

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

**ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE
TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA
METALICA**

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

JUAN CARLOS ROGEL MAZA

juan_carlos_rm@hotmail.es

GABRIEL ALEJANDRO TENORIO MERINO

gabotorpoli@hotmail.com

DIRECTOR: ING. LUIS TINERFE HERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, PhD

luis.hernandezr@epn.edu.ec

CODIRECTOR: ING. MARÍA BELÉN CORREA VALLEJO, MSc

mari_belen_08@hotmail.com

Quito, agosto 2018

DECLARACIÓN

Nosotros, Juan Carlos Rogel Maza y Gabriel Alejandro Tenorio Merino, declaramos que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional y que hemos consultado todas las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su Reglamento y su normativa institucional vigente.

Juan Carlos Rogel Maza

Gabriel Alejandro Tenorio Merino

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Juan Carlos Rogel Maza y Gabriel Alejandro Tenorio Merino, bajo nuestra supervisión.

Ing. Luis Tinerfe Hernández Rodríguez, PhD.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. María Belén Correa Vallejo, MSc.

CODIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de titulación, es un logro conseguido por medio de la ayuda de muchas personas que tienen un lugar en mi vida, personas que influyen de la forma más positiva, sus consejos y apoyo, han sido fundamentales para lograr alcanzar mis metas. Mi familia ha sido el núcleo donde se formó este proyecto, mi madre Olivia Merino, maravillosa mujer que nunca me abandono en mis momentos más difíciles, que siempre tuvo un buen consejo y palabras de aliento para mí, Luis Tenorio, mi padre que ha sido un gran ejemplo para mí y muchas personas que lo rodean, siempre estuvo apoyándome durante toda mi vida, sin dudar que lograría llegar a mi meta, mi hermana Erika Tenorio, mujer grandiosa que siempre estuvo a mi lado siendo mi confidente y amiga, que me dio una hermosa sobrina que es una razón más para seguir adelante Lia Chesme.

Agradezco a mi tutor Dr. Luis Tinerfe Hernández, que nos brindó toda la ayuda necesaria para el desarrollo de este proyecto de titulación.

A los ingenieros María Belén Correa y Jorge Vintimilla, que aportaron sus conocimientos para guiar de mejor manera este trabajo.

Gracias también a todas las personas que conforman la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental.

A todos mis compañeros y amigos de la Politécnica como Byron Tipán, Mayra Zhunio, Oscar Quilligana, Eduardo Suarez, Karina Gallardo, Daniel Venegas, Johana Oscullo, José Berrones, etc. Que han sido parte de mi vida académica y personal.

Gabriel Alejandro Tenorio Merino

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo incondicional especialmente a mi madre la Sra. Digna Maza por la paciencia y cariño.

Al Ing. Luis Hernández Rodríguez PhD por la guía acertada para desarrollar de este proyecto.

Al personal del Centro de investigación de la vivienda (CIV) y Laboratorio de ensayo de materiales y mecánica de suelos (LEMSUR), por la colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A mis compañeros de la universidad, por su ayuda y consejos para la elaboración de la tesis.

Juan Carlos Rogel Maza

ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN	I
CERTIFICACIÓN	II
AGRADECIMIENTOS	III
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS	XV
GLOSARIO.....	XVIII
RESUMEN	XIX
ABSTRACT	XXI
PRESENTACIÓN	XXIII
CAPÍTULO 1	1
1 GENERALIDADES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 VENTAJAS DE LA LOSA DECK.....	2
1.3 LOSAS DECK COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	3
1.4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA Y CÓDIGOS	4
1.5 FUNCIONES DE ELEMENTOS DE SISTEMA LOSAS DECK.....	6
1.6 OBJETIVO GENERAL	9
1.7 OBJETIVO ESPECÍFICOS	9
CAPÍTULO 2	10
2 MARCO TEÓRICO	10
2.1 CONSTRUCCIONES COMPUESTAS	10
2.1.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DE VIGAS COMPUESTAS.....	11
2.1.2 LOSAS COMPUESTAS (SISTEMA DE ENTRE PISOS).....	13

2.2	CONECTORES DE CORTE	15
2.2.1	INTRODUCCIÓN.....	15
2.2.2	TIPOS DE CONECTORES DE CORTE	16
2.2.3	BASE PARA EL DISEÑO DE CONECTORES	17
2.2.4	UBICACIÓN DE LOS CONECTORES	18
2.2.5	ENSAYO DE CONECTORES.....	20
2.3	ESTADOS LÍMITE DE FALLA EN LOSAS COMPUESTAS.....	25
2.3.1	FALLA DEL HORMIGÓN ARMADO EN COMPRESIÓN.....	25
2.3.2	FLUENCIA DEL ACERO EN TENSIÓN	25
2.3.3	PÉRDIDA DE ACCIÓN COMPUESTA ENTRE EL ACERO Y EL CONCRETO.....	26
CAPÍTULO 3		28
3	METODOLOGÍA	28
3.1	DISEÑO DEL EXPERIMENTO	28
3.1.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES	28
3.1.2	SELECCIÓN DE VARIABLES	32
3.1.3	DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS EXPERIMENTALES.....	39
3.2	DETALLAMIENTO DEL PROCESO DE ENSAYO.....	66
3.2.1	INTRODUCCIÓN.....	66
3.2.2	COMPORTAMIENTO COMO SECCIÓN COMPUESTA.....	66
3.2.3	DETERMINACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA	66
3.2.4	FORMA DE EMPLO DE LA CARGA	67
CAPÍTULO 4		69
4	DESCRIPCION DEL ENSAYO	69
4.1	DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN	69

4.1.1	INTRODUCCIÓN.....	69
4.1.2	CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO.....	69
4.1.3	DOSIFICACIÓN.....	72
4.2	PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE LAS PROBETAS	73
4.2.1	INTRODUCCIÓN.....	73
4.2.2	MEDIDAS Y CORTE DE MATERIAL.....	74
4.2.3	UBICACIÓN, POSICIÓN Y PERFORACIÓN DE LAMINAS DECK ..	77
4.2.4	SOLDADO DE LAS PARTES METÁLICAS DE LA PROBETA	79
4.2.5	CADENA DE PRODUCCIÓN	81
4.3	MECANISMOS PARA EL CONTROL DEL ENSAYO	84
4.3.1	MECANISMO DE SOPORTE EN LA BASE	84
4.3.2	MECANISMO DE SOPORTE LATERAL	85
4.4	INSTALACIÓN DE STRAIN GAUGES.....	86
4.4.1	MATERIALES.....	86
4.4.2	PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE.....	90
4.4.3	PEGADO DE STRAIN GAUGES.....	92
4.4.4	AISLAMIENTO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA SUPERFICIE DE ACERO	94
4.4.5	UNIÓN DE ALAMBRE GEMELO A LOS STRAIN GAUGES.....	95
4.4.6	PROTECCIÓN DEL CONJUNTO PARA LA FUNDICIÓN	97
4.4.7	PROBETAS INSTALADAS STRAIN GAUGES.....	97
4.4.8	POSICIÓN DE INSTALACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES.....	98
4.4.9	IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES LUGARES DE INSTALACIÓN ...	98
4.4.10	ANÁLISIS DE LOS CONECTORES EN LA POSICIÓN 90°	98

4.4.11	ANÁLISIS DE LOS CONECTORES EN LA POSICIÓN 45°	99
4.4.12	ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO DE STRAIN GAUGES	99
4.5	HORMIGONADO DE PROBETAS	101
4.5.1	CUBICAJE DEI MATERIAL	101
4.5.2	PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DE HORMIGÓN	102
4.5.3	CURADO DE LAS PROBETAS	102
4.6	ENSAYO EN EL LABORATORIO	103
4.6.1	PUSH OUT DIRECTO	103
4.6.2	PRUEBAS CON CARGA Y DESCARGA	105
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	108
5.1	DESARROLLO EN LABORATORIO	108
5.2	CARGA MÁXIMA PROBETAS DE LABORATORIO	108
5.2.1	CARGA MAXIMA PARA HORMIGON DE 280 kg/cm ²	108
5.2.2	CARGA MAXIMA PARA 210 kg/cm ²	111
5.3	VALIDACIÓN DE DATOS	112
5.3.1	CICLOS DE CARGA Y DESCARGA	112
5.3.2	TIEMPOS DE ENSAYO	125
5.3.3	COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCION DE FUERZAS POR LOSA 129	
5.4	PRESENTACION RESULTADOS Y ANÁLISIS	133
5.4.1	CALCULO DE P _{RD}	133
5.4.2	LA ENERGÍA ABSORBIDA POR EL SISTEMA	142
5.4.3	ANALISIS DE STRAIN GAUGES	146
5.4.4	ANÁLISIS DEFORMACIÓN TRANSVERSAL DE LOSAS	153
5.4.5	RESUMEN	156

6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	158
6.1	CONCLUSIONES.....	158
6.2	RECOMENDACIONES	163
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA	165
7	ANEXOS	169
ANEXO No. 1:	ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN f'_c 170	
ANEXO No. 2:	DOCUMENTOS DE CERTIFICACIÓN API	173
ANEXO No. 3:	ENSAYOS DE TRACCIÓN F_{ut}	176
ANEXO No. 4:	RESPALDO ENSAYOS DE LABORATORIO	190

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1 Elementos compuestos y no compuestos.....	11
FIGURA 2.2 Deformación de la viga compuesta.....	13
FIGURA 2.3 Elementos de losa compuesta usando placa colaborante.	14
FIGURA 2.4 Detalle viga, lamina deck, conector y soldadura.	15
FIGURA 2.5 Transmisión de las fuerzas del conector.....	16
FIGURA 2.6 Conectores de corte comunes.	17
FIGURA 2.7 Elementos rigidizador en placa colaborante.	19
FIGURA 2.8 Ubicación de conectores de corte.....	19
FIGURA 2.9 Flujo de corte solo para carga vertical.	20
FIGURA 2.10 Combinación de solicitaciones.....	20
FIGURA 2.11 Dimensiones ensayo experimental Hurtado, Molina.	21
FIGURA 2.12 Distribución del esfuerzo cortante Hurtado, Molina.....	22
FIGURA 2.13 Desprendimiento del hormigón cono a 45°.	22
FIGURA 2.14 Modos de rotura posibles de los elementos de ensayo.	23
FIGURA 2.15 Resultados experimento Molina-Hurtado.....	24
FIGURA 2.16 Gráfica deslizamiento vs carga para un diámetro de 5/8".	24
FIGURA 2.17 Falla del concreto reforzado en compresión.	25
FIGURA 2.18 Fluencia del acero en tensión.	26
FIGURA 2.19 Pérdida de acción compuesta entre el acero y el concreto.....	27
FIGURA 3.1 Tipos de placas colaborante.	28
FIGURA 3.2 Dimensiones placa colaboraste	29
FIGURA 3.3 Variación de diámetros de conectores de corte.	34
FIGURA 3.4 Variación de la posición del conector de corte en planta.	38
FIGURA 3.5 Tipos de NOVALOSA.	39
FIGURA 3.6 Esquema ancho efectivo para viga compuesta.	40
FIGURA 3.7 Ancho de la probeta.....	41
FIGURA 3.8 Relación entre conectores de corte y longitud total	42
FIGURA 3.9 Dimensiones lámina deck usada en el experimento.	42

FIGURA 3.10 Dimensiones de perfiles tipo ángulo según INEN 1623.	43
FIGURA 3.11 Esquema del ángulo.	44
FIGURA 3.12 Dimensionamiento del conector y la losa de la probeta.	45
FIGURA 3.13 Dimensiones conector de corte usado en el experimento.	46
FIGURA 3.14 Espesor de la losa sobre la cresta.	46
FIGURA 3.15 Separación de conectores	51
FIGURA 3.16 Longitud de elemento a compresión.	52
FIGURA 3.17 Sección propuesta como elemento a compresión.	52
FIGURA 3.18 Vista superior contención lateral.	63
FIGURA 3.19 Vista frontal del sistema de contención lateral.....	64
FIGURA 3.20 Vista superior contención para la base.....	64
FIGURA 3.21 Vista frontal de la contención para la base.....	65
FIGURA 3.22 Diseño definitivo de la probeta.....	65
FIGURA 4.1 Cortadora Hidráulica.	74
FIGURA 4.2 Corte de láminas para los patines y el alma.	75
FIGURA 4.3 Corte lámina deck.	75
FIGURA 4.4 Tronzadora de metal.....	76
FIGURA 4.5 Biselado de ángulo.	76
FIGURA 4.6 Corte malla electrosoldada con cizalla.....	77
FIGURA 4.7 Ubicación del patín de la viga tipo “I” sobre la lámina deck.	77
FIGURA 4.8 Marca conectores a corte 90°.	78
FIGURA 4.4.9 Marca conectores de corte a 45°.	78
FIGURA 4.10 Perforación lámina deck.	79
FIGURA 4.11 Punteado de fijación suelda 60/11.	79
FIGURA 4.12 Soldadura final 70/18.	80
FIGURA 4.13 Malla electro soldada unidos a conectores de corte.	81
FIGURA 4.14 Equipo del proceso de soldado.....	82
FIGURA 4.15 Encofrado metálico.	83
FIGURA 4.16 Parte metálica de la probeta finalizada.	83
FIGURA 4.17 Probeta acabados finales.	84

FIGURA 4.18 Dimensionamiento soporte de base.....	85
FIGURA 4.19 Vista frontal del sistema de soporte lateral.	86
FIGURA 4.20 Vista superior o planta del sistema de soporte lateral.....	86
FIGURA 4.21 Alcohol Metílico 90°.	87
FIGURA 4.22 Cinchos de plástico.....	87
FIGURA 4.23 Hisopos de algodón.	88
FIGURA 4.24 Esparadrapo Impermeable.	88
FIGURA 4.25 Lija de 200 y 80.....	89
FIGURA 4.26 Adhesivo instantáneo.....	89
FIGURA 4.27 Cinta de EPR Autofundente.....	90
FIGURA 4.28 Superficie lijada en el conector de corte.	91
FIGURA 4.29 Limpieza con hisopos.	91
FIGURA 4.30 Identificación lado visible strain gauges.....	92
FIGURA 4.31 Instalación strain gauges en el acero.....	93
FIGURA 4.32 Desprendimiento adhesivo liberación strain gauges.....	93
FIGURA 4.33 Uso de teflón en strain gauges.	94
FIGURA 4.34 Aislamiento superior del metal.....	94
FIGURA 4.35 Fijación de alambre gemelo.....	95
FIGURA 4.36 Unión de strain gauges con alambre gemelo.....	95
FIGURA 4.37 Suelda eléctrica.	96
FIGURA 4.38 Verificación con multímetro.....	96
FIGURA 4.39 Instalación protección strain gauges.....	97
FIGURA 4.40 Probetas instaladas con los strain gauges.....	97
FIGURA 4.41 Caras y zonas de aplicación.	98
FIGURA 4.42 Aplicación de fuerza probeta 90°.	98
FIGURA 4.43 Aplicación de fuerza probeta 45°.	99
FIGURA 4.44 Ubicación de strain gauges vista frontal.	100
FIGURA 4.45 Ubicación de strain gauges vista superior.	100
FIGURA 4.46 Ubicación de strain gauges vista lateral.....	101
FIGURA 4.47 Curados de losa.....	103

FIGURA 4.48 Ensayo Push Out Directo M4-210-45-5.	104
Figura 4.49 Ensayo Push Out Directo M4-280-45-6.....	104
FIGURA 4.50 Placa metálica.....	105
FIGURA 4.51 Calibrador.	106
Figura 4.52 Ubicación de los deformímetros en la probeta.	106
FIGURA 5.1 Carga vs deformación hormigón 280 Kg/cm ²	109
FIGURA 5.2 Fallas probeta de prueba M4-280-45-6.....	110
FIGURA 5.3 Fallas probeta de prueba M4-280-90-7.....	110
FIGURA 5.4 Fallas probeta de prueba M4-280-90-4.....	110
FIGURA 5.5 Carga vs deformación Hormigón 210 kg/cm ²	111
FIGURA 5.6 Fallas probeta de prueba M4-280-90-4.....	112
FIGURA 5.7 Carga vs ciclo probeta M4-280-45-1.....	113
FIGURA 5.8 Datos de carga máxima para probeta M4-280-45-1.	116
FIGURA 5.9 Datos de carga inicial para probeta M4-280-45-1.....	116
FIGURA 5.10 Carga inicial promedio, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.....	117
FIGURA 5.11 Carga máxima promedio, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.....	118
FIGURA 5.12 Carga inicial promedio, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.....	119
FIGURA 5.13 Carga máxima promedio, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.....	120
FIGURA 5.14 Carga inicial promedio, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.....	121
FIGURA 5.15 Carga máxima promedio, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.....	122
FIGURA 5.16 Carga máxima promedio, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.....	123
FIGURA 5.17 Carga máxima promedio, $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.....	124
FIGURA 5.18 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-1.....	125
FIGURA 5.19 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-2.....	125
FIGURA 5.20 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-3.....	126
FIGURA 5.21 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-4.....	126
FIGURA 5.22 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-5.....	127
FIGURA 5.23 Simbología análisis de tiempos.....	127
FIGURA 5.24 Ubicación de los LVDT's.	130
FIGURA 5.25 Deformaciones de LVDT's.	130

FIGURA 5.26 Probeta M4-280-45-1, Crm, δu .	135
FIGURA 5.27 Probeta M4-280-45-2, Crm, δu .	136
FIGURA 5.28 Análisis PRD y promedios.	141
FIGURA 5.29 Línea límite de área para Probeta M4-280-45-1.	142
FIGURA 5.30 Guía para el cálculo de energía absorbida.	143
FIGURA 5.31 Línea límite de área para Probeta M4-280-45-2.	145
FIGURA 5.32 Strain gauges para M4-280-45-1.	147
FIGURA 5.33 Vista global probeta M4-280-45-1.	148
FIGURA 5.34 Falla hormigón probeta M4-280-45-1.	148
FIGURA 5.35 Medida separación losa izquierda.	148
FIGURA 5.36 Medida separación losa izquierda.	149
FIGURA 5.37 Strain gauges para M4-210-45-1.	149
FIGURA 5.38 Strain gauges para M4-210 -45-2.	149
FIGURA 5.39 Strain gauges para M4-280-90-1	150
FIGURA 5.40 Strain gauge para M4-210-90-1.	150
FIGURA 5.41 Strain gauge para M4-210-90-2.	151
FIGURA 5.42 Vista global probeta M4-280-90-2.	151
FIGURA 5.43 Falla del hormigón probeta M4-280-90-2.	152
FIGURA 5.44 Longitud inferior entre conectores probeta M4-280-90-2.	152
FIGURA 5.45 Longitud superior entre conectores probeta M4-280-90-2.	153
FIGURA 5.46 Ubicación de los puntos de medición de las losas.	153
FIGURA 5.47 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .	154
FIGURA 5.48 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .	155
FIGURA 5.49 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .	155
FIGURA 5.50 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .	156

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1 Nivel de confianza alfa.	33
TABLA 3.2 Niveles de confianza beta.	33
TABLA 3.3 Número de probetas por variable.	33
TABLA 3.4 Análisis de desviación estándar Bouchair & Bujnak.	35
TABLA 3.5 Análisis de desviación estándar para ángulos de 30 mm de ala.	35
TABLA 3.6 Variables empleadas y número de probetas.	39
TABLA 3.7 Dimensiones Steel Deck55 mm.	40
TABLA 3.8 Cálculo del ancho efectivo.	40
TABLA 3.9 Análisis de medias por tipo de material.	43
TABLA 3.10 Dimensiones y propiedades mecánicas del ángulo L40x4.	44
TABLA 3.11 Dimensiones de malla electrosoldada.	47
TABLA 3.12 Valores de Rg y Rp.	49
TABLA 3.13 Clasificación de la sección según pandeo local.	53
TABLA 3.14 Clasificación de la sección según pandeo local.	54
TABLA 3.15 Aplicaciones de las secciones del Capitulo E AISC-360.	55
TABLA 3.16 Factor de longitud efectiva.	56
TABLA 4.1 Limites granulométricos.	70
TABLA 4.2 Resultados granulometría.	71
TABLA 4.3 Resultados peso específico y absorción.	71
TABLA 4.4 Resultados densidad aparente.	72
TABLA 4.5 Dosificación inicial Hormigón de 210 kg/cm ²	72
TABLA 4.6 Dosificación inicial Hormigón de 280 kg/cm ²	72
TABLA 4.7 Dosificación definitiva Hormigón de 210 kg/cm ²	73
TABLA 4.8 Dosificación definitiva Hormigón de 280 kg/cm ²	73
TABLA 4.9 Dosificación hormigón por sacos y baldes.	101
TABLA 5.1 Carga máxima hormigón 280 kg/cm ²	109
TABLA 5.2 Carga máxima hormigón 210 kg/cm ²	111
TABLA 5.3 Datos probeta M4-280-45-1.	113

