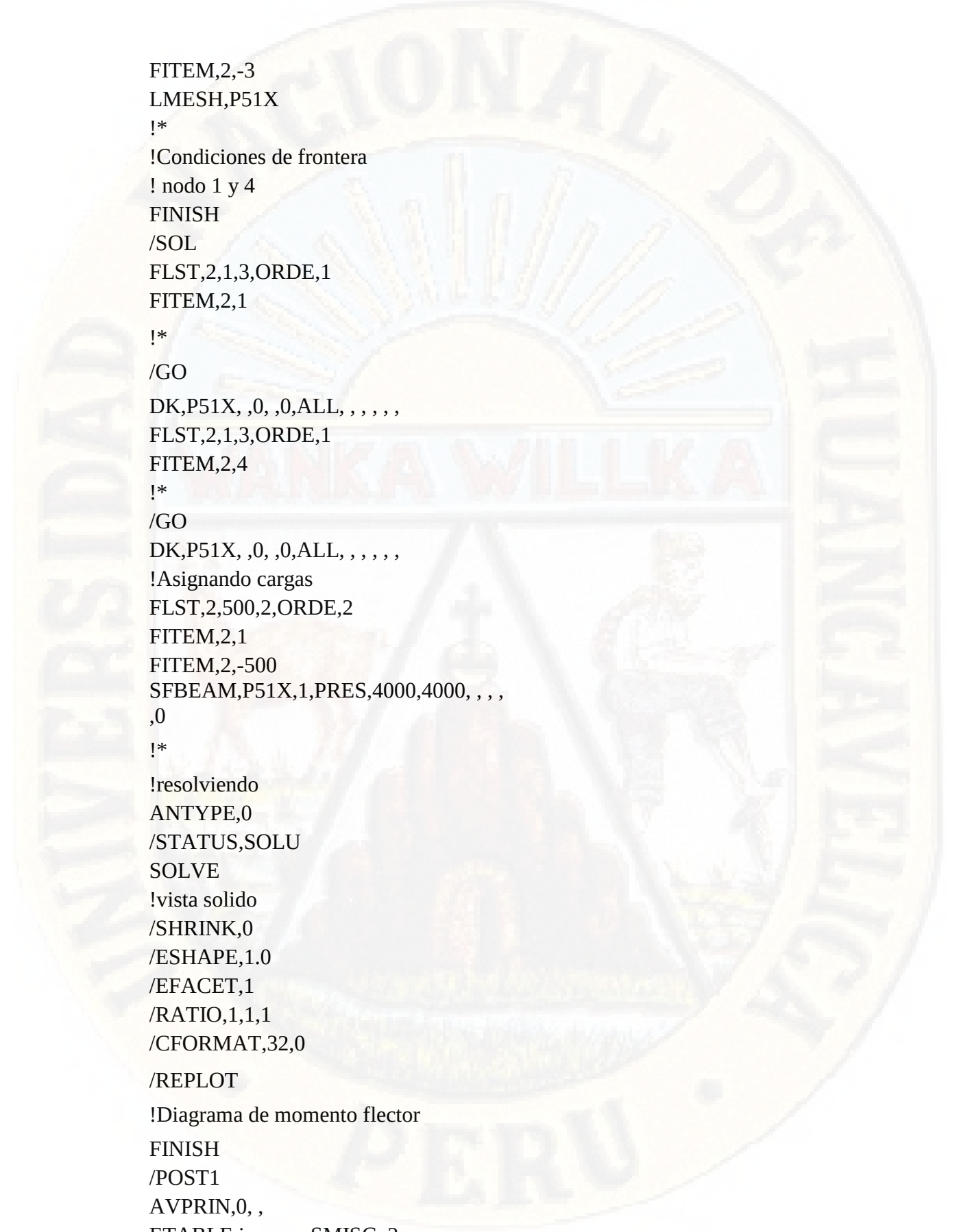
```
/CLEAR,START
/PREP7
!Tipo de elemento
ET,1,BEAM188
!Propiedad del material
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,2173700000
MPDATA,PRXY,1,,0.2
!Seccion 1
SECTYPE, 1, BEAM, RECT, grande, 0
SECOFFSET, USER,0,1.17
SECDATA,0.3,2.34
!Seccion 2
SECTYPE, 2, BEAM, RECT, grande, 0
SECOFFSET, USER,0,0.45
SECDATA,0.3,0.9
!Cartela 1
SECTYPE,3,TAPER, ,cartel01
SECDATA, 1,0,,
SECDATA, 2, 5
!Cartela 2
SECTYPE,4,TAPER, ,cartel02
SECDATA, 2,5
SECDATA, 1, 10
!Puntos y Linea
K,,0,0
K,,5
K,,5
K,,10
K,,2
!*
L,1,2
L,2,3
L,3,4
!Asignando material a las vigas
```



```

CM,_Y,LINE
LSEL,,,1
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,,5,,3
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
CM,_Y,LINE
LSEL,,,2
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,,5,,2
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
CM,_Y,LINE
LSEL,,,3
CM,_Y1,LINE
CMSEL,S,_Y
!*
CMSEL,S,_Y1
LATT,1,,1,,5,,4
CMSEL,S,_Y
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
!*
!Tamaño de malla
ESIZE,0.02
!Asignar mallado
LPLOT
FLST,2,3,4,ORDE,2
FITEM,2,1