TABLA 5.4 Cálculo de desviación estándar.	115
TABLA 5.5 Análisis carga y descarga para la probeta M4-280-45-1.....	116
TABLA 5.6 Procesamiento carga inicial $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	117
TABLA 5.7 Procesamiento carga máxima, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	118
TABLA 5.8 Procesamiento carga inicial, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	119
TABLA 5.9 Procesamiento carga máxima, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	120
TABLA 5.10 Procesamiento carga inicial, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	121
TABLA 5.11 Procesamiento carga máxima, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	122
TABLA 5.12 Procesamiento de datos inicial, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° ...	123
TABLA 5.13 Procesamiento de datos máxima, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y 90°	124
TABLA 5.14 Análisis de tiempos, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	128
TABLA 5.15 Análisis de tiempos, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	128
TABLA 5.16 Análisis de tiempos, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	128
TABLA 5.17 Análisis de tiempos, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	129
TABLA 5.18 Deformaciones losas y viga M4-280-45-1.....	131
TABLA 5.19 Análisis de distribución de cargas, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y 45°	132
TABLA 5.20 Análisis de distribución de cargas, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y 45°	132
TABLA 5.21 Análisis de distribución de cargas, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y 90°	132
TABLA 5.22 Análisis de distribución de cargas, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y 90°	133
TABLA 5.23 Datos de carga M4-280-45-1.	134
TABLA 5.24 Cargas M4-280-45-2.....	136
TABLA 5.25 Resumen C_{rm} y δ_u	137
TABLA 5.26 Análisis desviación de C_{rm} para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y 45°	138
TABLA 5.27 Análisis desviación de C_{rm} para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y 45°	138
TABLA 5.28 Análisis desviación de C_{rm} para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y 90°	138
TABLA 5.29 Análisis desviación de C_{rm} para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y 90°	139
TABLA 5.30 Cálculo de P_{RK} y análisis estadístico.....	139
TABLA 5.31 Calculo de P_{RD}	141
TABLA 5.32 Resumen δ_u y δ_{uk} por tipo de probeta.	141
TABLA 5.33 Caculo de energía absorbida probeta M4-280-45-1.....	144

TABLA 5.34 Cáculo de energía absorbida probeta M4-280-45-2.....	145
TABLA 5.35 Resumen disipación de energía por tipo de probeta.....	146
TABLA 5.37 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	154
TABLA 5.38 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°	154
TABLA 5.38 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	155
TABLA 5.40 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°	156
Tabla 5.40 Presentación de resultados por probeta.....	156
Tabla 5.41 Análisis por posición de conector y hormigón.....	157

GLOSARIO

INEN: Instituto Ecuatoriano de Normalización

SDI: Steel Deck Institute

ANSI: American Iron and Steel Construction

ASTM: American Association for Testing Materials

AWS: American Welding Society

AISC: American Institute of Steel Construction

ACI: American Concrete Institute

CEC: Código Ecuatoriano de la Construcción

RESUMEN

El presente trabajo pretende experimentar, analizar y explicar el comportamiento de las losas deck en prototipos ensamblados con distintas posiciones de conectores de corte tipo ángulo. El sistema de losas deck, es un sistema que cumple las mismas funciones que un sistema de losas nervadas de hormigón, sin embargo, se le atribuyen ventajas y desventajas como sistema constructivo, algunas de las propiedades que se le atribuyen a este tipo de losas, dependen de los conectores de corte que se colocan, por tal motivo, se utilizó conectores de corte tipo ángulo en las probetas experimentales descritas en este documento. Los conectores de corte tipo ángulo poseen como dimensiones principales una longitud de 8.5 cm, dos alas de 4 cm y un espesor de 4 mm, que están soldados sobre una viga metálica tipo "I" y colocados en dos posiciones distintas, vistos en planta, estos conectores están dispuestos en un ángulo de 90° y 45°, adicionalmente, este conector de corte será puesto a prueba en dos tipos de hormigones diferentes, la diferencia primordial de cada tipo de hormigón es su resistencia, esta resistencia estará entre 210 kg/cm² y 280 kg/cm².

El primer paso a seguir fue obtener un modelo de losa deck acorde a lo establecido en las normativas que contienen esta información, es por eso que, se recurre parcialmente a la normativa Eurocodigo 4, donde se puede encontrar, las dimensiones y modo de ensayo de este tipo de probetas experimentales, adicionalmente, se utilizó documentación que contenía información acerca de prototipos de losas con diferentes tipos de conectores de corte, puestos a prueba en distintas partes del mundo y cuya experiencia se tomó en cuenta en este documento.

Como segundo paso se procedió a abstraer la información de los conectores de corte tipo ángulo obtenida en laboratorio, al someter a las probetas experimentales a un proceso de cargas y descargas, con la finalidad de observar el comportamiento de este elemento metálico en las losas tipo deck.

El uso de los resultados experimentales sirvió para dar una explicación al fenómeno visto en los ensayos y definir el comportamiento de la estructura. El análisis se centró en la gráfica carga en función de la deformación, donde se determinó la resistencia característica del conector de corte tipo ángulo y la energía disipada por el sistema, adicionalmente, la ductilidad que presenta cada tipo de prototipo puesto a prueba en este ensayo experimental. Entendiendo lo sucedido en los ensayos se pudo dilucidar sobre el posible comportamiento de este tipo de losas en una edificación, cuando se utiliza este tipo de conector durante su elaboración.

ABSTRACT

The present work intends to experiment, analyze and explain the behavior of deck slabs in assembled prototypes with different positions of angle-type cutting connectors. The system of deck slabs, is a system that fulfills the same functions as a system of ribbed concrete slabs, however, it is attributed advantages and disadvantages as a construction system, some of the properties that are attributed to this type of slabs, depend on the cutting connectors that are placed, for this reason, angle-type cutting connectors were used in the experimental specimens described in this document. The angle-type cutting connectors have as main dimensions a length of 8.5 cm, two wings of 4 cm and a thickness of 4 mm, which are welded on a metallic beam type "I" and placed in two different positions, seen in tier, these connectors are arranged at an angle of 90° and 45°, additionally, this cutting connectors will be tested on two different types of concrete, the main difference of each type of concrete is its resistance, this resistance will be between 210 kg/cm² and 280 kg/cm².

The first step to follow was to obtain a deck slab model according to the provisions of the regulations that contain this information, which is why, partially, the Eurocodigo 4 regulation is used, where, the dimensions and mode of testing of this type of experimental specimens can be found, additionally, documentation that contained information about prototypes of slabs with different types of cutting connectors was used, put to the test in different parts of the world and whose experience was taken into account in this document.

As a second step we proceeded to abstract the information of the angle-type cutting connectors obtained in the laboratory, by subjecting the experimental samples to a process of loading and unloading, in order to observe the behavior of this metal element in the deck type slabs.

The use of the experimental results served to give an explanation to the phenomenon seen in the trials and to define the behavior of the structure. The

analysis focused on the load graph as a function of deformation, where the characteristic resistance of the angle-type cutting connector and the energy dissipated by the system was determined, in addition, the ductility presented by each type of prototype tested in this test experimental. Understanding what happened in the tests could be elucidated on the possible behavior of this type of slabs in a building, when this type of connector is used during its preparation.

PRESENTACIÓN

En el presente estudio técnico experimental se analizará la resistencia de los conectores de corte en las losas tipo deck, elementos encargados de acoplar la estructura metálica con el hormigón, para lograr un funcionamiento monolítico del sistema. La construcción ecuatoriana tiene como tendencia actual el uso del acero como material principal en la construcción, tal es el caso que entidades públicas y privadas están usando el acero para sus nuevas edificaciones, por sus ventajas como ahorro de tiempo en procesos constructivos, propiedades mecánicas como la ductilidad y bajo peso, bondades que hacen de este método constructivo muy eficiente. En el caso de las losas compuestas con placa colaborante, presentan ventajas entre ellas, la facilidad de instalación, bajo peso y que no necesita de encofrado para su colocación.

En el ámbito de la construcción ecuatoriana hace muchos años los conectores de corte más empleados en las losas tipo deck, son las varillas corrugadas de acero colocadas en forma de L invertida o en arco, las secciones UPN entre otros, cuyo comportamiento fue evaluado en un estudio de pregrado en la Escuela Politécnica Nacional, lo que da la pauta para poder buscar nuevas alternativas de secciones para los conectores de corte, con la finalidad de optimizar recursos económicos y mejorar capacidades mecánicas

Este estudio técnico brindará una alternativa en cuanto al uso de elementos de conexión a corte; por medio de varios ensayos realizados en el CIV y LEMSUR, se determinará la utilidad y límite de resistencia que presenta este elemento durante su vida útil.

Adicionalmente este proyecto pretende dar a conocer, que el sistema de losas con placas colaborantes y conectores a corte tipo ángulo, sean útiles en las construcciones en todo el país. Se espera que este estudio técnico sirva de base para futuras investigaciones de este tema.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Este trabajo técnico experimental de las losas tipo deck, está centrado en los conectores de corte tipo ángulo, su utilidad como medio de acople entre la estructura metálica y la losa de hormigón. Este contiene la información obtenida de la experimentación de probetas ensayadas en laboratorio, en donde se analizará el comportamiento del conector de corte tipo ángulo, dando como resultado el comportamiento real de estos conectores de corte en la construcción. Los resultados finales obtenidos de la experimentación de estos conectores de corte, darán las pautas del comportamiento. Lo que se desea entregar como resultados es una posición del elemento tipo ángulo en el sistema losa deck, además de determinar si la resistencia del hormigón influye en el comportamiento de los conectores de corte o posibles fallas generadas en el hormigón.

No se conoce normativa o trabajo de investigación donde se estudie la capacidad resistente del conector tipo ángulo, utilizado en estructuras mixtas de hormigón y acero, como es el caso de las losas tipo deck, por lo que este estudio se centrará en la obtención de parámetros adecuados para el diseño y colocación de los conectores de corte en losas tipo deck, lo que brindará un respaldo de carácter científico a los constructores que utilizan y utilizarán este tipo de conector.

Actualmente en el país, la demanda de estructuras metálicas para edificaciones de todo tipo y utilidad está en aumento, debido a las facilidades que ofrece este tipo de construcción, ha hecho que sea bien acogida en el país, la característica más importante es el ahorro en tiempo de construcción, que permite la utilización del bien inmueble a corto plazo (Construmática, 2018).

Las necesidades actuales de tener edificios cada vez más altos y en menor tiempo, han hecho que los sistemas constructivos vayan evolucionando, el sistema de estructura metálica y losas tipo deck es lo más avanzado en nuestro país, en cuanto a velocidad y seguridad en construcción se refiere (Monjo, 2010).

La introducción en el país de estos métodos de construcción, se ha hecho sin la utilización de una normativa adecuada, es por eso la necesidad de obtener los criterios referentes a este tipo de losa deck, con conectores de corte, por medio de la experimentación. La finalidad de este estudio, por lo tanto, es respaldar el uso de los conectores de corte tipo ángulo en las losas tipo deck.

La metodología utilizada, primero se centró en comprender parte del comportamiento esperado de las losas tipo deck y los posibles resultados de los ensayos. Posteriormente obtenidos los resultados de los ensayos, es posible compararlos con los cálculos de diseño inicial, la intención de este estudio técnico, es que la insertidumbre presente entre las prácticas empíricas y lo real se va desvaneciendo, dando un panorama mas claro del comportamiento real de la estructura de acero, las losas de hormigón y los conectores de corte. No es el Alcance de este trabajo de investigación, el crear un manual de utilización de losas tipo deck y sus conectores de corte, sino mas bien el dar pautas muy puntuales, que aseguren el funcionamiento correcto de este método de construcción en una estructura.

1.2 VENTAJAS DE LA LOSA DECK

Entre las ventajas que presenta el sistema de losas deck están:

- No utiliza encofrados. Esto es porque el sistema en sí se trata de una chapa de acero nervada inferior apoyada sobre un envigado, que permite recibir el hormigón vertido y es por eso que no se necesita de algún tipo de encofrado, el sistema puede necesitar de algún tipo de sostenimiento exterior debido a la carga que representa el hormigón vertido, estos elementos pueden ser columnetas de madera, gatas metálicas, etc (Vazallo, 2016)
- El sistema de losas tipo deck reduce el tiempo de construcción. Este sistema evita el uso de encofrado y por lo tanto el tiempo en la colocación del mismo, facilita el vertido de hormigón y colocación de acero de refuerzo transversal.
- El acero de la lamina deck trabaja en conjunto con el concreto, contribuyendo como el acero de refuerzo positivo de la losa (Novacero, 2017).

- Reduce el peso de la losa. Esto se debe a la forma que adopta la lámina deck, que en su totalidad contiene menor volumen de hormigón, además de contener menor cantidad de acero de refuerzo, lo que en conjunto resulta en losas muy livianas.
- Facilidad de manejo y transporte. Esto se debe a que siendo una placa de acero de forma uniforme y bajo peso es fácil de transportar y colocar en obra.
- Limpieza y economía, siendo este un material que se encuentra fácilmente en el mercado y a costos económicos, además de la maniobrabilidad que permite un almacenamiento más fácil de este elemento metálico.
- Por último, estética. Donde las placas de acero que conforman la losa tipo deck, nos brindan una visión uniforme y agradable a la vista, dando la sensación de seguridad para los usuarios de las construcciones realizadas con este método (Vazallo, 2016).

1.3 LOSAS DECK COMO SISTEMA CONSTRUCTIVO

Las láminas de steel panel, se iniciaron básicamente por la necesidad de los constructores para tener encofrados para los tableros de los puentes vehiculares, que evitaran el uso de apuntalamiento en estos encofrados, con la utilización de láminas de acero de costos económicos por lo delgado del material utilizado, las cuales con un preformado, lograrán inercias suficientes para soportar las cargas iniciales de montaje del hormigón, para posteriormente quedarán como un encofrado perdido en las losas (ACERO-DECK, 2014).

En los años siguientes se extendería el uso de las láminas deck, se utilizan en diversos proyectos de ingeniería, el caso más común es de losa de entrepiso, en edificios y casas, esto se logra gracias a que el acero de la lámina, toma los esfuerzos de tracción de la parte inferior de la losa, por lo que se le agregó muescas a lo largo de la lámina, causando un efecto de corrugado que mejora la adherencia del hormigón (Novacero, 2017).

1.4 DOCUMENTOS DE REFERENCIA Y CÓDIGOS

En el Ecuador el uso del sistema constructivo de losas tipo deck, está regido por la normativa presentada por las empresas distribuidoras del producto en el país, esta normativa viene en tablas que el fabricante del panel metálico provee, basado en luces y espaciamientos entre viguetas metálicas de apoyo presentes en la loseta, de esta forma se obtiene valores de instalación de láminas y de hormigón (Novacero, 2017). En el presente trabajo técnico experimental se debe separar el cálculo realizado de la forma tradicional en el Ecuador y de la forma que se hará para el ensayo de las probetas de este estudio.

El presente documento servirá para el diseño de los conectores de corte tipo ángulo utilizado actualmente en la construcción ecuatoriana, son más comúnmente usados en naves industriales.

Todo las tablas que rigen el diseño de las losas tipo deck por parte de los fabricantes provienen de normativas aprobadas nacionalmente e internacionalmente, es el caso de la norma ASTM A653, en la cual se encuentra todas las especificaciones técnicas de las láminas tipo deck, como por ejemplo tipo de material y método de fundición, recubrimientos mínimos, cantidad de zinc que evita la corrosión, cumplimiento de normas ISO 3575 y normas A924, A924 M, además de los cumplimientos químicos y mecánicos para mantener una seguridad óptima al utilizar estos productos (ASTM A. S., 2010)

Las normativas descritas aquí, son exigencias provenientes de la normativa internacional **SDI** "Steel Deck Institute", esta una institución ubicada en Estados Unidos de América, con sede en Chicago-Illinois, estas normas dan razón del cálculo de este tipo de sistema constructivo, se complementan con otras que se detallaran en este documento.

En cada región del mundo los fabricantes hacen referencia a las normativas anteriormente mencionadas, sin embargo, los diseños y normativas que cada país posee, son producto de investigación dirigida a mantener las normas de calidad y seguridad necesarias en el medio de la construcción en cada región. En el Ecuador las normas **INEN** son las encargadas de evaluar cada detalle de calidad y funcionalidad de los materiales necesarios en este método de construcción (INEN-2397, 2015).

El American Iron and Steel Institute (**AISI**), siendo esta entidad una de las encargadas de los estándares americanos para el diseño de miembros estructurales conformados en frío, la otra entidad que funciona a la par de la primera es el American Institute of Steel Construction (**AISC**), que contiene las especificaciones técnicas en cuanto a construcción de edificios en acero usando miembros estructurales laminados en caliente.

Una vez cumplidos los estándares exigidos para cada elemento de acero, necesita unir estos elementos metálicos mediante soldadura, para entender el detallamiento de la unión de éstas conexiones soldadas, se precisa de códigos como el American Welding Society (**AWS**), para el presente estudio técnico, es de gran importancia una buena calidad de soldadura, la cual contará con las pruebas necesarias para verificar su alta calidad (AWS, 2013).

Este sistema constructivo cuenta con la presencia de hormigón, por lo que resulta necesario involucrar al código American Concrete Institute (**ACI**), se lo tomará siempre en consideración, cuando se necesite información acerca del concreto (ACI, 2014).

Por último, el Eurocódigo 4¹, dará pautas necesarias para el diseño y posterior ensayo de las probetas experimentales. Recalcando que se utilizará por completo los lineamientos encontrados en esta normativa, sino que se aplicará en el experimento el sistema de steel panel y no losas macizas como lo estipula dicha norma española (Eurocódigo 4, 2014).

Como resumen se tiene que el código ASTM, que contiene normativa referida a trabajos en laboratorio, será de gran utilidad para la experimentación del modelo en el laboratorio de la vivienda de la EPN, los ensayos y resultados de los cilindros de hormigón están dados por el laboratorio de hormigones de la EPN y el laboratorio de suelos y hormigones de la PUCE².

El cálculo anterior a los ensayos de probetas, se realizó con la ayuda de conceptos de resistencia de materiales y teoría de aceros, además de las condiciones que presenta el laboratorio de la vivienda de la EPN.

¹ Proyecto de estructuras mixtas de hormigón y acero

² Ver Anexos 1

Los conectores de corte de los que se habla en este documento, son de características metálicas y buscan ser de fácil instalación en obra, es por eso que todos los elementos metálicos presentes en el sistema de losas tipo Deck sobre estructura metálica, van tener compatibilidad entre ellos, al evitar los procedimientos adicionales presentes en losas tipo deck con sistemas de hormigón, muros u otros sistemas.

Al construir la edificación con un sistema estructural compuesto, se buscará mediante los conectores de corte un comportamiento monolítico del sistema, ante esfuerzos a los que el sistema puede ser sometido. El sistema propuesto busca tener un campo de acción muy generalizado para muchos tipos de obras de construcción, donde se requiera la utilización de losas deck con conectores a corte tipo ángulo y que el constructor tenga un documento de respaldo, que sirva de ayuda y sustento de este sistema (Alvarez & Cházaro, 2010)

1.5 FUNCIONES DE ELEMENTOS DE SISTEMA LOSAS DECK

La lámina colaborante deck es soporte principal de este sistema, la cual tiene tres funciones principales:

- Cumple la función de encofrado, siendo este sistema propuesto en un inicio para evitar el encofrado en sistema de puentes vehiculares, se trata de una lámina de acero galvanizado con geometría definida y detalles que ayudan a la adherencia del hormigón. Esta lámina debe ser capaz de resistir cargas de servicio al momento del vertido de hormigón y las cargas puntuales provenientes de los trabajadores en obra.
- Refuerzo para el momento positivo en la losa, siendo de gran importancia este refuerzo que resiste la tracción de las fibras inferiores de la losa.
- Plataforma para la colocación en su posición final de más elementos de este sistema de losa, tal es el caso de la malla electrosoldada y los conectores de corte. Además de otros elementos necesarios como los ductos de desagüe y el tránsito normal de los trabajadores durante el vertido del hormigón (ACESCO, 2013).