```

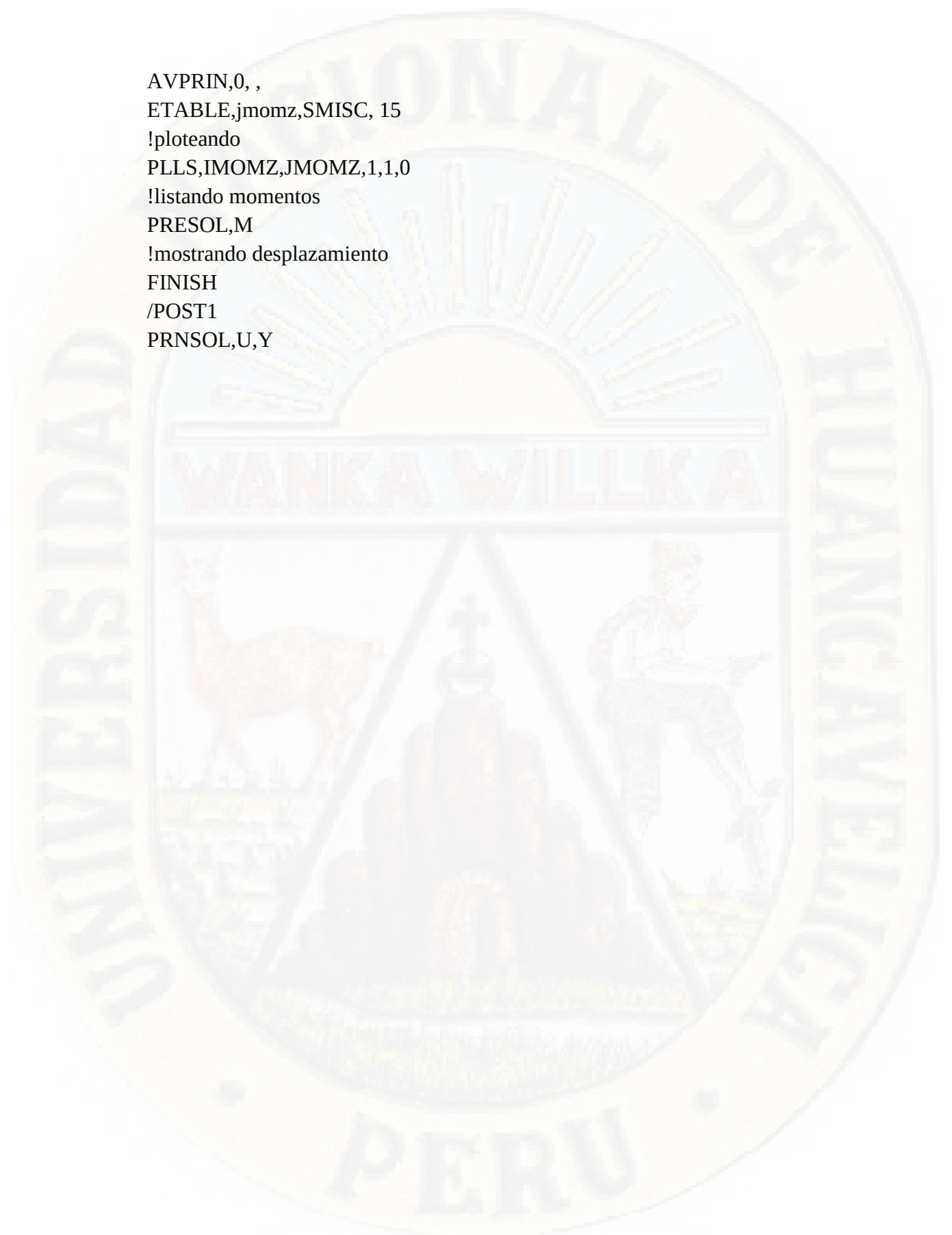


```

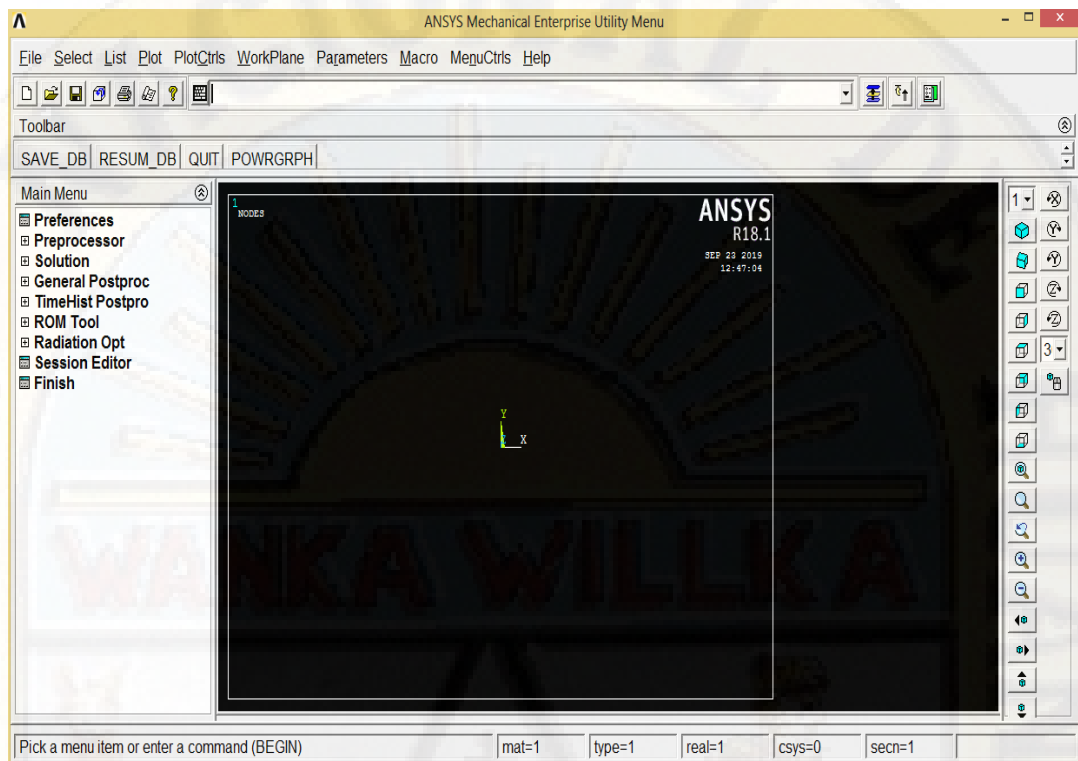
FITEM,2,-3
LMESH,P51X
!*
!Condiciones de frontera
! nodo 1 y 4
FINISH
/SOL
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,1
!*
/GO
DK,P51X, ,0, ,0,ALL, , , , ,
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,4
!*
/GO
DK,P51X, ,0, ,0,ALL, , , , ,
!Asignando cargas
FLST,2,500,2,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-500
SFBEAM,P51X,1,PRES,4000,4000, , , ,
,0
!*
!resolviendo
ANTYPE,0
/STATUS,SOLU
SOLVE
!vista solido
/SHRINK,0
/ESHAPE,1.0
/EFACET,1
/RATIO,1,1,1
/CFORMAT,32,0
/REPLOT
!Diagrama de momento flector
FINISH
/POST1
AVPRIN,0, ,
ETABLE,i momz,SMISC, 2