Siguiendo con los elementos de acero presentes en el sistema de losas tipo deck, tenemos las vigas de acero tipo "I", que serán utilizados en este trabajo técnico experimental, dicha viga cumple con la función de soportar parte de las cargas que provienen de la losa, junto con las cargas que se vayan dando en su tiempo de vida, la viga de acero tipo "I", está destinada a trabajar a tracción en conjunto con la losa conformada por la lámina deck, de manera que estos dos elementos funcionen como un sistema monolítico por sus características similares. No obstante, si la construcción resulta ser mixta, se puede utilizar sin ningún inconveniente este sistema de láminas deck, sobre vigas y columnas de hormigón, lo importante en los dos casos es que los sistemas aperticados, transmiten las cargas de vigas a columnas y de columnas al suelo (Alvarez & Cházaro, 2010).

Otro elemento metálico importante y del cual se hablará en este estudio técnico es el conector de corte tipo ángulo, el cual tiene una función de mucha importancia en el sistema de losas deck, ya que son los encargados de mantener el funcionamiento conjunto de la parte metálica del sistema con el hormigón, haciendo de éste, un sistema monolítico. En el presente documento se detallará el funcionamiento de los conectores tipo ángulo, cuyas dimensiones serán detalladas conforme se avance en este estudio, este conector de ángulo fue escogido por su utilización en la construcción ecuatoriana y latinoamericana, que sin embargo no cuenta con algún argumento científico que avale su efectividad como conexión entre el acero y el hormigón. Las probetas de ensayo serán sometidas a esfuerzo cortante, se esperan resultados similares en las que contengan el mismo tipo de hormigón, ya que también los conectores son encargados de contrarrestar las cargas horizontales del sistema, lo que significa que se traslada el eje neutro hacia la parte del hormigón, haciendo que la compresión sea soportada por este elemento y la tracción sea soportada por el acero (Acero-Deck, 2012). Como la sección compuesta posee mayor inercia que la sección de viga de acero sola, entonces esta soportará de mejor manera los esfuerzos de deformación, por lo tanto, se podría reducir el área de vigas principales y secundarias que soportan las cargas de la losa, lo que tendría un

efecto inmediato en el presupuesto total de cualquier proyecto en el que se emplee este método constructivo, siendo de beneficio directo para el dueño de dicho proyecto, además de los beneficios estructurales que presenta la edificación al ser más liviana (Alvarez & Cházaro, 2010).

Si lo planteado resulta correcto, entonces se debe tener la información necesaria para la utilización de este tipo de conectores de corte, parte de esa información vendrá de este trabajo técnico experimental, siendo lo más relevante los límites que pueda alcanzar dicha conexión y las fallas generadas durante el proceso de experimentación.

El último elemento de tipo metálico es la malla electrosoldada, la cual cumple la función de refuerzo por temperatura, en el caso de las probetas que se analizará en el laboratorio de la vivienda de la EPN, este refuerzo no cumplirá con ningún otro propósito más que el de asegurar una correcta apariencia de sistema, ya que no tiene influencia en los cálculos como refuerzo estructural. La malla electrosoldada se rige a la norma ACI para su función de refuerzo de temperatura (INEN-2209, 2010).

Dentro del sistema de losa deck, se tiene el hormigón premezclado el cual se vierte sobre la chapa metálica, finalizando el proceso de construcción de la losa en la estructura. El hormigón es un material usado en la construcción conformado por la mezcla de cemento, agua, agregado fino y agregado grueso, en una dosificación tal que se obtenga la resistencia deseada. En el Ecuador, la norma que rige este elemento de las losas tipo deck es la INEN, en la cual se detalla las características del hormigón pre mezclado, requisitos para su elaboración, muestreo y posterior uso en la construcción (INEN-1855, 2015).

1.6 OBJETIVO GENERAL

Presentar la propuesta de conector de corte tipo ángulo para loseta con lámina deck, mediante la experimentación de probetas usando el método PushOut.

1.7 OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Definir posibles variables que se podrán cambiar en el ensayo, mediante revisión de prácticas similares que se hayan analizado anteriormente, para relacionar este estudio con otros similares.
- Ensayar los elementos que conforman el sistema, hormigón y perfiles, mediante el uso de maquinaria de laboratorio, para obtener datos de capacidades de elementos.
- Fabricación de probeta, mediante el hormigón y los elementos de acero requeridos, sumado a mano de obra calificada, para proceder a ensayar estos modelos.
- Predecir teóricamente el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo.

- Proponer una configuración favorable de los conectores de corte, en cuanto a su posición.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

2.1 CONSTRUCCIONES COMPUESTAS

Las construcciones compuestas son estructuras que se caracterizan por estar formadas de acero y hormigón, donde ambos materiales trabajan monolíticamente presentando un aumento importante en su resistencia. Un sistema de piso conformado por una viga metálica, la cual trabaja como sección compuesta conjuntamente con la losa, por lo general soportará cargas mayores a las que soportaría si trabajara sola (Leon, 2009).

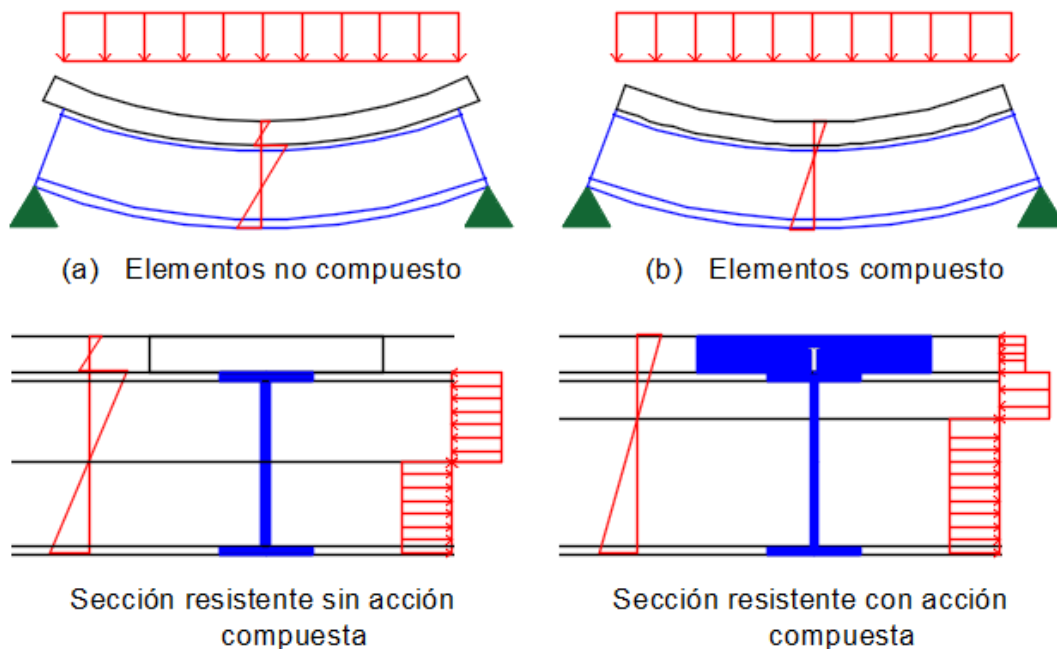
Los beneficios para usar este método constructivo son; Optimización del material, debido a que al usar acero y hormigón se obtienen estructuras más ligeras, donde todo el material usado se aprovechará al máximo. También la rapidez de construcción, ya que se puede seguir montando la estructura sin esperar el fraguado del hormigón, debido a que no se necesita retirar el encofrado de ese tipo de losa (Alvarez & Cházaro, 2010).

Dentro de este método constructivo existen varias desventajas como:

Al trabajar con dos materiales de construcción diferente también llamados sistemas mixtos, se necesita de hormigón y acero al mismo tiempo, este método constructivo exigirá un mayor control por parte del residente de obra en la programación y la ejecución de la misma (ACERO-DECK, 2014).

Al existir dos elementos de distinta naturaleza como es el hormigón y el acero, se necesita buscar la manera de mantenerlos unidos y que su comportamiento sea monolítico, como se observa en la figura 2.1 (b), si el comportamiento es como en la figura 2.1 (a), esto significa que existe un deslizamiento entre el hormigón y la viga de acero, que podría generar algún tipo de daño a nivel estructural o de acabados (Crisafulli, 2014).

FIGURA 2.1 Elementos compuestos y no compuestos.



FUENTE: (ACERO-DECK, 2014)

2.1.1 COMPORTAMIENTO GENERAL DE VIGAS COMPUESTAS

La deformación de una viga compuesta bajo cargas verticales, esta detallada en la figura 2.2 (a). La distribución de fuerzas en la región positiva o caída entre los puntos de inflexión es diferente del comportamiento en la región negativa o la secciones entre un punto de inflexión y el soporte adyacente. Entre los puntos de inflexión, la viga de material compuesto puede ser visualizado como simplemente apoyada, como se muestra en la figura 2.2 (b). La resultante de las fuerzas de flexión en el hormigón de la viga compuesto es compresión, y la resultante de las

fuerzas de flexión en el elemento de acero es tensión, los elementos que conforman la viga compuesta serán hormigón y acero como se muestra en la figura 2.2 (c) (Oehlers & Bradford, 1995).

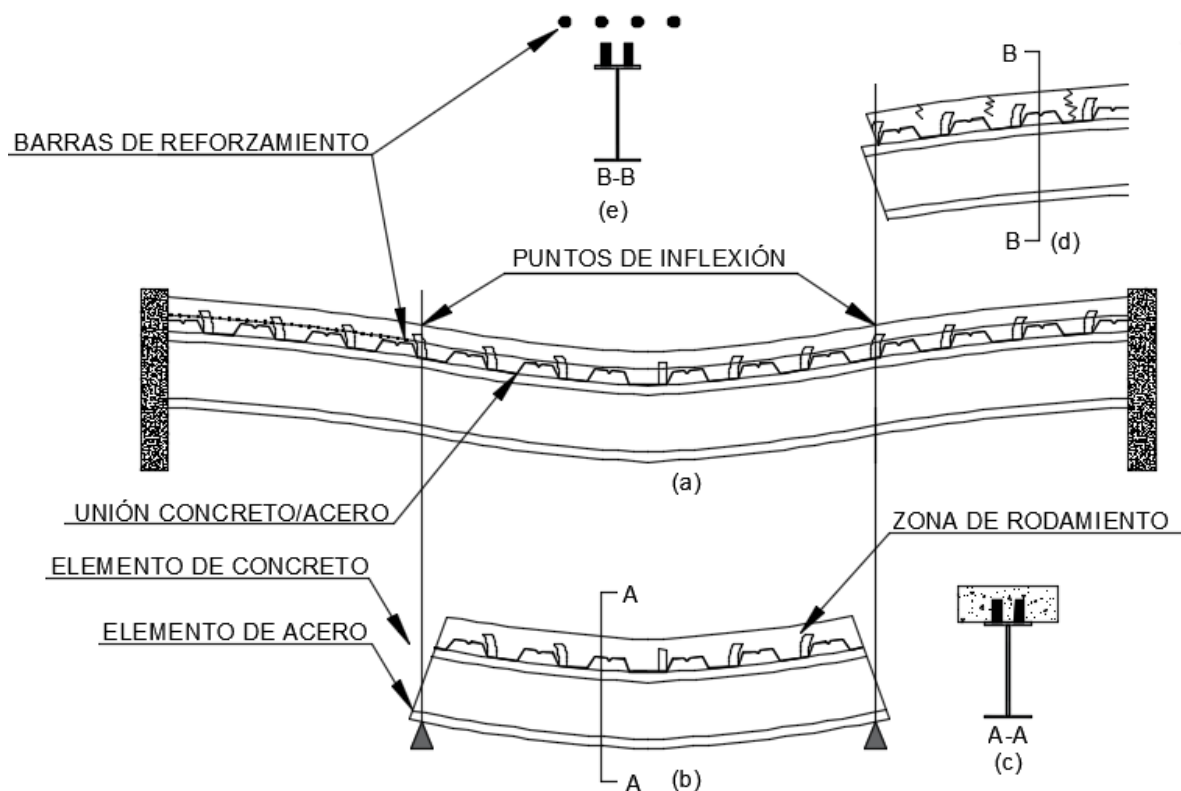
La fibra de hormigón adyacente a la unión del acero y hormigón está tratando de expandirse bajo las fuerzas de flexión como se muestra en la figura 2.2(b), mientras que la fibra de acero adyacente a la unión antes mencionada, está tratando de contraerse bajo las cargas de flexión. Esta deformación relativa distorsiona los conectores, como se muestra en la figura 2.2 (d). Por lo tanto, los conectores están aplicando un empuje sobre el hormigón que se dirige hacia la mitad de la viga y están sujetos a fuerzas de corte horizontal. La distorsión de flexión de la viga compuesto también trata de inducir la separación vertical entre el acero y hormigón, la tracción generada es resistida por los conectores de corte, mediante el área de sección transversal que conforma la cabeza del conector de corte tipo perno, además de la adherencia generada por el área lateral del conector. Los conectores de corte tipo ángulo, no poseen cabeza como los conectores de corte tipo perno Nelson Stud, que ayuda a resistir la separación vertical entre el hormigón y el acero, pero el conector tipo ángulo tiene un área lateral mayor que contrarresta la separación vertical de los elementos de la viga compuesta por medio de la adherencia (Oehlers & Bradford, 1995).

Por lo general en edificaciones simplemente apoyadas, el eje neutro se encuentra en el elemento de hormigón, por lo tanto, todo el acero trabaja a tensión. Pero si el eje neutro se encuentra en el acero, es posible que el ala superior trabaje a compresión parcial o total, pero con una compresión menor comparada con una viga que no tenga conectores de corte, ya que la capacidad de los conectores a corte resiste la tensión normal de las fuerzas a través de la unión (Oehlers & Bradford, 1995).

En la región de momento negativo entre los soportes y los puntos de inflexión, como se muestra en la figura 2.2 (d), la viga compuesto actúa como un voladizo. El hormigón está en tensión y generalmente está completamente agrietado, por lo que no contribuye directamente a la resistencia de la estructura. Por lo tanto, la viga compuesta está formada por dos componentes de acero, el elemento viga de

acero y los elementos de la barra de refuerzo o malla electrosoldada, siendo los elementos de acero los que soportan los efectos de flexión, como se muestra en la figura 2.2 (e) (Oehlers & Bradford, 1995).

FIGURA 2.2 Deformación de la viga compuesta.



FUENTE: (Oehlers & Bradford, 1995)

2.1.2 LOSAS COMPUESTAS (SISTEMA DE ENTRE PISOS)

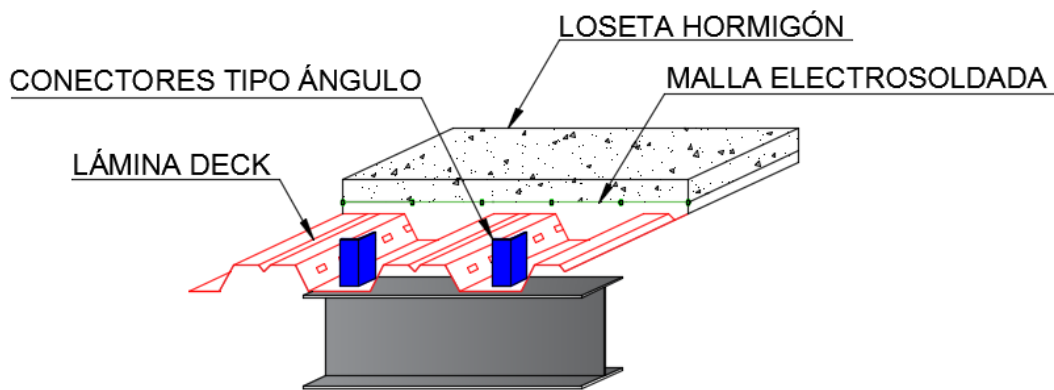
La función principal de una losa consiste en repartir la carga vertical o gravitatoria a las vigas y estas a su vez a las columnas. Si existe la presencia de carga horizontal sea esta de origen sísmico o de viento, la losa tiene la función de servir como diafragma horizontal³.

Los sistemas de losas compuestas más usados en edificios en la actualidad están conformados por vigas principales apoyados en columnas, vigas secundarias

³ Elemento rígido horizontal que transmite y distribuye las fuerzas laterales a paredes verticales de arriostramiento, etc.

soportadas por las vigas principales. Sobre las vigas principales y vigas secundarias se encuentra apoyado la losa. Durante el vertido de hormigón se usa un encofrado que luego se procederá a retirar, o se instala una placa colaborante y sobre ésta el concreto. Las losas compuestas usando placa colaborante, están conformadas por cuatro elementos los cuales deben comportarse de una forma conjunta. Los elementos son; capa de hormigón, placa colaborante, malla electrosoldada y conectores de corte, cada uno de ellos debe estar formado por materiales y procesos establecidos por norma INEN. En la figura 2.3 se muestra los elementos y su ubicación en el espacio.

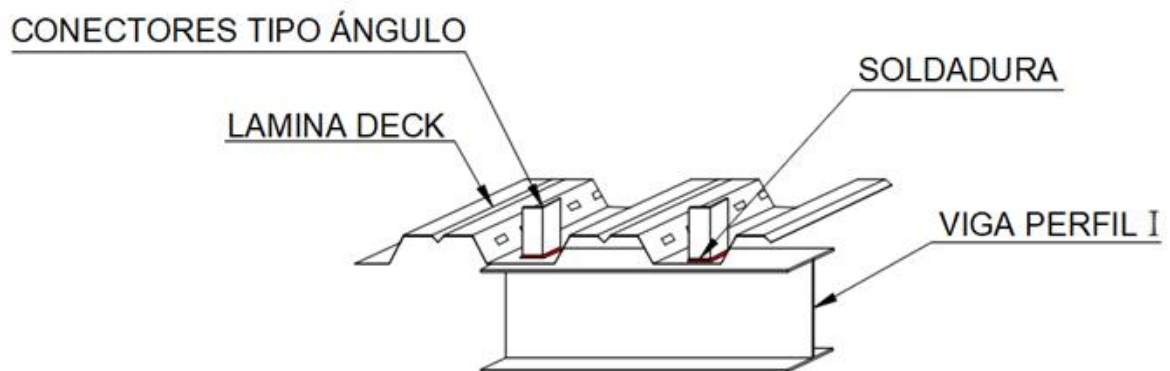
FIGURA 2.3 Elementos de losa compuesta usando placa colaborante.



FUENTE: (Alvarez & Cházaro, 2010).

Para el presente trabajo técnico experimental, se plantea el uso de chapa o placa colaborante sobre la viga de acero, ambos elementos se unen mediante los conectores de corte soldados. En la figura 2.4 se detalla las ubicaciones de los elementos que conforman el prototipo.

FIGURA 2.4 Detalle viga, lamina deck, conector y soldadura.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

2.2 CONECTORES DE CORTE

2.2.1 INTRODUCCIÓN

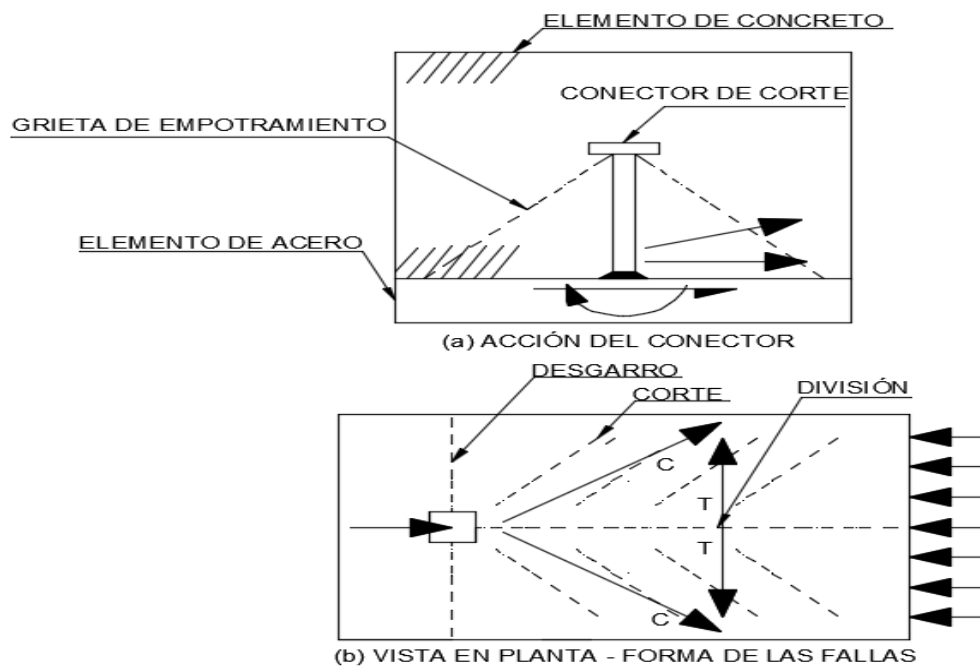
Se busca en las estructuras compuestas, que los elementos trabajen de forma integral, ya que la adherencia entre el hormigón y la lámina deck es prácticamente nula para el diseño de la viga. Es por esto que surge la necesidad de implementar conectores de corte, los cuales son soldados a la estructura metálica (Crisafulli, 2014).