```

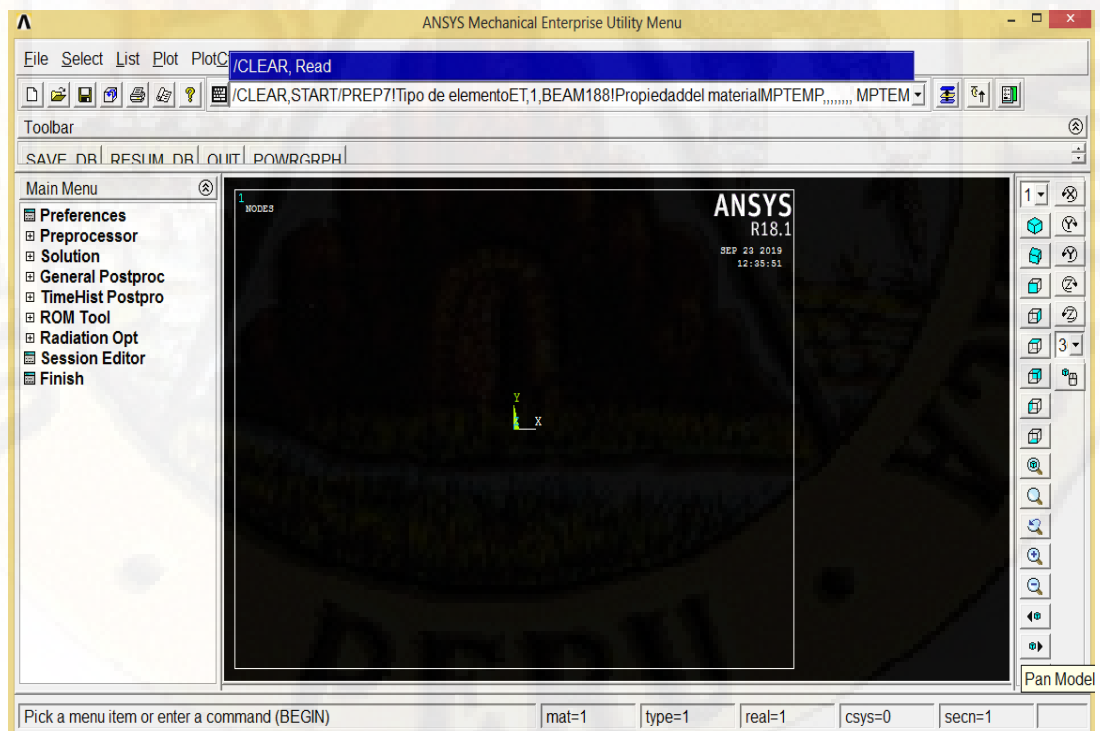
AVPRIN,0, ,
ETABLE,jmomz,SMISC, 15
!ploteando
PLLS,IMOMZ,JMOMZ,1,1,0
!listando momentos
PRESOL,M
!mostrando desplazamiento
FINISH
/POST1
PRNSOL,U,Y



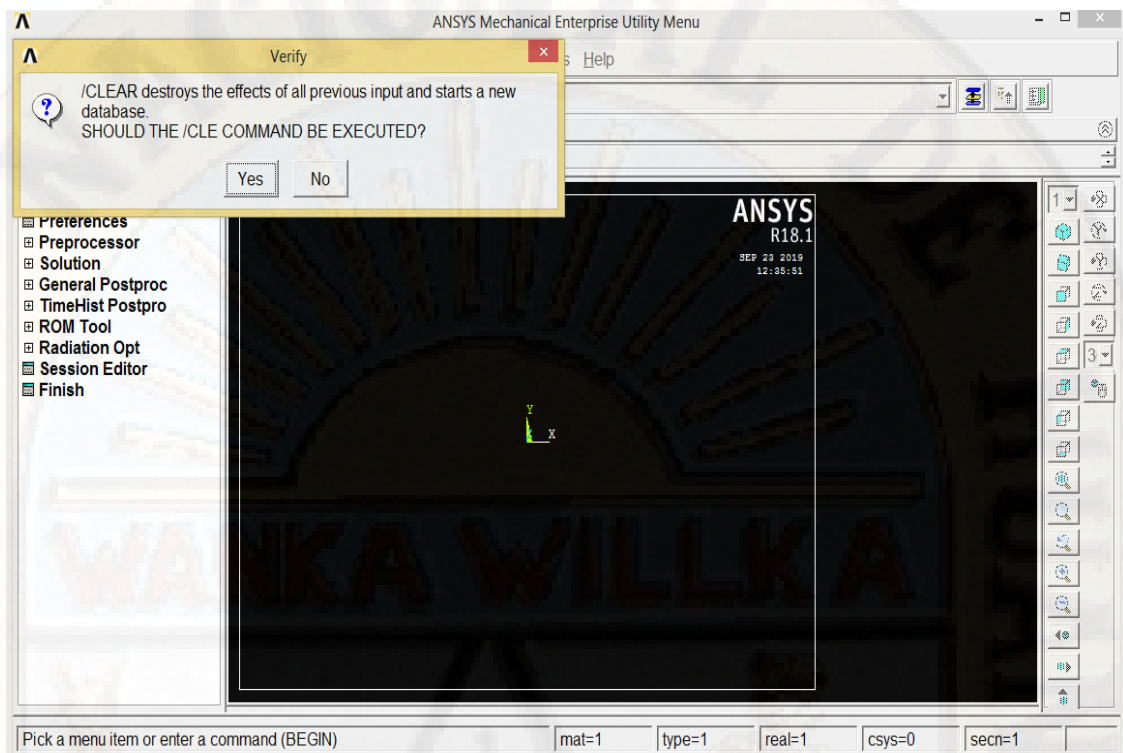
PANEL FOTOGRÁFICO DEL PROCESO DE ANÁLISIS EN ANSYS APDL



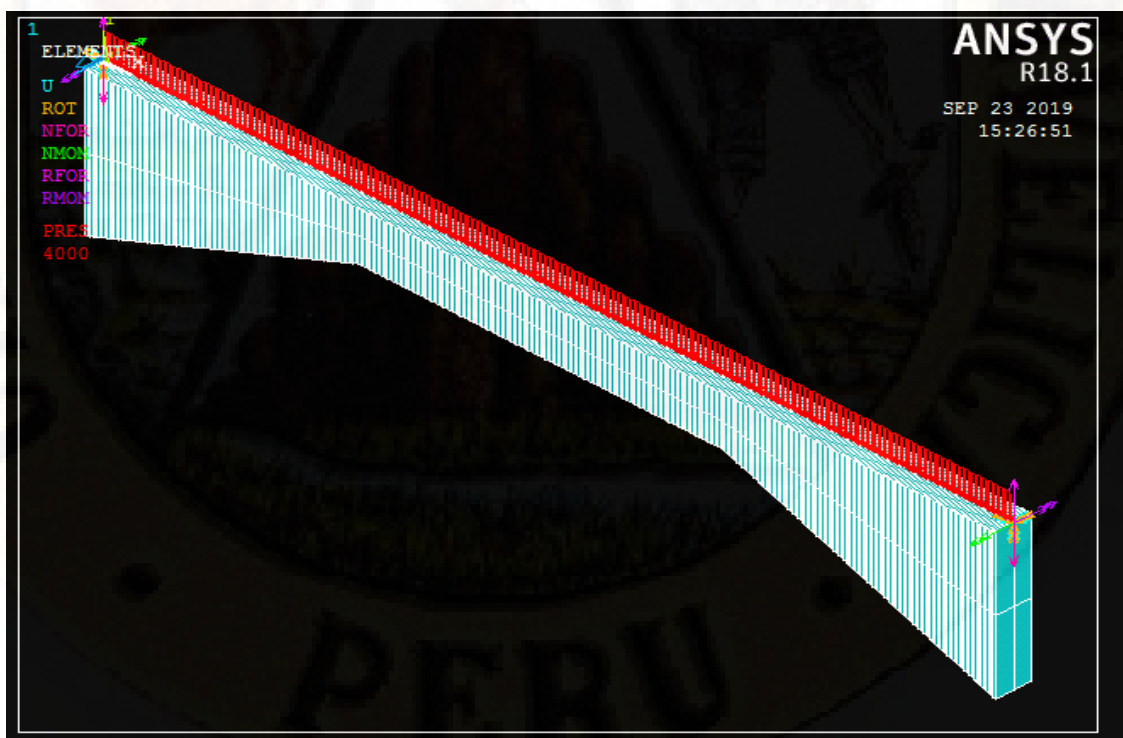