Los conectores de corte tienden a ejercer concentraciones de carga muy altas sobre el elemento de hormigón. Esta carga concentrada se transfiere desde el elemento de acero al elemento de hormigón a través de los conectores de corte. Todos los conectores de corte son simplemente espigas⁴ de acero incrustadas en un medio de hormigón como se ilustra en la figura 2.5 (a). La carga concentrada se dispersa en el elemento de hormigón y la acción de esta dispersión puede inducir el agrietamiento por tracción, como se muestra en la vista en planta del elemento de hormigón en la figura 2.5 (b). Estas grietas de tracción son inducidas por acciones de desgarro, cortante y división. El agrietamiento por tracción también puede ser inducido por la acción del pasador, particularmente cuando el conector también resiste la separación en la unión de acero y el hormigón de la viga compuesta, y estas grietas se denominan grietas de empotramiento como se muestra en la figura 2.5 (a). Estas fallas de tracción de la losa pueden afectar

⁴ Espiga de acero: Elemento longitudinal de forma geométrica arbitraria.

tanto la resistencia como a la ductilidad de los conectores de corte. Adicionalmente, si no existen barras de refuerzo “malla electrosoldada” que crucen los planos de agrietamiento, entonces la capacidad de deslizamiento también se reduce, la presencia de refuerzo a través de un plano de fisura hace que la falla sea mucho más dúctil (Oehlers & Bradford, 1995).

FIGURA 2.5 Transmisión de las fuerzas del conector.



FUENTE: (Oehlers & Bradford, 1995)

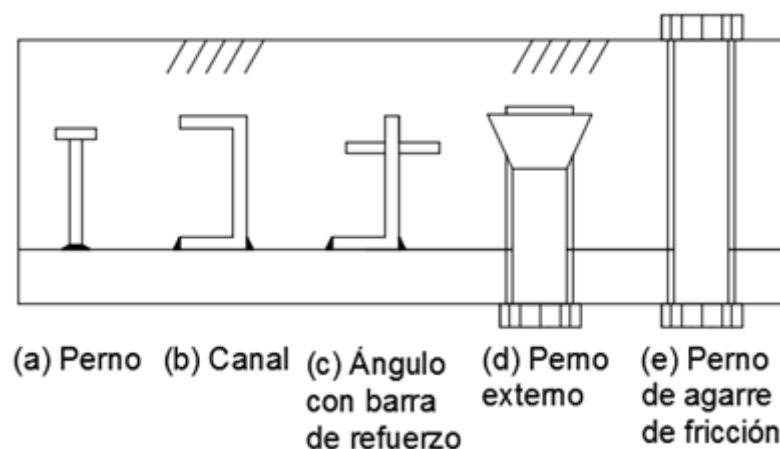
2.2.2 TIPOS DE CONECTORES DE CORTE

Existe una gran variedad de conectores de corte que varían en forma, tamaño y métodos de fijación. Estos son elementos de acero embebidos en un medio de hormigón, que están diseñados para transmitir las fuerzas de corte longitudinales, además resistir fuerzas de tracción normales y por lo tanto evitar la separación en la unión del acero y el hormigón, y todos ellos imparten cargas altamente concentradas en el elemento de hormigón (Oehlers & Bradford, 1995).

Los conectores tipo perno, como se muestra en la figura 2.6 (a), son probablemente el tipo más común de conector de corte utilizado en el mercado alrededor del mundo, este elemento metálico cuenta con dos partes importantes

para su adecuado funcionamiento, la primera parte es el cuerpo del perno, el cual está diseñado para resistir las fuerzas cortas longitudinales, la segunda parte es la cabeza del perno, la cual soporta la fuerza de tracción normal generada en la unión del hormigón y la lámina deck. Los canales conformados en frío, como se muestra en la figura 2.6 (b), tienen como elementos principales, el alma y las aletas o patines de canal. El alma es la encargada de soportar la fuerza cortante longitudinal y la aleta superior es la encargada de soportar la fuerza de tracción normal generada por la unión del hormigón y la lámina deck, mientras que la aleta inferior sirve de soporte de fijación por soldadura. El ángulo de la figura 2.6 (c) tiene un comportamiento similar con la diferencia que la barra de refuerzo es la encargada de soportar la fuerza de tracción normal. Alternativamente, los elementos de acero y hormigón pueden atornillarse juntos después de la fundición como se muestra en la figura 2.6 (d) y (e) (Oehlers & Bradford, 1995).

FIGURA 2.6 Conectores de corte comunes.



FUENTE: (Oehlers & Bradford, 1995)

2.2.3 BASE PARA EL DISEÑO DE CONECTORES

“El objetivo de los conectores de corte es absorber los esfuerzos cortantes de la estructura, debido a esto se debe determinar las fuerzas horizontales las cuales son los estado límite de diseño” (Navarro, 2012).

Existen tres formas de comportamiento; fuerza a compresión del hormigón, fuerza a tracción ó tracción y compresión de la viga metálica, además de la fuerza cortante que se desarrollará por la suma de todos los conectores de corte.

Existen dos posibilidades, primero que la estructura trabaje como acción compuesta, donde la falla será a compresión del hormigón o también puede ser a tensión de la viga metálica. La filosofía de diseño busca que la falla sea dúctil, entonces para el diseño se espera que el elemento que fluya sea la viga de acero (Navarro, 2012).

La segunda posibilidad es que la estructura trabaje a acción compuesta parcial, donde la falla se generará, si se sobrepasa la fuerza cortante que puede ser desarrollada por los conectores de corte, entonces, esta falla será la que determine el esfuerzo resistente de la sección. (Navarro, 2012).

Cuando se trata con zonas de momentos negativos, se deberá realizar las mismas consideraciones, pero tomando en cuenta las siguientes formas de comportamiento; 1. El esfuerzo de fluencia del acero de refuerzo longitudinal de la losa.

2. La fuerza cortante de la suma de todos los conectores de corte (Navarro, 2012).

2.2.4 UBICACIÓN DE LOS CONECTORES

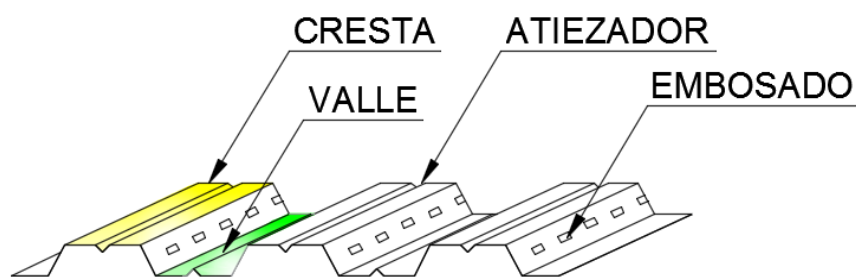
Existen dos tendencias para la distribución de los conectores a lo largo de la viga de acero. Primero, la distribución de los conectores de corte será de la forma como se colocan los estribos en una viga de hormigón armado. Es decir, donde exista mayor corte la separación será menor y donde el corte sea menor, se colocarán con un espaciamiento mayor. Esta forma de colocar los conectores de corte demanda mayor atención por parte del técnico supervisor (Crisafulli, 2014).

La segunda distribución consiste en poner una separación constante entre conectores de corte, esta tendencia facilita el trabajo al constructor, al realizar la colocación de los conectores de corte de forma más fácil y en menor tiempo. La desventaja de esta instalación es cuando en la estructura se presenta una carga puntual, donde se solicite un menor espaciamiento de conector de corte, es posible que no lo realicen por la tendencia de poner los conectores de corte a una distancia constante. El técnico que diseñe deberá colocar un detalle en el plano

estructural, para que al momento de construir, se lo realice adecuadamente (Navarro, 2012).

En la placa colaborante o también conocida como steel panel, existe en la mitad del valle una pestaña, esta se la adicionó con la intención de rigidizar el elemento para mejorar el comportamiento mecánico, el detalle antes mencionado se lo aprecia en la figura 2.7.

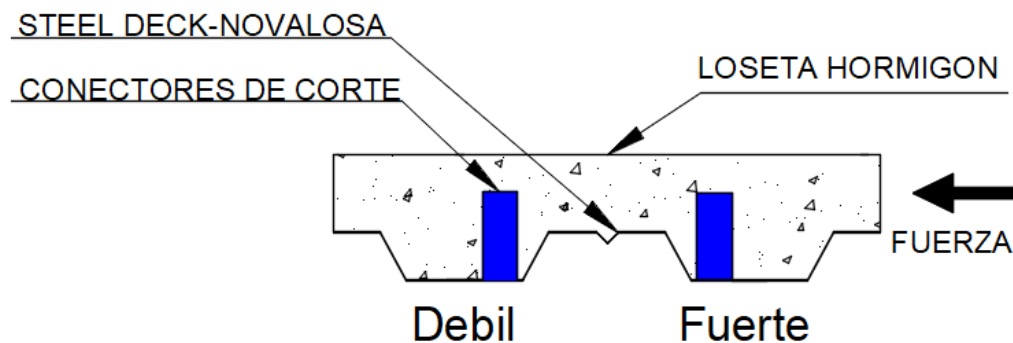
FIGURA 2.7 Elementos rigidizador en placa colaborante.



FUENTE: (Arquitectura+acero, 2010).

Por lo tanto, se tiene dos posibilidades para colocar los conectores de corte, a la izquierda o a la derecha de la pestaña rigidizadora ubicada en el centro del valle, donde dependiendo de la fuerza horizontal resultante, uno será el lado fuerte y el otro el lado débil. Este detalle se lo puede apreciar en la figura 2.8. (Navarro, 2012).

FIGURA 2.8 Ubicación de conectores de corte.

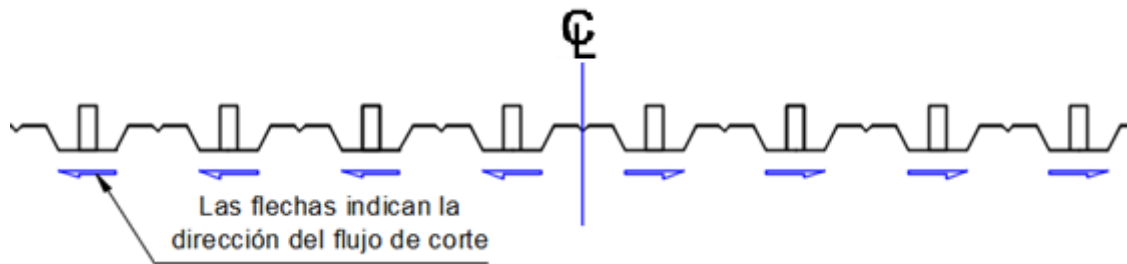


FUENTE: (Navarro, 2012).

Para determinar si el conector de corte está en la posición fuerte o débil, la única forma es con un análisis matemático. Por lo tanto, en el plano estructural se

debería detallar la correcta posición. Cuando la viga está sujeta a carga vertical sea viva o muerta, el flujo del esfuerzo cortante es desde el “Center Line” la mitad de la viga hacia afuera como me muestra en la figura 2.9.

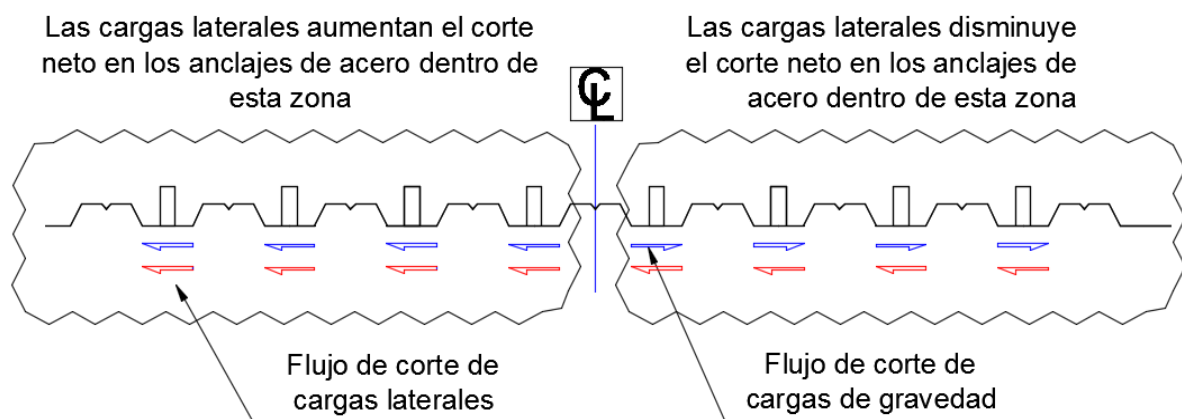
FIGURA 2.9 Flujo de corte solo para carga vertical.



FUENTE: (Navarro, 2012)

Si existe carga horizontal, esta puede ser originada por viento o por eventos sísmicos, el flujo de corte estará en la dirección de la trayectoria de la carga horizontal. Cuando se sobrepongan estos dos efectos de carga vertical y carga horizontal, una de las dos mitades, se contrarrestará y en la otra mitad se magnificarán los efectos de los esfuerzos cortantes. Como resultado de la amplificación de estas fuerzas de un lado, se obtiene la posición fuerte de los conectores de corte, como se puede apreciar en la figura 2.10.

FIGURA 2.10 Combinación de solicitaciones.



FUENTE: (Navarro, 2012).

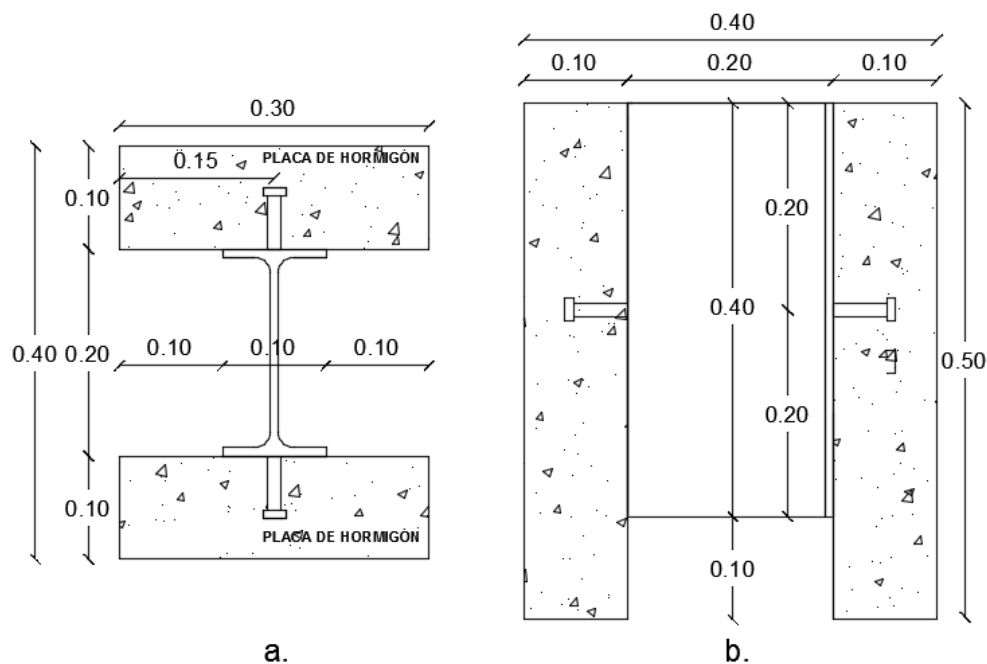
2.2.5 ENSAYO DE CONECTORES

En el Ecuador no existe un registro de este tipo de experimento, el ensayo experimental con mayor similitud en la región se realizó en la Universidad

Nacional de Colombia en la Facultad de Ingeniería Civil, dirigida por la Ing. Civil Maritzabel Molina y el Ing. Civil Xavier Hurtado.

Las características geométricas de las probetas usadas en este ensayo se muestran en la figura 2.11(a) la vista en planta y en la figura 2.11 (b) la vista frontal.

FIGURA 2.11 Dimensiones ensayo experimental Hurtado, Molina.

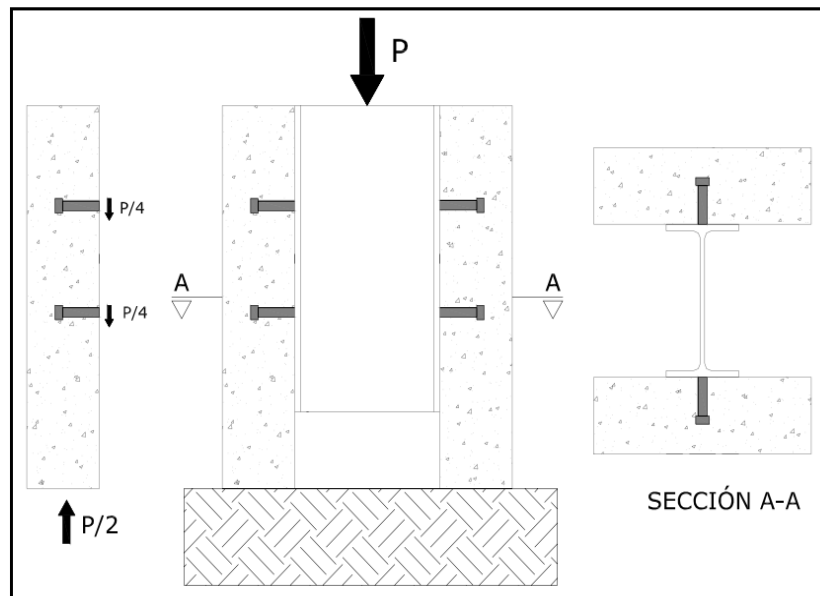


FUENTE: (Xavier Hurtado, 2008).

En este ensayo se empleó una viga IP 200 la cual posee medidas 200 mm x 100 mm x 5,5 mm x 8,5 mm.

El ensayo push-out se ha utilizado desde el año 1956, con las primeras investigaciones del Ingeniero Viest sobre conectores, el ensayo desarrolla la metodología para aplicar una carga axial sobre el perfil metálico de las probetas descritas anteriormente hasta alcanzar la falla, de esta forma existirá una transferencia de esfuerzos a los conectores, permitiendo aislar el efecto de corte directo, tal como se muestra en la figura 2.12 (Xavier Hurtado, 2008).

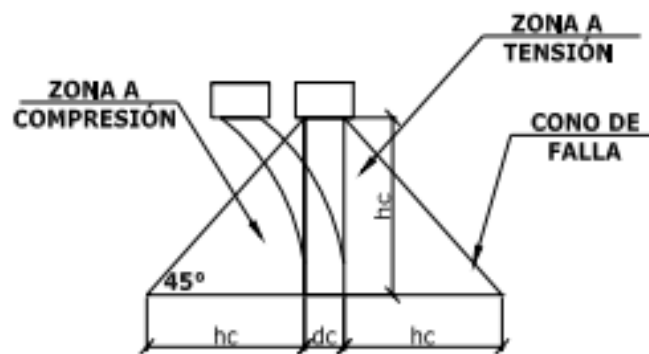
FIGURA 2.12 Distribución del esfuerzo cortante Hurtado, Molina.



FUENTE: (Xavier Hurtado, 2008).

En cuanto a los resultados se debe señalar, que para este tipo de ensayo es posible observar fallas en el hormigón, donde se observa que trabaja a compresión y tensión. En la primera existe aplastamiento del concreto, y en la segunda ocurre fisuración en la zona adyacente al conector formando un cono de 45° como puede observar en la figura 2.13.