Ventana principal de Ansys Apdl



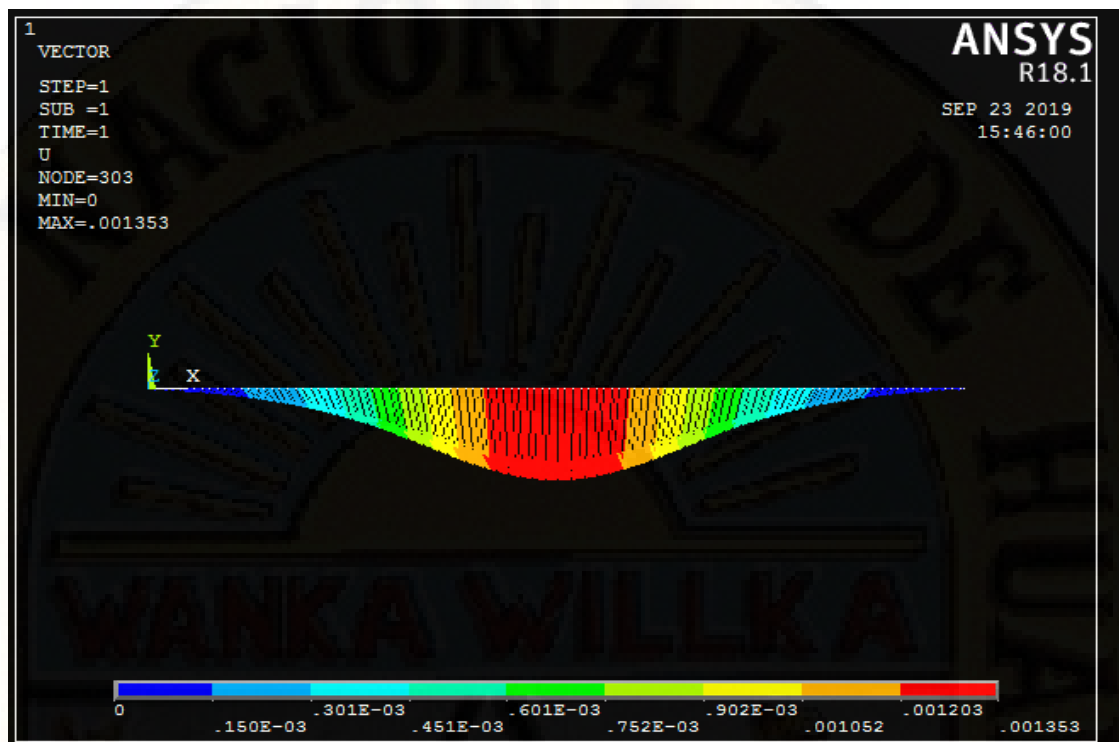
Se ingresan los datos de análisis en la línea de comandos



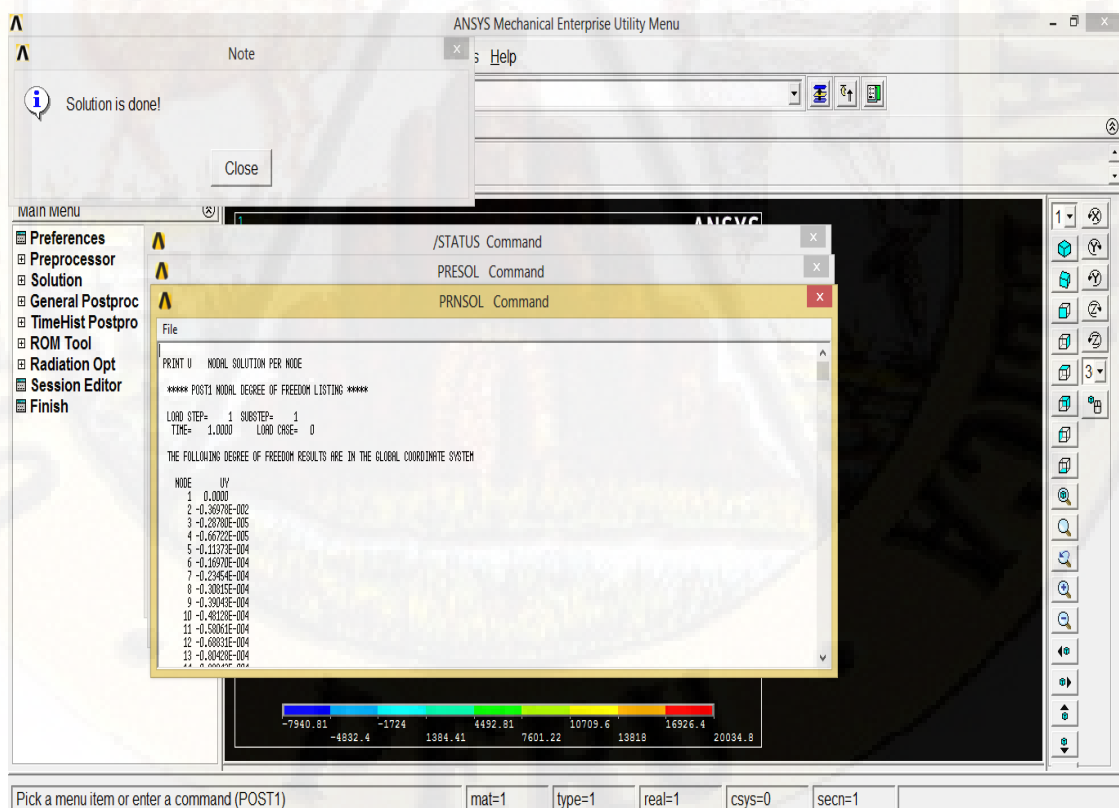
En esta imagen el programa se reinicia borrando datos existentes.



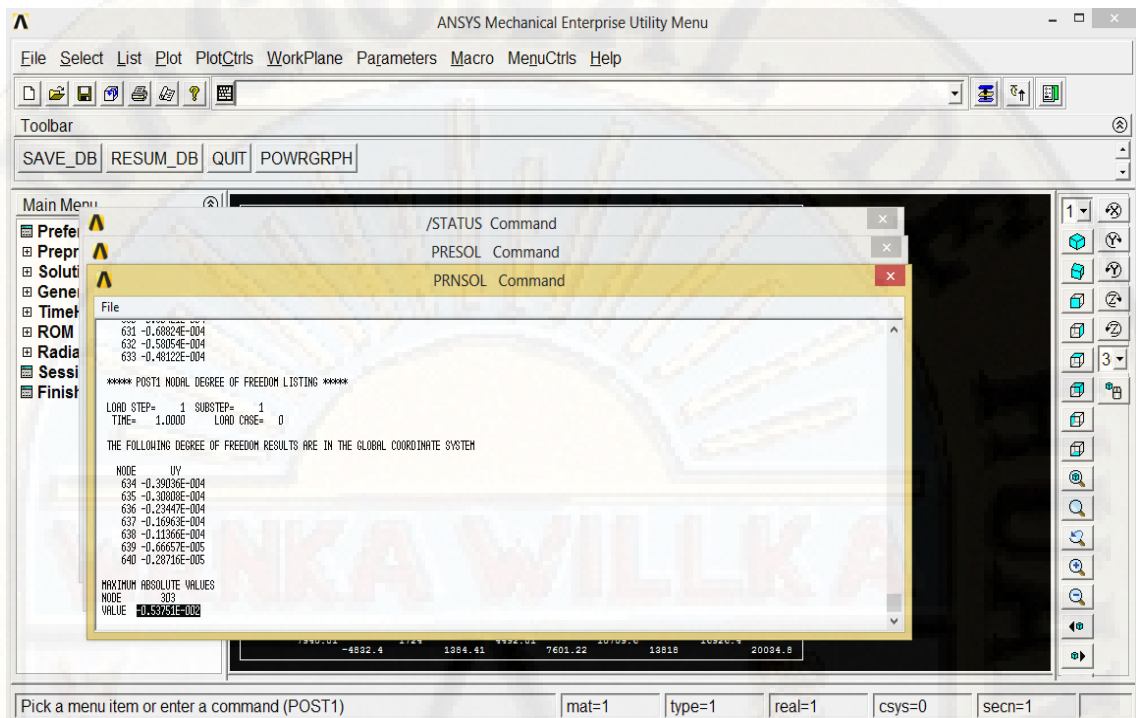
En esta figura se observa la viga acartelada con su respectiva carga distribuida.