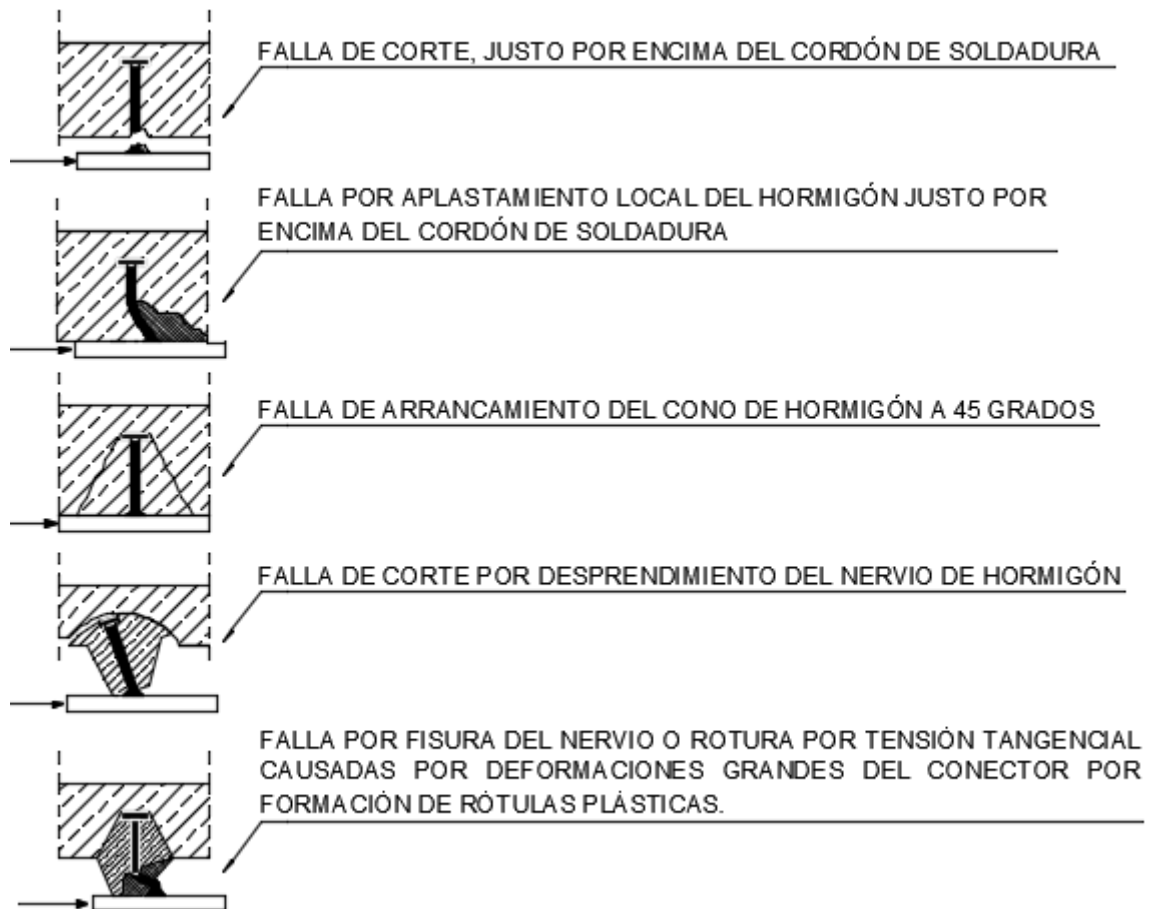
FIGURA 2.13 Desprendimiento del hormigón cono a 45° .



FUENTE: (Xavier Hurtado, 2008).

Adicionalmente, es posible que se generen otros tipos de falla del hormigón o acero conjuntamente o individualmente como los mostrados en la figura 2.14.

FIGURA 2.14 Modos de rotura posibles de los elementos de ensayo.



FUENTE: (Eurocódigo 4, 2014).

Para la representación de los resultados para este ensayo en particular, se realizó una tabla donde se detalla la probeta, carga de falla, carga teórica push-out y la carga lineal, los resultados de este ensayo se muestra en la figura 2.15.

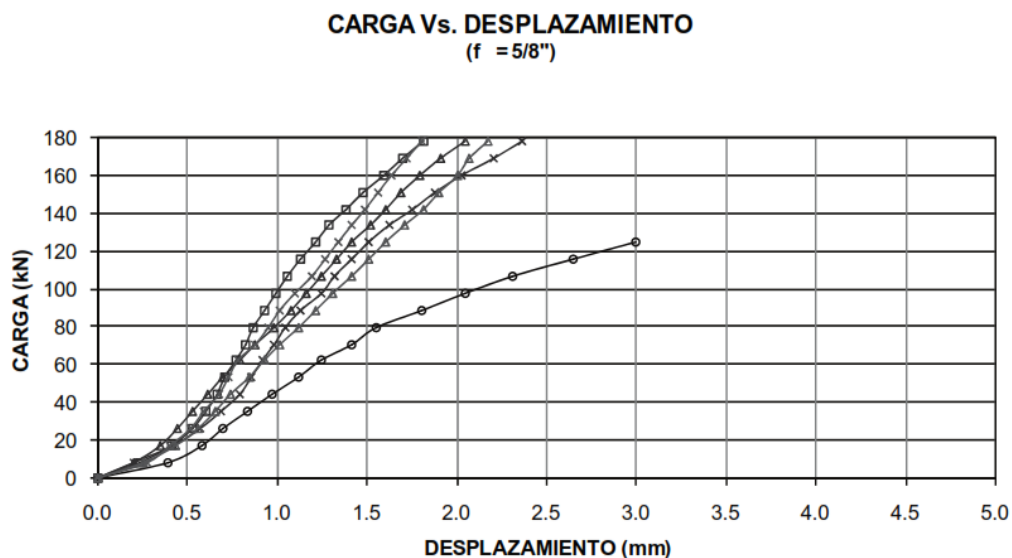
FIGURA 2.15 Resultados experimento Molina-Hurtado.

MODELO	CARGA FALLA kN	TIPO DE FALLA	MODELO	CARGA FALLA kN	CARGA NSR-98 kN	CARGA LINEAL kN
M4-1-0	100.42	SOLDADURA	M4-1-0	100.42	61.52	55.0
M4-2-8	187.54	CONCRETO	M4-2-8	187.54	73.80	82.0
M4-2-12	150.16	SOLDADURA	M4-2-12	150.16	78.14	98.0
M4-2-14	180.38	CONCRETO	M4-2-14	180.38	80.31	76.0
M4-3-12	234.22	CONCRETO	M4-3-12	234.22	91.16	110.0
M4-3-14	243.73	CONCRETO	M4-3-14	243.73	95.50	130.0
M5-1-0	129.32	SOLDADURA	M5-1-0	129.32	65.12	68.0
M5-2-8	195.33	CONCRETO	M5-2-8	195.33	73.80	118.0
M5-2-12	234.97	CONCRETO	M5-2-12	234.97	78.14	170.0
M5-2-14	232.48	CONCRETO	M5-2-14	232.48	80.31	126.0
M5-3-12	248.11	CONCRETO	M5-3-12	248.11	91.16	180.0
M5-3-14	214.59	CONCRETO	M5-3-14	214.59	95.50	180.0
M6-1-0	178.59	SOLDADURA	M6-1-0	178.59	65.12	78.0
M6-2-8	253.38	CONCRETO	M6-2-8	253.38	73.80	178.0
M6-2-12	278.42	CONCRETO	M6-2-12	278.42	78.14	156.0
M6-2-14	232.96	CONCRETO	M6-2-14	232.96	80.31	178.0
M6-3-12	318.85	CONCRETO	M6-3-12	318.85	91.16	140.0
M6-3-14	334.24	CONCRETO	M6-3-14	334.24	95.50	178.0

FUENTE: (Xavier Hurtado, 2008).

Adicionalmente se elabora la gráfica de deslizamiento “mm” vs Carga “kN” para cada tipo de conector, para un diámetro de 5/8”, se puede observar en la figura 2.16

FIGURA 2.16 Gráfica deslizamiento vs carga para un diámetro de 5/8”.



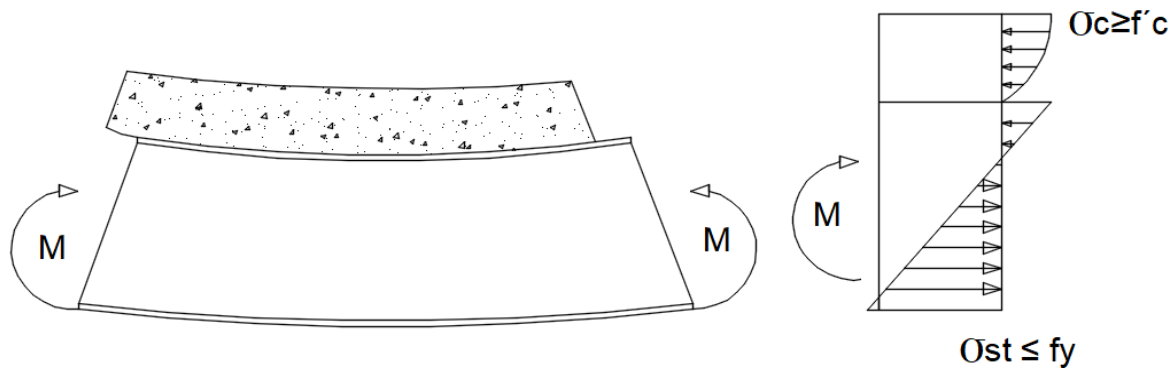
Fuente: (Xavier Hurtado, 2008).

2.3 ESTADOS LÍMITE DE FALLA EN LOSAS COMPUESTAS

2.3.1 FALLA DEL HORMIGÓN ARMADO EN COMPRESIÓN

Este tipo de falla se genera cuando la fuerza a compresión presente en la fibra exterior del hormigón es superior al esfuerzo de rotura en la zona de compresión conocido como $f'c$. Adicionalmente, el perfil de acero no debe presentar una fluencia significativa. En la práctica este tipo de falla se puede identificar cuando se desprende el hormigón en el área de falla. Por lo tanto, la capacidad del elemento será reducida a la capacidad de la viga de acero. En la figura 2.17 se presenta este tipo de falla.

FIGURA 2.17 Falla del concreto reforzado en compresión.



FUENTE: (Alvarez & Cházaro, 2010).

M = Momento flector

σ_c = Esfuerzo máximo a compresión

$f'c$ = Resistencia a la compresión del hormigón

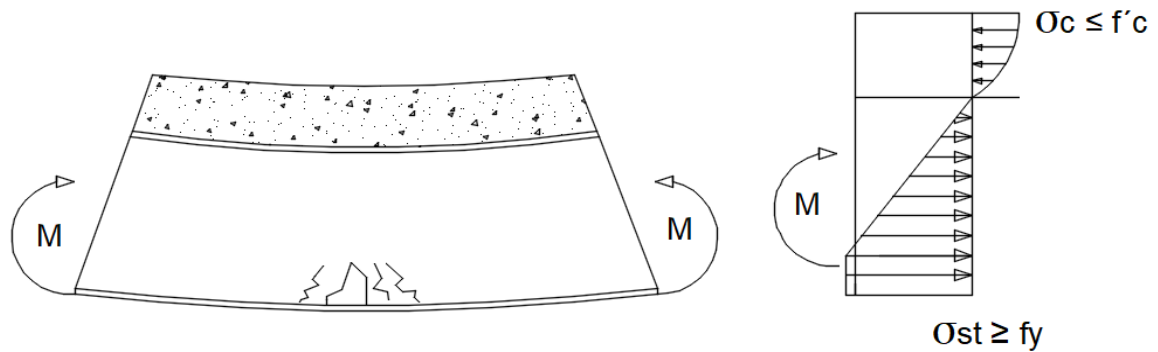
σ_{st} = Esfuerzo máximo a tensión

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

2.3.2 FLUENCIA DEL ACERO EN TENSION

Este tipo de falla se origina cuando una sección significativa del perfil fluye antes que el hormigón alcance esfuerzo de ruptura $f'c$, como se aprecia en la figura 2.18, esta falla ocurre cuando el área de hormigón es muy grande, de modo que todo el perfil o en su mayoría trabaja a tensión.

FIGURA 2.18 Fluencia del acero en tensión.



FUENTE: (Alvarez & Cházaro, 2010)

$M =$ Momento flector

$\sigma_c =$ Esfuerzo máximo a compresión

$f'_c =$ Resistencia a la compresión del hormigón

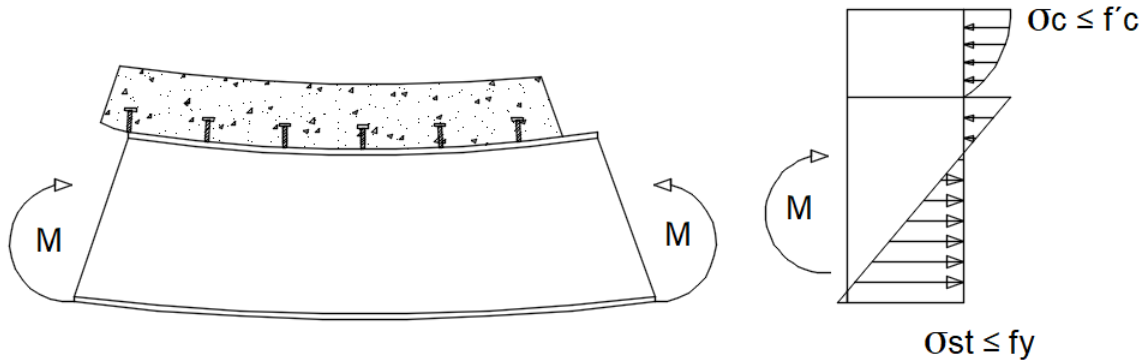
$\sigma_{st} =$ Esfuerzo máximo a tensión

$f_y =$ Esfuerzo de fluencia del acero

2.3.3 PÉRDIDA DE ACCIÓN COMPUESTA ENTRE EL ACERO Y EL CONCRETO

Este tipo de falla ocurre cuando la capacidad de transmitir cortante por parte del conector de corte ubicado entre el acero y el hormigón, es menor a la resultante de la compresión en el hormigón o menor a la resultante de los esfuerzos en el perfil, generando un deslizamiento entre los dos materiales, perdiendo la acción compuesta, provocando una pérdida significativa de la capacidad. Como se ve en la figura 2.19.

FIGURA 2.19 Pérdida de acción compuesta entre el acero y el concreto.



FUENTE: (Alvarez & Cházaro, 2010).

M = Momento flector

σ_c = Esfuerzo máximo a compesión

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón

σ_{st} = Esfuerzo máximo a tensión

f_y = Esfuerzo de fluencia del acero

La acción compuesta completa se da cuando los elementos encargados de transmitir esfuerzos cortantes entre el hormigón y el acero están diseñados de tal manera que la estructura compuesta desarrolle la flexión máxima. En la práctica se logrará esta acción cuando la estructura sea sometida a acciones críticas o máximas y no hay deslizamiento entre la losa y el perfil de acero.

La acción compuesta parcial hace referencia cuando la resistencia de los conectores de corte es menor a la resistencia necesaria para desarrollar una acción compuesta completa, es decir, los elementos que gobiernan la estructura compuesta son los conectores de corte, si estos fallaran la estructura dejaría de trabajar de forma monolítica.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

3.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

3.1.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS MATERIALES



3.1.1.1 PLACA COLABORANTE

La placa colaborante o chapa plegada sirve como encofrado para la colocación del hormigón in situ, además, genera la resistencia a tracción en la parte inferior de la losa, es decir, que cumple la función de armadura de refuerzo positivo obviando la instalación de varillas corrugadas, y con este material se evita la instalación de alivianamientos como son la espuma flex o bloques, siendo así la losa más ligera.

En la Norma Técnica Ecuatoriana (INEN-2397, 2015) con título “PLACA COLABORANTE DE ACERO. REQUISITOS Y MÉTODOS DE ENSAYO” se determinará las características físicas y requerimientos para la placa colaborante:

La placa colaborante de acero presenta en su superficie muescas o indentaciones y existen dos tipos como se muestra en la figura 3.1. El tipo de placa colaborante a usar es del tipo A, por la disposición en el mercado ecuatoriano.

FIGURA 3.1 Tipos de placas colaborante.

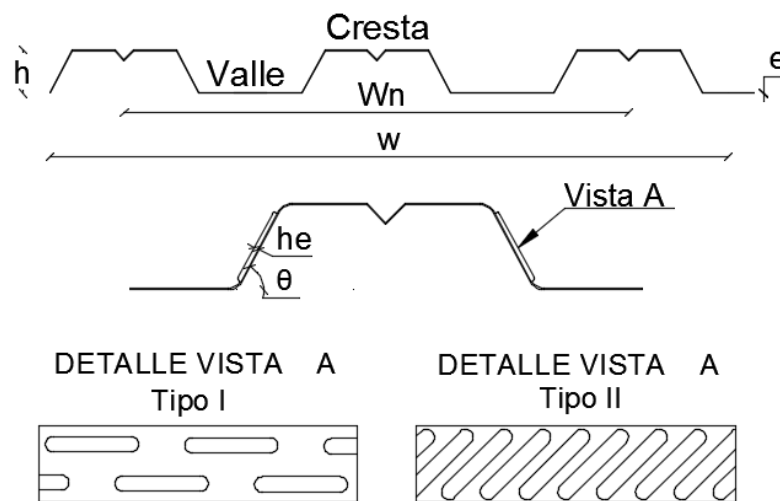
Tipo	Descripción	Geometrías
A	Con resaltes	
B	Sin resaltes	

FUENTE: (INEN-2397, 2015).

Los requisitos para los materiales que conforman la lámina deck son:

- El acero base para la fabricación debe ser como mínimo de Grado 250 es decir límite de fluencia de 250 MPa, resistencia a la tracción 330 MPa y una elongación de 19%.
- Las propiedades químicas también deben cumplir lo detallado para el grado 250, estas son, el porcentaje máximo de Carbono es de 0.20 %, el porcentaje máximo de manganeso es 1.70%, porcentaje máximo de fósforo es de 0.1% y porcentaje máximo de azufre de 0.045%.
- El recubrimiento de galvanizado debe ser como mínimo 275 gramos por cada m².
- Para el dimensionamiento se debe obtener la información detallada en la figura 3.2.

FIGURA 3.2 Dimensiones placa colaboraste



FUENTE: (INEN-2397, 2015)

Donde las tolerancias son:

- Ancho (w) y ancho útil (w_u) es de ± 0.5 % del valor.

- Altura (h) es de ± 1.5 mm además límite inferior 38.1mm y límite superior 76.2 mm.
- Espesor (e) para espesores de 0.65 mm a 1.5 mm es de ± 0.04 mm y para espesores mayores 1.5 mm es de ± 0.08 .
- El alto de embosado (he) e determina por el fabricante y no debe ser inferior a 0,859 mm y la disposición debe estar en el alma y con un patrón regular a lo largo de la placa.

3.1.1.2 ANGULO “CONECTOR DE CORTE”

El perfil estructural tipo ángulo de alas iguales, se usará como conector de corte en la parte experimental del presente trabajo. La norma ecuatoriana que permitirá analizar este material es la INEN-ISO 657-1 con título “PERFILES DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE – PARTE 1: ÁNGULOS DE LADOS IGUALES - DIMENSIONES”, en la cual se indica que es una traducción literal de la Norma Internacional ISO 657-1:1989 (INEN 657-1, 2015).

La norma establece un espesor para el ángulo de 1.5 mm a 12.0 mm, el radio de curvatura interna es de 1.55 espesor, para espesores menores a 6.00mm y el radio de curvatura interna es de 2 espesor para espesores de 6.00mm o mayores.

3.1.1.3 MALLA DE ACERO ELECTROSOLDADA

Es un panel electrosoldado con varillas corrugadas de varios diámetros dispuestas perpendicularmente unas con otras, formando cuadrados regulares. El motivo para emplear este material es para poder controlar las fisuras del hormigón y eventualmente se puede colocar armadura de refuerzo superior, para resistir momentos negativos en el caso de losas continuas (Crisafulli, 2014).

La norma con la cual se elabora la malla de acero electrosoldado es la NTE INEN 2 209 con título “MALLA DE ALAMBRE DE ACERO SOLDADA. REQUISITOS E INSPECCIÓN”, la norma establece los siguientes lineamientos para dicho material:

Parámetros de dimensionamiento

- En el punto de cruce de la malla, la relación entre la varilla del menor diámetro y la varilla con mayor diámetro no será menos de 0,57.

- El cambio en la longitud total de las mallas, medida en cualquier alambre debe ser el valor máximo entre ± 25 mm ó 1% de la longitud nominal.
- La variación que se permite para el ancho, no debe ser mayor de ± 13 mm.
- Los espaciamientos para alambres longitudinales, serán múltiplos de 50 mm y es preferible que el espaciamiento mínimo sea de 100 mm, a menos, que se establezca otra cosa.
- La tolerancia máxima entre espaciamientos será de ± 6 mm.

Parámetros mecánicos

- Para alambre liso trefilado en frío la resistencia a la tracción (Rg) es de 550 MPa y el límite de fluencia (Re) de 485 MPa (INEN-1510, 2010).
- Para alambre conformado en frío Grado 60 el límite elástico nominal mínimo (Re) es de 588 MPa y la resistencia a la tracción mínimo (Rg) 640 MPa (INEN-1511, 2015).
- En un ensayo de cizallamiento, en la soldadura los resultados no deben ser menor a 241 N multiplicado por el área nominal en mm² del diámetro mayor.

3.1.1.4 HORMIGÓN

El hormigón es un material formado por la unión de cemento, agregado fino, agregado grueso y agua en proporciones tales que se obtenga las resistencias deseadas. La norma que permite analizar este material es la INEN 1855-1 con título “HORMIGONES. HORMIGÓN PREMEZCLADO. REQUISITOS” en donde se detalla las siguientes consideraciones:

Parámetros de calidad del material

- El cemento debe cumplir las normas NTE INEN 152 “Cemento portland. requisitos” según las características y necesidades del proyecto.
- Los agregados debe cumplir la norma NTE INEN 872 “Requisitos de los áridos para hormigón”.
- El agua debe cumplir con lo estipulado en la norma NTE INEN 1108 “Agua potable. Requisitos”.

- Al adicionar minerales como la ceniza volcánica y puzolánica, sea esta cruda o calcinada, debe cumplir las norma ASTM C 989 “Especificación estándar para cemento de escoria para uso en concreto y morteros”.
- Si se desea adicionar escorias de alto hornos granuladas molidas debe cumplir con la norma ASTM C 989 “Especificación Normalizada para Cemento de Escoria para Uso en Concreto y Morteros”.
- Los aditivos químicos deben cumplir con lo detallado en las normas ASTM C 494 “Especificación Normalizada de Aditivos Químicos para Concreto”.

Tolerancia en los asentamientos

- Cuando en las especificaciones del proyecto esta escrito como requisito un “máximo o un no exceder” se debe tomar las siguientes consideraciones:
 - a) Cuando los asentamientos son de 80 mm o menos, la tolerancia en más es 0 mm y en menos es 40 mm.
 - b) Cuando los asentamientos son mayores a 80 mm, la tolerancia en más es 40 mm y en menos es 60 mm.
- Cuando en el proyecto se establece asentamiento nominal, si el asentamiento es de 50 mm o menos la tolerancia es de ± 15 mm, para asentamientos entre 50 mm y 100 mm la tolerancia es de ± 25 mm y para asentamientos mayores a 100 mm la tolerancia es de ± 40 mm.

3.1.2 SELECCIÓN DE VARIABLES

3.1.2.1 NÚMERO DE PROBETAS POR VARIABLE

En la experimentación, siempre debe recurrirse, en primera instancia, a la elección del tamaño de la muestra a ser analizada y posteriormente tratada, que permitirá obtener datos confiables desde un punto de vista estadístico, con los que se comprobará la hipótesis planteada (Zimmermann, 2004).

Para el efecto de la misma se plantea la ecuación 3.1.

$$n = \frac{w - w^2 \cdot Z_{\beta} + 1.4 \cdot Z_{\alpha}^2}{w^2} \quad (3.1)$$

Donde:

W = Rendimiento mínimo esperado, eficiencia mínima esperada o diferencia mínima observable.

n = Número mínimo de muestras, observaciones o réplicas que deben efectuarse en el estudio.

Z_{α} = Valor correspondiente al nivel de confianza asignado “Riesgo de cometer un error tipo I. Tabla 3.1.

Z_{β} = Valor correspondiente al poder estadístico “Riesgo de cometer un error tipo II”. Tabla 3.2.

α	Nivel de Confianza ($1-\alpha$) (%)	Z_{α}
0,050	95,0	1,960
0,025	97,5	2,240
0,010	99,0	2,576

TABLA 3.1 Nivel de confianza alfa.

FUENTE: (Zimmermann, 2004).

TABLA 3.2 Niveles de confianza beta.

β	Poder estadístico ($1-\beta$) (%)	Z_{β}
0,20	80,0	0,842
0,15	85,0	1,036
0,10	90,0	1,282

FUENTE: (Zimmermann, 2004).

Debido a que en el experimento se espera un rendimiento alto “ W ”, se asume un valor de 97%. Se establece, que los resultados del experimento deberán tener una significación “ α ” de 0,05 o 5%, que corresponde a un nivel de confianza “ $1-\alpha$ ” del 0.95 o 95%, se considera suficiente tomar un poder estadístico del 80%. Obteniendo así un número de 5 probetas por variable como se muestra en la tabla 3.3.

TABLA 3.3 Número de probetas por variable.

W=	0,97	97%
Z β =	0,842	80%
Z α =	1,96	95%
n=	5	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

3.1.2.2 PARÁMETROS FIJOS EN EL EXPERIMENTO

Dentro del experimento existe muchas variables que pueden ser modificadas, se justificará, por qué determinados parámetros no se modificarán.

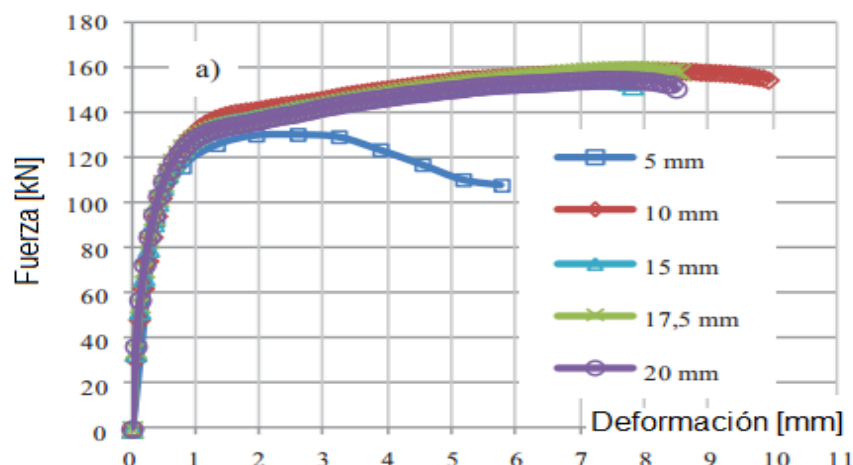
a) Geometría de las probetas

Se mantendrá constante el ancho, largo y espesor de las probetas, ya que la intención del análisis se basa en el estudio del conector de corte. Estas dimensiones se determinarán en la sección 3.1.3.

b) El espesor del conector

En el ensayo con título “Modelado usando el ensayo push-out en probetas de acero y hormigón”, los parámetros que variaron son el diámetro y la separación del conector de corte (Bouchair & Bujnak, 2012). El resultado que se va a analizar, será la variación de los diámetros en las probetas como se muestra en la figura 3.3.

FIGURA 3.3 Variación de diámetros de conectores de corte.



FUENTE: (Bouchair & Bujnak, 2012).

El dato que sobresale es la gráfica 3.3 “fuerza vs deformación” es la curva de 5 mm de diámetro del perno, usado como conector de corte. Entonces se puede apreciar, que para diámetros superiores a 5 mm el comportamiento es muy similar.

Si se analiza las áreas transversales de los diámetros de los conectores de corte usados en el experimento, se obtiene los resultados mostrados en la tabla 3.4.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

$$\sigma = s^2$$

Donde xi representa los valores referenciales tomando como 1 al mayor valor y los demás una fracción de este número.

TABLA 3.4 Análisis de desviación estándar del experimento Bouchair & Bujnak.

Conector tipo perno			
Diámetro	Área transversal		
mm	mm ²	xi	(xi- \bar{x}) ²
5	19,63	0,06	0,22
10	78,54	0,25	0,08
15	176,71	0,56	0,0012
17,5	240,53	0,77	0,06
20	314,16	1,00	0,22
Número de elementos (n)		5	
Media aritmética (\bar{x})		0,53	
Varianza (σ)		0,11	
Desviación estándar (s)		0,34	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Adicionalmente, se realiza un análisis idéntico con las áreas transversales de determinado perfil tipo ángulo, que se podría emplear como conector de corte, se obtiene los resultados en la tabla 3.5.

TABLA 3.5 Análisis de desviación estándar para ángulos de 30 mm de ala.

Conector tipo ángulo				
Ala	Espesor	Área transversal		
mm	mm	mm ²	x_i	$(x_i - \bar{x})^2$
30	3	300	0,50	0,05
30	4	400	0,67	0,0031
30	6	600	1,00	0,08
Número de elementos (n)			3	
Media aritmética (\bar{x})			0,72	
Varianza (σ)			0,04	
Desviación estándar (s)			0,21	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

La desviación estándar nos permite entender cuál es la dispersión entre los datos analizados con respecto a la media, si se compara la tabla 3.4 y la tabla 3.5 se muestra que, para perfiles tipo ángulos, la desviación estándar es menor, es decir, los datos están más cercanos.

Por lo tanto, debido a los espesores dispuestos por el mercado se estima que, variar los diámetros en 3, 4 y 6 mm no presentarían cambios aparentes, pero se sugiere que este sería un tema para próximos estudios, entonces se decide por lo antes expuesto, de mantener constante el espesor del perfil tipo ángulo.

c) Número de conectores en el eje transversal y eje longitudinal

En la sección 10.2 del EURICODIGO 4 “Ensayos de conectores”, en el eje transversal se colocan dos conectores de corte y para esto se usa un ancho para la probeta de 600 mm, pero para analizar el comportamiento del conector de corte en este ensayo, es preferible tener un solo conector de corte, para que todo el esfuerzo suministrado se concentre únicamente en este conector, si se coloca más de uno y por las irregularidades del ensayo, podría cargar un conector más que otro, generando resultados distintos.

En la misma sección del código, se plantea que en el eje transversal existan 2 conectores de corte separados 250 mm, recalando que es una losa maciza, en este ensayo la separación será impuesta por el material empleado, la separación entre conectores se mantendrá fija una distancia de 327 mm.

d) Tipo de cemento

Dentro del mercado, existen varios tipos de cementos como son:

- Tipo GU (Uso General)
- Tipo HE (Alta Resistencia Temprana)
- Tipo HS (Alta Resistencia a los Sulfatos)
- Tipo MS (Moderada Resistencia a los Sulfatos)
- Tipo MH (Mediano Calor de Hidratación)
- Tipo LH (Bajo Calor de Hidratación)

Este estudio técnico está dirigido a edificaciones donde, por lo general, se usa el cemento Tipo GU de uso común, analizar un posible cambio de tipo de cemento, no es de interés para este estudio.

e) Largo del conector de corte

Ya conocido que el espesor de la probeta no va a cambiar, se determina que el conector de corte tendrá una longitud única, la longitud del perfil tipo ángulo se determinará posteriormente en la sección 3.1.3.

3.1.2.3 PARÁMETROS VARIABLES EN EL EXPERIMENTO

Dentro del experimento es importante analizar el comportamiento de las probetas, si existe algún cambio dentro de las mismas como pueden ser: el espesor del conector, longitud del conector, posición en planta del conector, resistencia del hormigón, tipo de malla electrosoldada, tipo de soldadura, etc.

Por motivos económicos, tiempo y número de probetas, se determinó que, para el desarrollo del experimento, se analizará dos cambios de variables en las probetas.

a) Variación de posición del conector de corte en planta

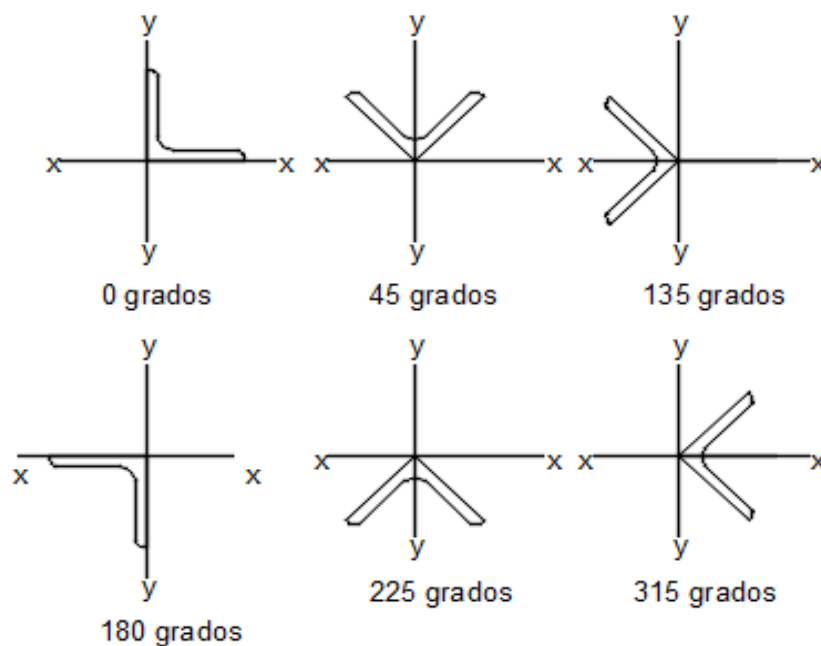
El flujo de corte matemáticamente es expresado de la siguiente manera:

$$q = \frac{V Q}{I}$$

De la expresión anterior se concluye que, la inercia es inversamente proporcional al flujo de corte, si se mantiene el ancho y el espesor del conector de corte. La forma de variar la inercia sería cambiando la posición en planta del conector de corte, es decir, cambiar el eje por donde se aplique la fuerza cortante, la variación de las inercias respecto a cada eje se apreciará en la figura 3.11 y numéricamente en la tabla 3.10.

Como se muestra en la figura 3.4, existen 6 formas de rotar el conector de corte, se escogió dos posiciones en las cuales existan diferencias entre las inercias y su colocación en obra no sea complicada, por lo cual, se escogió las posiciones a 0 y 45 grados respecto al eje "x".

FIGURA 3.4 Variación de la posición del conector de corte en planta.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

b) Cambio de resistencia del hormigón

En la ACI 318S-14 capítulo 19 “Concreto; Requisitos de diseño y durabilidad”, el valor de la resistencia a la compresión f'_c , que debe cumplir como mínimo para hormigón de uso general es 180 kg/cm^2 o 17 MPa y para pórticos especiales resistentes a momento es 210 kg/cm^2 o 21 MPa tomando en cuenta que se empleará hormigón con peso normal (ACI, 2014).

En la tabla 3.6 se muestra las resistencias a la compresión f'_c , las posiciones de los conectores de corte en planta y el número de probetas que se fabricarán.

TABLA 3.6 Variables empleadas y número de probetas.

f'_c (Kg/cm ²)	Ángulo(°)	Posición ángulos	# de probetas
210	0	L	5
210	45	Λ	5
280	0	L	5
280	45	Λ	5
Número de probetas			20

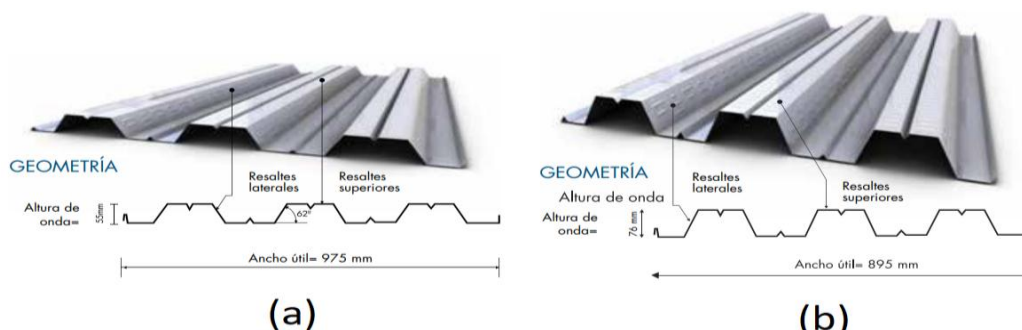
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

3.1.3 DIMENSIONAMIENTO ELEMENTOS EXPERIMENTALES

3.1.3.1 LÁMINA DECK

En el mercado ecuatoriano, se tiene de la fábrica NOVACERO el producto Novalosa 55, donde el 55 indica el alto de onda y la Novalosa 76 mm, donde de la misma forma indica el alto de onda de 76 mm. En la figura 3.5 se muestra los dos tipos de lámina deck que existen en el mercado.

Figura 3.5 Tipos de NOVALOSA.



FUENTE: (Novacero, 2017).

El tipo de lámina deck usado, es el detallado en la figura 3.5(a) ya que este tipo se usa comúnmente en entresijos de edificaciones, dando cumplimiento a las

tolerancias explicadas en la sección 3.1.1.1, se presenta en la tabla 3.7 las dimensiones de la placa colaborante mostrada en la figura 3.2.

TABLA 3.7 Dimensiones Steel Deck 55 mm

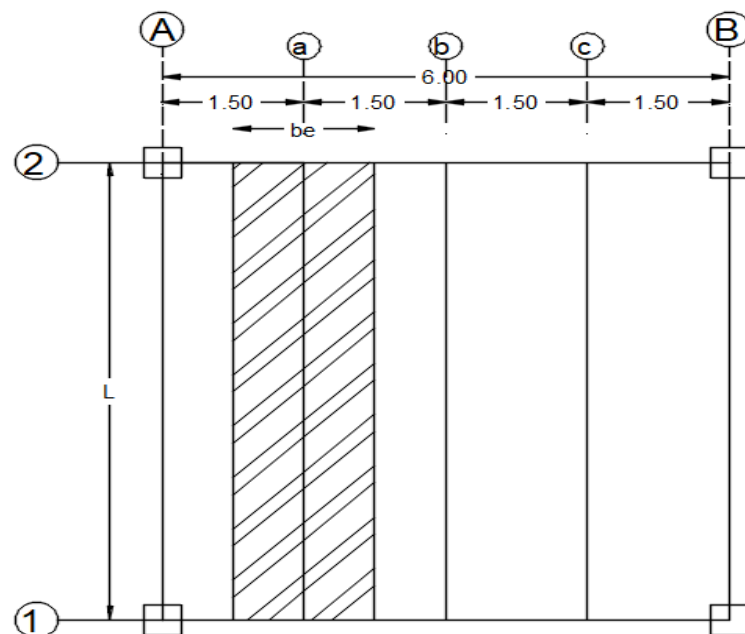
Descripción	h	e	Wu	W	Peso	I+	S+	S-	As
	mm	mm	mm	mm	kg/m ²	cm ⁴ /m	cm ³ /m	cm ³ /m	cm ² /m
L 40x4	55	0,76	650,00	975,00	7,47	39,37	12,43	13,29	9,51

FUENTE: (Novacero, 2017).

Para determinar el ancho de las probetas se empleó el EUROCÓDIGO 4 en la sección “Proyectos asistidos por ensayos”, donde se detalla que, “El ancho b de cada losa no debe ser mayor que el ancho efectivo de la losa de la viga”.

En base a la sección 5.4.1.2 del EUROCODIGO 4 con título “DISEÑO DE ESTRUCTURAS MIXTAS DE ACERO Y HORMIGÓN”, (Eurocódigo 4, 2014), se calculará el ancho efectivo con los parámetros impuestos detallados en la figura 3.6 y el desarrollo de los cálculos en la tabla 3.8.

FIGURA 3.6 Esquema ancho efectivo para viga compuesta.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 3.8 Cálculo del ancho efectivo.

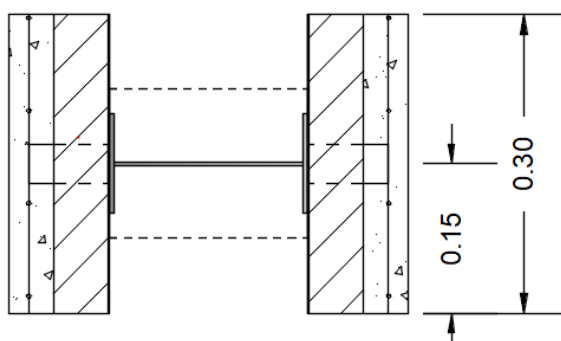
Descripción	Lado derecho	Lado izquierdo
-------------	--------------	----------------

1/8 de la luz entre vigas principales	$600 \text{ cm} / 8 = 75 \text{ cm}$	$600/8 = 75 \text{ cm}$
1/2 de la distancia entre viga secundaria	$150 \text{ cm} / 2 = 75 \text{ cm}$	$150 / 2 = 75 \text{ cm}$
Ancho efectivo individual	75 cm	75 cm
Ancho efectivo Total	150 cm	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En el ensayo realizado por Hurtado en Colombia, se usaron probetas de 30 centímetros de ancho, obtenido resultados favorables y probetas relativamente livianas. En el EUROCÓDIGO 4 no se determina un ancho mínimo para la probeta, se establece que usar 30 cm de ancho es conveniente. Con esta medida se puede extraer una cantidad exacta de elementos de una plancha completa y generar probetas livianas. En la figura 3.7 y en la figura 3.9 se muestra el ancho de la probeta (Maritzabel Molina, 2011).