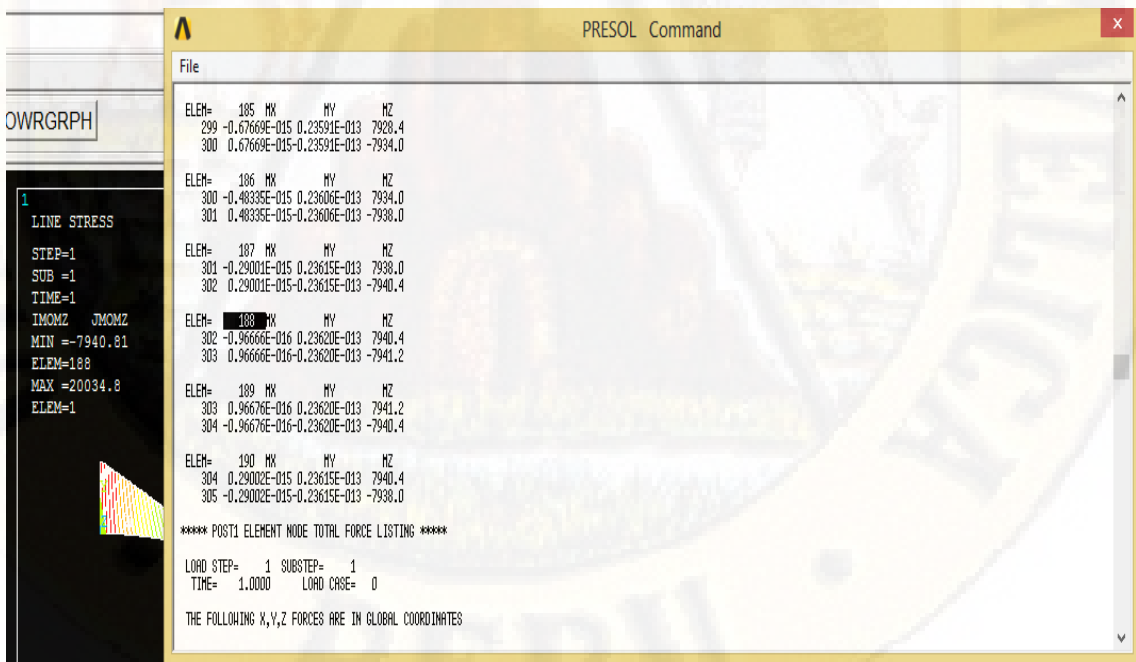
La grafica nos muestra los desplazamientos.



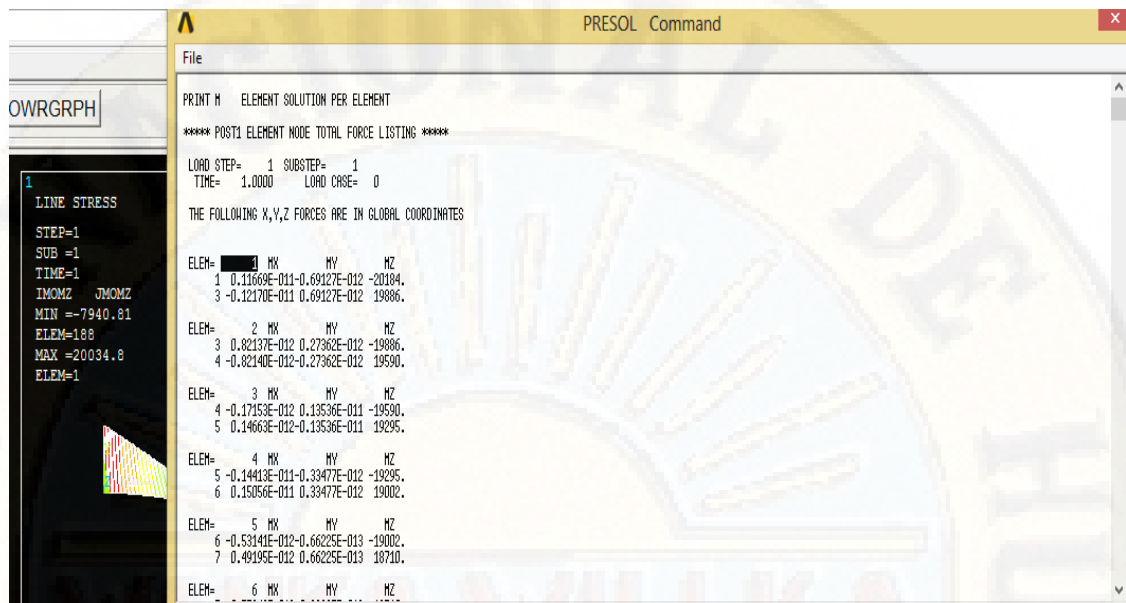
La figura nos muestra el resultado de los desplazamientos en los nodos.



Mostrando desplazamientos, de esto se toma el mayor valor, como se observa el valor último de la imagen sombreado.



El momento positivo máximo ocurre en el centro de la luz de la viga.