FIGURA 3.7 Ancho de la probeta.

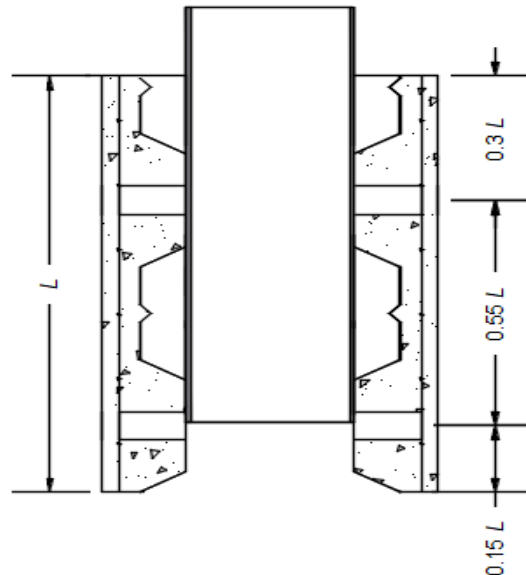


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para determinar el largo de la probeta se toma el criterio del EUROCÓDIGO 4, donde se detalla que, “La longitud L de cada losa debe estar relacionada con la separación longitudinal de los conectores en la estructura mixta”. Por las dimensiones de la lámina deck, la separación entre conectores es un valor constante de 33 cm y para usar una sola lámina deck, se tiene la longitud máxima de 975 mm es decir 97.5 cm. Entonces, se propone para la probeta una longitud de 60 cm, aprovechando la longitud máxima de la lámina y la separación de los

conectores. Para cumplir con el EUROCODIGO 4 en la figura 3.8 se muestra la relación entre la separación de los conectores de corte y la longitud total de la probeta.

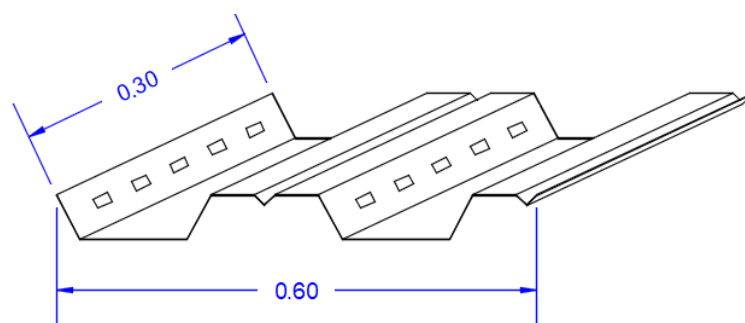
FIGURA 3.8 Relación entre conectores de corte y longitud total



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para la elaboración de las probetas se fragmentará la placa colaborante, de tal forma que se obtengan elementos con un ancho de 30 cm o 0.30 m y largo de 60 cm o 0.60 m como se detallada en la figura 3.3.

FIGURA 3.9 Dimensiones lámina deck usada en el experimento.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

3.1.3.2 PERFIL TIPO ÁNGULO USADO COMO CONECTOR DE CORTE

Como se demuestra en la sección 3.1.2.2, “espesor de conector”, se asumirá un espesor constante del ángulo. De la norma INEN 1623 “Perfiles abiertos de acero

conformados en frío para uso estructural. requisitos e inspección” se presenta en la tabla 3.10 los ángulos existentes en el mercado.

FIGURA 3.10 Dimensiones de perfiles tipo ángulo según INEN 1623.

Descripción	b	h	E	Área	Área
	mm	mm	Mm	cm2	mm2
L 30 x 2	30	30	2	1,13	113
L 30x 3	30	30	3	1,63	163
L 30x 4	30	30	4	2,1	210
L 40x 2	40	40	2	1,33	133
L 40x 3	40	40	3	2,23	223
L 40x 4	40	40	4	2,9	290
L 40x 5	40	40	5	3,54	354
L 50x 2	50	50	2	1,93	193
L 50x 3	50	50	3	2,83	283
L 50x 4	50	50	4	3,7	370
L 50x 5	50	50	5	4,54	454
Media aritmética			253,27		

FUENTE: (INEN-1623, 2013).

Para tener un dato representativo de toda la muestra se calcula la media obteniendo un valor de 253,27 mm², entonces se determinarán las medias individualmente de cada tipo de ángulo, detallado en colores, para poder escoger el perfil tipo ángulo que tenga la media lo más cercana a la media global y mediante este proceso se determina el ancho de ala empleado en la probeta. En la tabla 3.11 se obtendrá las medias individuales de cada clase de perfil. Lo que lleva usar un perfil tipo ángulo de alas iguales de 40 mm.

TABLA 3.9 Análisis de medias por tipo de material.

Descripción	b	h	E	Área	Área
	mm	mm	mm	cm2	mm2
L 40x 2	40	40	2	1,33	133
L 40x 3	40	40	3	2,23	223
L 40x 4	40	40	4	2,9	290
L 40x 5	40	40	5	3,54	354
Media aritmética			250		
Descripción	b	h	E	Área	Área
	mm	mm	mm	cm2	mm2
L 30 x 2	30	30	2	1,13	113

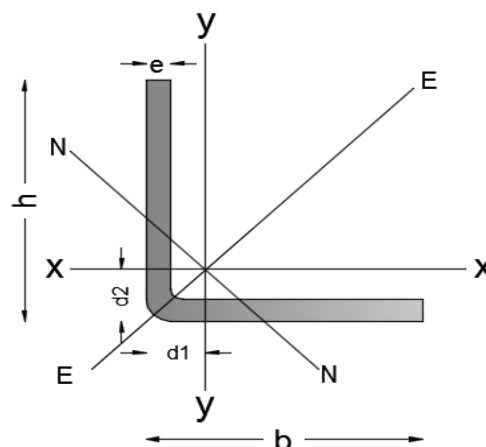
L 30x 3	30	30	3	1,63	163
L 30x 4	30	30	4	2,1	210
Media aritmética			162		
Descripción	b	h	E	Área	Área
	mm	mm	mm	cm2	mm2
L 50x 2	50	50	2	1,93	193
L 50x 3	50	50	3	2,83	283
L 50x 4	50	50	4	3,7	370
L 50x 5	50	50	5	4,54	454
Media aritmética			325		

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Ya conocido el ancho de 40 mm, para determinar el espesor del perfil tipo ángulo, si se observa dentro de los ángulos de 40 mm se tiene 4 opciones, se optó por usar el espesor de 4 mm, ya que este ángulo posee un área cercana a la media global y la media de ángulos de 40 mm.

Entonces el perfil tipo ángulo usado es L 40x4, en la figura 3.11 se detalla la nomenclatura usada para detallar las dimensiones del perfil tipo ángulo y en la tabla 3.10. se determinan los valores de las dimensiones y las propiedades geométricas.

FIGURA 3.11 Esquema del ángulo.



FUENTE: (DIPAC, 2011).

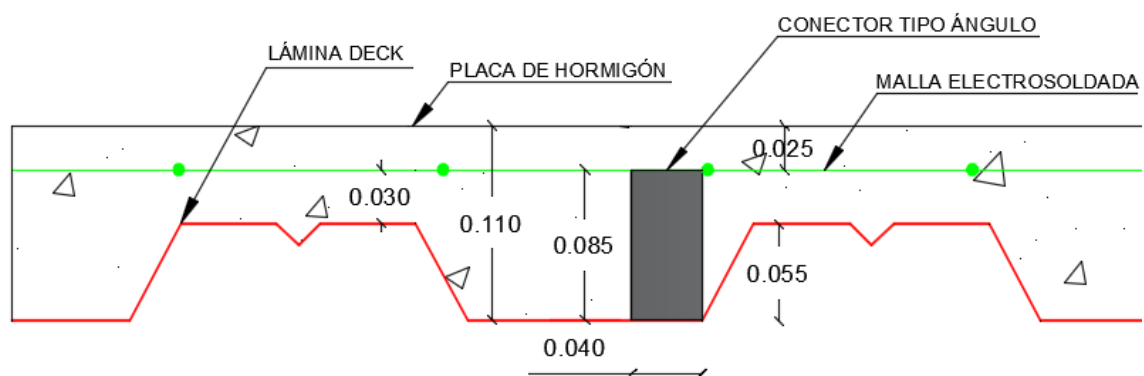
TABLA 3.10 Dimensiones y propiedades mecánicas del ángulo L40x4.

Descripción	b mm	h mm	e mm	Masa Kg/m	Área cm ²	d1 cm	d2 cm	Ángulo a (°)	Eje X-X			Eje Y-Y			Eje E-E			Eje N-N		
									lx	Wx	rx	ly	Wy	ry	lu	Wu	ru	lv	Wv	rv
									cm ⁴	cm	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³	cm ⁴	cm	cm ³
L 40x4	40	40	4	2.28	2.91	1.20	1.20	45.00	4.44	1.59	1.24	4.44	1.59	1.24	7.23	2.59	1.59	1.55	1.10	0.73

FUENTE: (DIPAC, 2011).

Para determinar el largo del conector de corte se basó en la NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCION (NEC15, 2015) donde se detalla que, “Los conectores pueden ser soldados a través de la placa colaborante de acero o puede soldarse directamente a la sección de acero. Después de su instalación, deben extenderse no menos que 38 mm por sobre el borde superior de la placa colaborante de acero y debe haber por lo menos 13 mm de recubrimiento de concreto por sobre la parte superior de los conectores instalados”, entonces para dar cumplimiento a esta norma se desarrolló la figura 3.12 donde se detalla la longitud del conector.

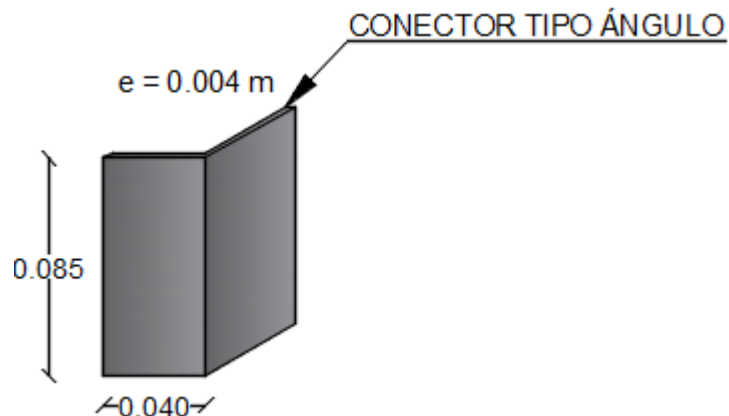
FIGURA 3.12 Dimensionamiento del conector y la losa de la probeta.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se usarán segmentos de 8.5 cm del perfil tipo ángulo de lados iguales L 40x4 con las dimensiones y forma detallada en la figura 3.13.

FIGURA 3.13 Dimensiones conector de corte usado en el experimento.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

3.1.3.3 MALLA ELECTROSOLDADA

La colocación de la malla electrosoldada, por lo general, evita fisuras, entonces para determinar la malla electrosoldada a usarse, se tomará las cuantías para el acero de temperatura.

En la sección 7.12.2.1 del código ACI 18S-14, se obtiene la cuantía de acero mínimo por temperatura, en losas donde se empleen barras corrugadas o refuerzo electrosoldado de alambre Grado 420, el valor de 0.0018 (ACI 318, 2014). Para poder determinar la cantidad de acero en base a la cuantía mínima por temperatura se emplea la ecuación (3.3).

$$A_s = 0,0018 \cdot b \cdot t \quad (3.3)$$

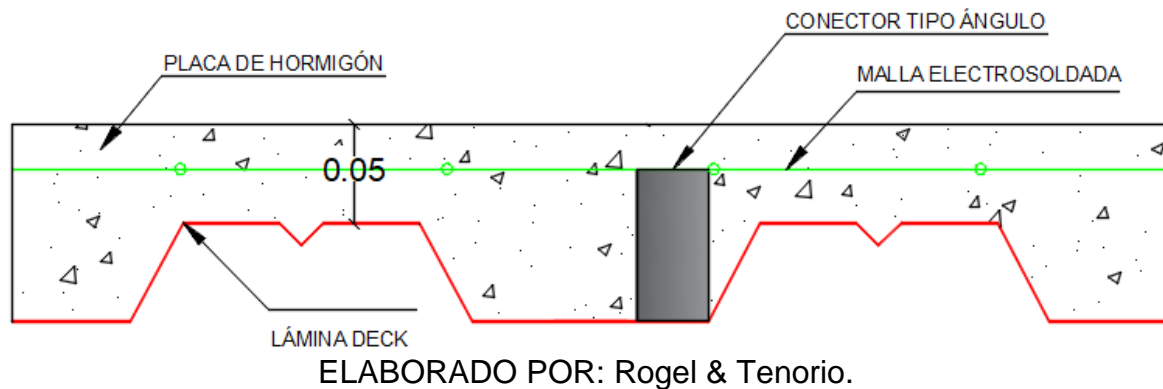
Donde:

b = Ancho a analizar, cm

t = Espesor de la losa por encima de la cresta, cm

Para el ancho se asume 1 m es decir 100 cm y en la figura 3.14 se determina el valor de t.

FIGURA 3.14 Espesor de la losa sobre la cresta.



$$A_s = 0,0018 \cdot 100 \cdot 5$$

$$A_s = 0,90 \text{ cm}^2 \rightarrow (5 \text{ } \varnothing 5\text{mm})$$

$$A_s = \varnothing 5\text{mm} @ 20 \text{ cm}$$

La máxima separación de varillas es 5 veces espesor de la losa por encima de la cresta de la lámina deck.

$$S_{max\text{varillas}} = 5 \cdot 5 = 25 \text{ cm}$$

El material usado es R – 131, mostrado en la tabla 3.11, donde se observan las dimensiones y su peso.

TABLA 3.11 Dimensiones de malla electrosoldada.

Descripción	Diámetro de varilla mm	Apertura cm	Peso kg/unidad	Peso kg/m ²
R - 131	5	15 x 15	30,99	2,07

FUENTE: (Novacero, 2017).

3.1.3.4 VIGA METÁLICA

Para dimensionar la viga entre las losas primero se debe estimar la carga máxima que en teoría soportaría la viga, para que fallen las probetas que tengan el hormigón de mayor resistencia. Como se mencionó en la sección 3.1.2.3, el hormigón con mayor resistencia es de 280 kg/cm².

Determinación de capacidad máxima estimada para las probetas

Se determinará la capacidad resistente usando las fórmulas detalladas a continuación:

- En la sección 18.2a del código ANSI/ AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction, 2016), se analizará la resistencia nominal de un perno de corte a través de la siguiente ecuación (3.4):

$$Q_n = 0,50 \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{Ec \cdot f'_c} \leq R_g \cdot R_p \cdot A_{sa} \cdot Fu \quad (3.4)$$

Donde:

A_{sa} = Área de la sección transversal del perno de corte, cm^2

Ec = Módulo de elasticidad del concreto, kg/cm^2

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, kg/cm^2

Fu = Resistencia mínima a la tracción especificada para el conector de corte, kg/cm^2

R_g = Coeficiente para considerar efecto de grupo

R_p = Factor de efecto posicional debido al conector de corte

Desarrollo:

El área de la sección transversal del conector de corte o ángulo se obtiene de la tabla 3.10.

$$A_{sa} = 2,91 \text{ cm}^2$$

En la sección 19.2.2 de la norma American Concrete Institute (ACI 318, 2014), para el cálculo del módulo de elasticidad para hormigón de peso normal, se usará la ecuación (3.5).

$$Ec = 4700\sqrt{f'_c} \quad (3.5)$$

Donde:

Ec = Módulo de elasticidad del concreto, MPa

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, MPa

Desarrollo:

$$f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2 = 27,459 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700\sqrt{27,459} = 24628,628 \text{ MPa} = 251312,529 \text{ kg/cm}^2$$

En la sección I8.2a del código American Institute of Steel Construction (ANSI/AISC_360, 2016), se analizará los valores de R_g y R_p usando la nota de esta sección como se presenta en la tabla 3.12.

TABLA 3.12 Valores de R_g y R_p .

Condición	R_g	R_p
Plancha orientada perpendicularmente al perfil de acero. Número de conectores ocupando el mismo nervio.		
1	1,0	0,6 ^(b)
2	0,85	0,6 ^(b)
3 o más	0,7	0,6 ^(b)
(b) este valor puede aumentarse a 0,75 cuando $e_{\text{mid-ht}} > 50 \text{ mm}$		

(ANSI/AISC_360, 2016).

Para este análisis se usará el caso de placa colaborante perpendicular al perfil de acero con un conector por nervadura.

$$R_g = 1$$

$e_{\text{mid-ht}}$ = Distancia desde el borde del cuerpo del perno de anclaje al alma de la placa de acero, cm

$$R_p = 0.75$$

$$Q_n = 0,50 \cdot 2,91 \cdot \sqrt{251312,529 \cdot 280} \leq 1 \cdot 0,75 \cdot 2,91 \cdot 5620$$

$$Q_n = 12205317 \text{ kg} \leq 12265,65 \text{ kg}$$

$$Q_n = 13,426 \text{ T}$$

- Ecuación formulada por Hurtado usada para el diseño de secciones compuestas, con conectores de corte tipo perno y presenta su formulación para estimar la carga máxima por corte, como se presenta en la ecuación (3.6):

$$\sum Q_n = 0,9 \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot n \cdot \phi} \quad (3.6)$$

Donde:

$\sum Q_n$ = Capacidad resistente del grupo de conectores tipo perno, kN

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, MPa

f'_c = Resistencia a la compresión de hormigón, MPa

n = Número de conectores del sistema analizado

\emptyset = Diámetro del conector, m

Desarrollo:

Se cambia la sección de acero obtenida del conector de corte tipo ángulo a un diámetro equivalente.

$$A_s = \pi r^2 = 2,91 \text{ cm}^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A_s}{\pi}} = \sqrt{\frac{2,91}{\pi}} = 0,962 \text{ cm} = 0,00962 \text{ m}$$

$$\emptyset = 0,019 \text{ m}$$

$$\sum Q_n = 0,9 \cdot \sqrt{24628,628 \cdot 27,459 \cdot 2 \cdot 0,019}$$

$$\sum Q_n = 144,277 \text{ kN} = \mathbf{14,70 T}$$

- Además, Hurtado al analizar la proporcionalidad entre la carga de falla y la separación entre los tornillos, encontró la ecuación (3.7):

$$Q_{push-out} = 0.7 \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot S} \quad (3.7)$$

Donde:

$Q_{push-out}$ = Carga de falla de la probeta de corte directo, kN

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, MPa

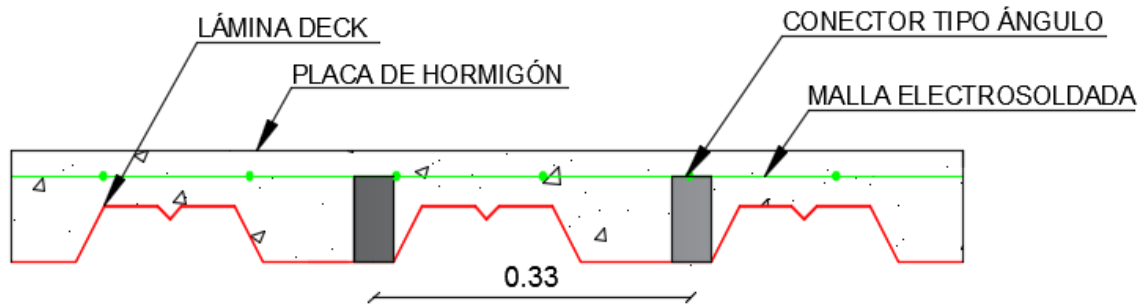
f'_c = Resistencia a la compresión de hormigón, MPa

S = Separación entre conectores, m

Desarrollo:

La separación entre conectores de corte es de 0,33 m como se muestra en la figura 3.15.