Los momentos negativos ocurren en los apoyos de la viga empotrada

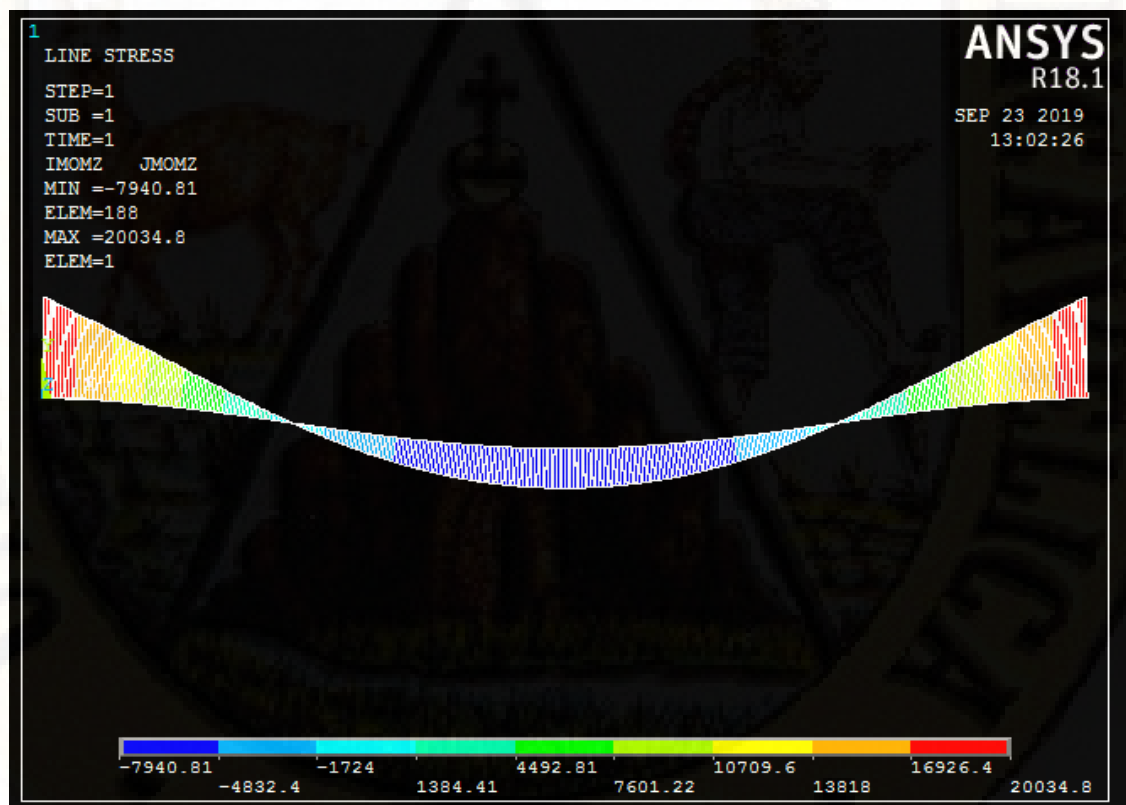
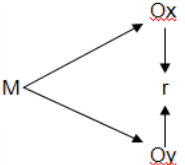


Diagrama de momento flector en viga acartelada debidos por cargas distribuidas

MATRIZ DE CONSISTENCIA

RELACIÓN ENTRE LA GEOMETRÍA DE ACARTELAMIENTO Y SU MECANISMO DE RESISTENCIA A FLEXIÓN EN VIGAS DE GRANDES LUCES.

DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	MARCO TEÓRICO	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
Problema general ¿Cuál es la relación de la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes? Problemas específicos: a. ¿Cuál es la relación de la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes? b. ¿Cuál es la relación de la altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes? c. ¿Cuál es la relación de la longitud de una viga acartelada y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes?	Objetivo general Determinar la relación de la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes Objetivos Específicos: a. Determinar la relación de la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes b. Determinar la relación de la altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes c. Determinar la relación de la longitud de una viga acartelada en su mecanismo de resistencia a flexión	Antecedentes: Internacionales: - Godínez , Tena , y Juárez Invalid source specified. Análisis numérico de trabes acarteladas de concreto reforzado diseñadas para presentar una falla por cortante. - Archundia , Tena , y González (2002) Comportamiento a cortante de trabes acarteladas de concreto reforzado ante carga estática - Astudillo & Córdova Invalid source specified. Relación de la pendiente de la cartela en los extremos cerrados de losas tt de 8, 10, 12, 14, 16 metros de luz" Antecedentes Nacionales: - Vera Invalid source specified. Vigas acarteladas de concreto armado, propuesta para su aplicación en el diseño de edificios sismoresistentes.	Hipótesis general Existe una relación directa entre la geometría de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes Hipótesis Específicas: a. Existe una relación directa entre la longitud de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes b. Existe una relación directa entre altura de acartelamiento y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes c. Existe una relación directa entre la longitud de una viga acartelada y su mecanismo de resistencia a flexión en vigas de luces grandes	Identificación de Variables: a. Variable Independiente: Geometría de acartelamiento (X). Dimensiones: - Longitud de acartelamiento - Altura de acartelamiento - Longitud de viga acartelada. b. Variable Dependiente: Resistencia a flexión (Y) Dimensiones: - Desplazamiento máximo - Momento flector positivo. - Momento flector negativo.	Tipo: Aplicada. Nivel: Descriptivo - Correlacional Diseño: No experimental – Transversal - correlacional  Donde: M=Muestra O₁= Observación de la V.1. O₂= Observación de la V.2. r = Correlación entre dichas variables Población y Muestra: Población 160 tipos de vigas acartelada de distintas dimensiones Muestra - la muestra es censal

	en vigas de luces grandes	Teórico Referencial: • Vigas de concreto armado de grandes luces •			Tipo de muestreo No Probabilístico <u>Técnicas e Instrumentos de recolección de datos:</u> Técnicas: • Análisis documental Instrumentos: • Computadora Personal • Softwares. -Ansys -Microsoft office, etc <u>Técnicas de Procesamiento de datos</u> • Estadístico
--	---------------------------	--	--	--	---