FIGURA 3.15 Separación de conectores



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$Q_{push-out} = 0,7 \cdot \sqrt{24628,628 \cdot 27,459 \cdot 0,33}$$

$$Q_{push-out} = 330,687 \text{ kN} = \mathbf{33,697 \text{ T}}$$

- García y Molina se planteó como formulación para estimar la carga máxima por cortante en cada conector tipo perno la ecuación (3.8):

$$Q_n = n \cdot A_{sa} \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot S} \quad (3.8)$$

Donde:

A_{sa} = Área de la sección transversal del perno de corte, mm

E_c = Módulo de elasticidad del concreto, MPa

f'_c = Resistencia a la compresión de hormigón, MPa

S = Separación entre conectores, m

n = Número de conectores del sistema analizado

$$Q_n = 2 \cdot 291 \cdot \sqrt{24628,628 \cdot 27,459 \cdot 0,33}$$

$$Q_n = 274942,845 \text{ N} = \mathbf{28,035 \text{ T}}$$

De los resultados de las ecuaciones 3.4, 3.6, 3.7 y 3.8, se tomará la carga máxima con la cual se diseñará el elemento a compresión.

$$Q_i = 33,76 \text{ T}$$

En base a la sección B con título “REQUISITOS DE DISEÑO” y la sección E con título “DISEÑO DE MIEMBRO EN COMPRESIÓN” del código ANSI/ AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction, 2016), se procederá a diseñar el elemento a compresión.

Datos para el diseño del elemento a compresión

- Carga de diseño 33,76 T
- Longitud del elemento a compresión 60 cm o 0,60 m.

En la figura 3.16, se detalla la vista lateral de la viga tipo “I” donde se observa el espesor del ala, la longitud del alma y el largo del perfil.

FIGURA 3.16 Longitud de elemento a compresión.

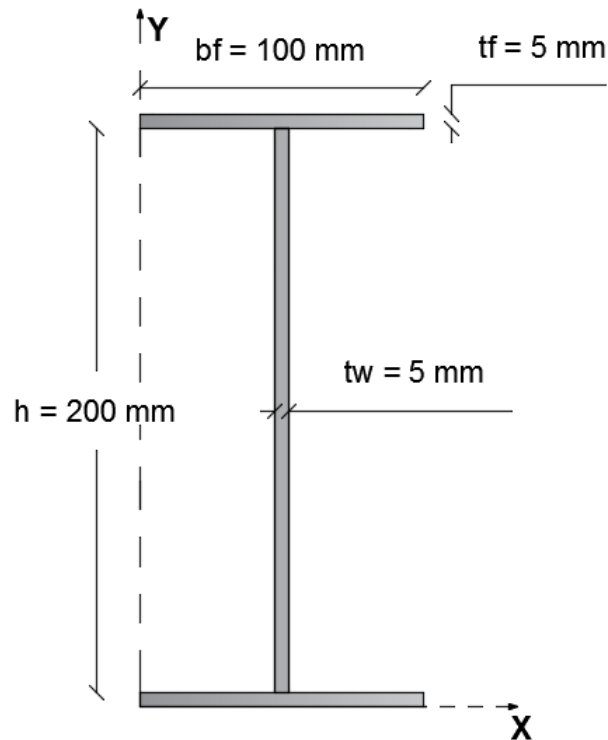


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- La sección propuesta se la presenta en la figura 3.17.

FIGURA 3.17 Sección propuesta como elemento a compresión.

VISTA FRONTAL VIGA TIPO "I"



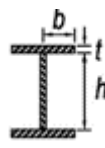
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Clasificación de la sección según pandeo local.

En la sección B4.1b del código ANSI/ AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction, 2016), se analizará si la viga propuesta es esbelta o No-esbelta. Para esto se usará la tabla B4.1a del AISC-360 los casos usados se muestran en las tablas 3.13 y 3.14.

- a) Para elementos no atiesados (ala de la sección)

TABLA 3.13 Clasificación de la sección según pandeo local.

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto-No Esbelto)	Elemento
2	Alas de perfil I soldado y planchas o ángulo conectados a secciones soldadas	d/t	$0.64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}}$	

FUENTE: (ANSI/AISC_360, 2016).

Razón Ancho-Espesor

$$\frac{b}{t} = \frac{W/2}{t_f} = \frac{50 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} = 10$$

Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto –No esbelto)

$$\lambda_r = 0,64 \sqrt{\frac{k_c \cdot E}{F_y}}$$

Donde:

k_c = Coeficiente para elementos no atiesados

E = Módulo de elasticidad del acero, kg/cm²

F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para el tipo de acero empleado, kg/cm²

Desarrollo:

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}} = \frac{4}{\sqrt{\frac{200}{4}}} = 0,57 \quad 0,35 \leq K_c \leq 0,76$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2$$

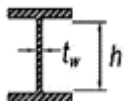
$$F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\lambda_r = 0,64 \sqrt{\frac{0,57 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{2530}} = 13,92$$

Como en el ala de la sección a compresión, la razón ancho – espesor no sobrepasó a λ_r es no esbelta.

b) Para elementos atiesados (alma de la sección)

TABLA 3.14 Clasificación de la sección según pandeo local

Caso	Descripción del elemento	Razón Ancho-Espesor	Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto-No Esbelto)	Elemento
5	Almas de secciones I doble simetría y secciones canal	d/t	$1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

FUENTE: (ANSI/AISC_360, 2016).

Razón Ancho-Espesor

$$\frac{h}{t_w} = \frac{200}{5} = 40$$

Razón Límite Ancho-Espesor λ_r (Esbelto –No esbelto)

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

E = Módulo de elasticidad del acero, Kg/cm²

F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para el tipo de acero empleado, kg/cm²

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \quad F_y = 2530 \text{ Kg/cm}^2$$

Desarrollo:

$$\lambda_r = 1,49 \sqrt{\frac{2,1 \cdot 10^6}{2530}} = 42,927$$


Como en el alma de la sección a compresión, la razón ancho – espesor no sobrepasó a λ_r es no esbelta.

Como el ala y el alma son no esbeltas la sección transversal es no esbelta.

Diseño de miembro a compresión

De la sección E del código ANSI/ AISC 360-16 (American Institute of Steel Construction, 2016), se presenta un fragmento de la tabla E1.1 en la tabla 3.15 para una sección de doble simetría y de tipo “I”.

TABLA 3.15 Aplicaciones de las secciones del Capítulo E AISC-360.

TABLA NOTA E1.1				
Aplicaciones de las Secciones del Capítulo E				
Sección transversal	Sin elementos esbeltos		Con elementos esbeltos	
	Secciones en Capítulo E	Estados Límites	Secciones en Capítulo E	Estados Límites
	E3 E4	FB TB	E7	LB FB TB

FUENTE: (ANSI/AISC_360, 2016).

Por lo tanto, se debe revisar FB “Pandeo por Flexión” y TB “Pandeo Torsional”

Pandeo por flexión de miembros sin elementos esbeltos

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{K \cdot L}{r}\right)^2} \quad \frac{K \cdot L}{r} \leq 4,71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (i) \quad \text{o} \quad \frac{F_y}{F_e} \leq 2,25 \quad (ii)$$

Donde:

K = Factor de longitud efectiva

L = Longitud del elemento a compresión, cm

r = Radio de giro sección transversal, cm

E = Módulo de elasticidad del acero, kg/cm²







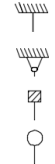




F_y = Esfuerzo mínimo de fluencia especificada para el tipo de acero empleado, kg/cm²

F_e = Esfuerzo de pandeo elástico, kg/cm²

Desarrollo de la fórmula (i)

El factor de longitud efectiva “K” se lo determina analizando la tabla 3.16.

TABLA 3.16 Factor de longitud efectiva.

Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna.	a)	b)	c)	d)	e)	f)
						
Valor de K Teórico.	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valor de K recomendados para el diseño cuando las condiciones reales son parecidas a las ideales.	0,65	0,8	1,2	1,0	2,1	2,0
Símbolos para las condiciones de extremo.	 <ul style="list-style-type: none">  Rotación y traslación impedidos  Rotación libre y traslación impedidos  Rotación impedida y traslación libre  Rotación y traslación libres 					

FUENTE: (ANSI/AISC_360, 2016).

El valor escogido de K será de 1, el cual se corresponde al caso de doble articulación, en la parte superior por el marco de carga del laboratorio se simula una articulación y en la parte inferior por no estar en contacto con el suelo, pero lateralmente limitado por las losas.

$$K = 1$$

$$E = 2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

$$Fy = 2530 \text{ kg/cm}^2$$

$$L = 60 \text{ cm}$$

$$r = 2,044 \text{ cm}$$

Cálculo de radio de giro "r" de viga tipo "I"

a) Cálculo del área de sección

$$A = 2 \cdot (bf \cdot tf) + (h \cdot tw)$$

$$A = 2 \cdot (100 \cdot 5) + (200 \cdot 5)$$

$$A = 1000 + 1000$$

$$A = 2000 \text{ mm}^2$$

b) Posición del centro de Gravedad

Posición para eje x (Aplicando la simetría se encuentra en el centro)

Posición para eje y (Aplicando la simetría se encuentra en el centro)

Coordenadas de CG (centro de gravedad)

$$X = 50 \text{ mm}$$

$$Y = 105 \text{ mm}$$

c) Inercia

Cálculo I_{yy}

$$I_{ya} = \frac{tf \cdot w^3}{12} + A1 \cdot (x0 - x1)^2$$

$$I_{ya} = \frac{5 \cdot 100^3}{12} + 500 \cdot (50 - 50)^2 = 416666,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{yb} = \frac{(h - 2 \cdot tf) \cdot tw^3}{12} + A2 \cdot (x0 - x2)^2$$

$$I_{yb} = \frac{(210 - 2 \cdot 5) \cdot 5^3}{12} + 1000 \cdot (50 - 50)^2 = 2083,33 \text{ mm}^4$$

$$I_{yc} = \frac{tf \cdot w^3}{12} + A3 \cdot (x0 - x3)^2$$

$$I_{yc} = \frac{5 \cdot 100^3}{12} + 500 \cdot (50 - 50)^2 = 416666,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{yy} = I_{ya} + I_{yb} + I_{yc} = 416666,67 + 2083,33 + 416666,67 = 835416,67 \text{ mm}^4$$

Cálculo I_{xx}

$$I_{xa} = \frac{w \cdot tf^3}{12} + A1 \cdot (y0 - y1)^2$$

$$I_{xa} = \frac{100 \cdot 5^3}{12} + 500 \cdot (105 - 2,5)^2 = 5254166,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{xb} = \frac{tw \cdot (h - 2 \cdot tf)^3}{12} + A2 \cdot (y0 - y2)^2$$

$$I_{xb} = \frac{5 \cdot (210 - 2 \cdot 5)^3}{12} + 1000 \cdot (105 - 105)^2 = 3333333,33 \text{ mm}^4$$

$$I_{xc} = \frac{w \cdot tf^3}{12} + A3 \cdot (y0 - y3)^2$$

$$I_{xc} = \frac{100 \cdot 5^3}{12} + 500 \cdot (105 - 207,5)^2 = 5254166,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{xx} = I_{3a} + I_{3b} + I_{3c} = 5254166,67 + 3333333,33 + 5254166,67$$

$$I_{xx} = 13841666,67 \text{ mm}^4$$

Por lo tanto, se tiene las inercias con respecto a cada dirección del elemento metálico, siendo estos:

$$I_{yy} = 835416,67 \text{ mm}^4$$

$$I_{xx} = 13841666,67 \text{ mm}^4$$

Al tener estos resultados, se escoge el valor de la I_{yy} , la cual se puede observar que es la menor, siendo esta la dirección más débil en cuanto a inercia se refiere.

d) Radio de Giro

$$Rg2 = \sqrt{\frac{I_{2-2}}{A}}$$

$$Rg2 = \sqrt{\frac{835416,67}{2000}}$$

$$r = Rg2 = 20,44 \text{ mm} = 2,044 \text{ cm}$$

Para el pandeo flexural:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6}{\left(\frac{1 \cdot 60}{2,044}\right)^2}$$

$$F_e = 24,054 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

Resistencia a compresión por pandeo torsional de miembros sin elementos esbeltos.

Para elementos de simetría doble

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 \cdot E \cdot C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

Donde:

E = Módulo de elasticidad del acero, Kg/cm²

C_w = constante de alabeo, cm⁴

K_z = factor de longitud efectiva para pandeo torsional respecto al eje longitudinal

G = módulo elástico de corte del acero, Kg/cm²

J = constante torsional, cm⁴

I_x = momento de inercia en torno de eje x, cm⁴

I_y = momento de inercia en torno de eje y, cm^4

Constante de alabeo

$$C_w = \frac{I_y (h_o)^2}{4}$$

Donde h_o es la distancia entre los centroides de las alas

$$C_w = \frac{835416,67 \cdot (205)^2}{4}$$

$$C_w = 8,777 \cdot 10^9 \text{ mm}^6 = 8777,086 \text{ cm}^6$$

$K_z = 1$

Módulo elástico de corte del acero

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \nu)}$$

$$G = \frac{2,1 \cdot 10^6}{2 \cdot (1 + 0,3)}$$

$$G = 807692,308 \text{ kg/cm}^2$$

Constante torsional

$$k_1 = w \cdot t f^3 \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \left(\frac{t f}{w} \right) \left(1 - \frac{t f^4}{12 \cdot w^4} \right) \right]$$

$$k_1 = 100 \cdot 5^3 \cdot \left[\frac{1}{3} - 0,21 \left(\frac{5}{100} \right) \left(1 - \frac{5^4}{12 \cdot 100^4} \right) \right] = 4035,42 \text{ mm}^4$$

$$k_2 = \frac{(h - 2 \cdot t f) \cdot t w^3}{3}$$

$$k_2 = \frac{(210 - 2 \cdot 5) \cdot 5^3}{3} = 8333,33 \text{ mm}^4$$

$$\alpha = 0,15 \cdot \left(\frac{t w}{t f} \right) = 0,15 \cdot \left(\frac{5}{5} \right) = 0,15$$

$$D = \frac{tf^2 + \frac{tw^2}{4}}{tf}$$

$$D = \frac{5^2 + \frac{5^2}{4}}{5} = 6,25 \text{ mm}^4$$

$$J = 2 \cdot k1 + k2 + 2 \cdot \alpha \cdot D^4$$

$$J = 2 \cdot 4035,42 + 8333,33 + 2 \cdot 0,15 \cdot 6,25^4$$

$$J = 16861,93 \text{ mm}^4 = 1,686 \text{ cm}^4$$

$$I_{yy} = 835416,67 \text{ mm}^4 = 83,54 \text{ cm}^4$$

$$I_{xx} = 13841666,67 \text{ mm}^4 = 1384,167 \text{ cm}^4$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 E C_w}{(K_z L)^2} + GJ \right] \frac{1}{I_x + I_y}$$

$$F_e = \left[\frac{\pi^2 \cdot 2,1 \cdot 10^6 \cdot 8777,086}{(1 \cdot 60)^2} + 807692,308 \cdot 1,686 \right] \frac{1}{83,54 + 1384,167}$$

$$F_e = 35,27 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2$$

Se selecciona como F_e en menor de los obtenidos por FB y TB. De esta forma queda:

$$F_e = 24,054 \cdot 10^3 \text{ kg/cm}^2 \text{ (Pandeo flexural "FB")}$$

El esfuerzo de pandeo por flexión (F_{cr}) se determina como se expone a continuación:

A)

$$\frac{F_y}{F_e} \leq 2,25$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y = \left[0,658 \lambda_c^2 \right] \cdot F_y$$

B)

$$\frac{F_y}{F_e} > 2,25$$

$$F_{cr} = 0,877 \cdot F_e$$

Entonces:

$$\frac{2530}{24054} \leq 2,25$$

0,105 \leq 2,25 Trabajo inelástico

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{F_y}{F_e} \right] \cdot F_y$$

$$F_{cr} = \left[0,658 \frac{2530}{24,054 \cdot 10^3} \right] 2530$$

$$F_{cr} = 2421,038 \text{ kg/cm}^2$$

Cálculo de la resistencia a la compresión nominal

$$P_n = F_{cr} A_g$$

 F_{cr} =Esfuerzo crítico de pandeo por flexión, kg/cm² A_g = Área bruta de la sección transversal del miembro, cm²

El área bruta de la sección transversal se calculó previamente en el radio de giro.

$$A_g = 2000 \text{ mm}^2 = 20 \text{ cm}^2$$

$$P_n = 2421,038 \cdot 20 = 48420,76 \text{ kg}$$

Resistencia de diseño a compresión

$$\phi P_n = 0,9 \cdot 48420,76 \text{ kg}$$

$$\phi P_n = 43578,68 \text{ kg} = 43,578 \text{ T}$$

 Q_i = es el valor teórico máximo que se aplicará en el ensayo

$$Q_i = 33,76 T$$

$$Q_i \leq \phi P_n$$

$$33,76 T \leq 43,58 T \quad Ok$$

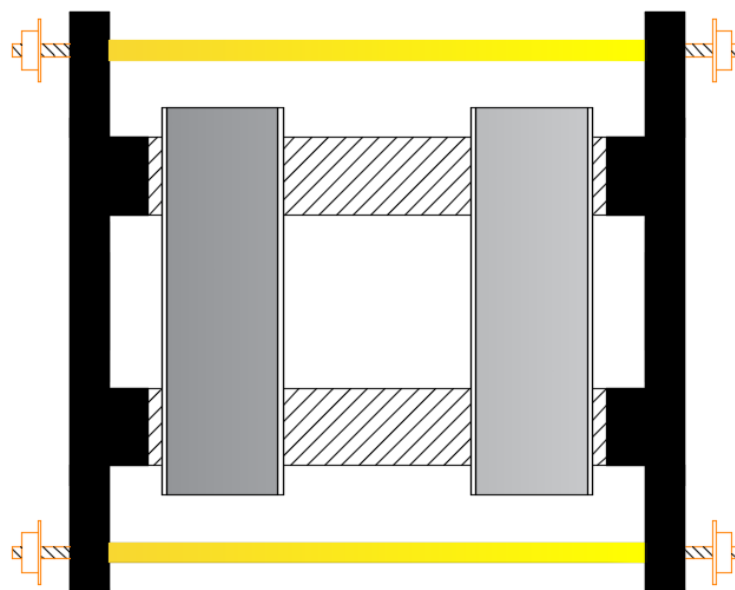
Por lo tanto, la sección no fallará por pandeo a flexión o por pandeo torsional durante el ensayo.

3.1.3.5 ELEMENTOS DE CONTROL PARA EL ENSAYO

Mecanismo de contención lateral

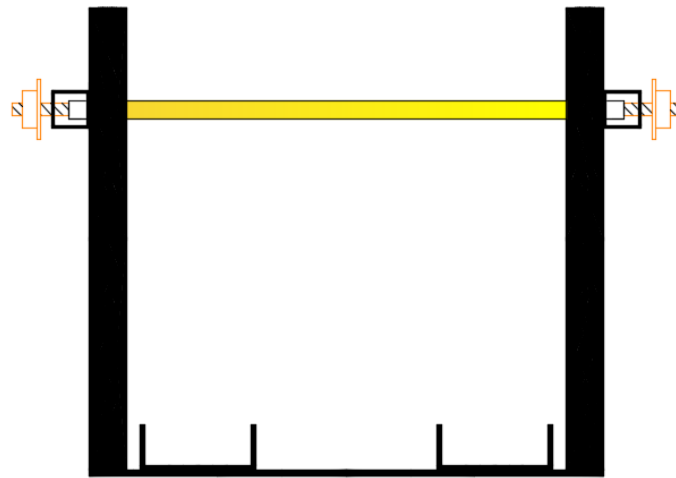
Este elemento restringe el posible pandeo excesivo de las losas de hormigón, en la figura 3.18 se presenta la vista superior y en la figura 3.19 se presenta la vista lateral.

FIGURA 3.18 Vista superior contención lateral.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 3.19 Vista frontal del sistema de contención lateral

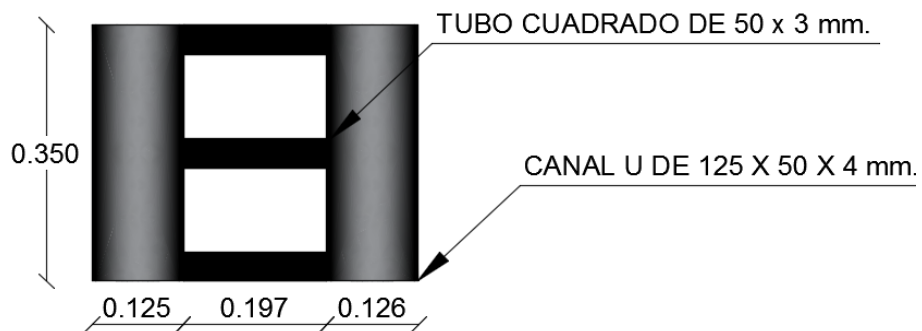


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Mecanismos de contención para la base

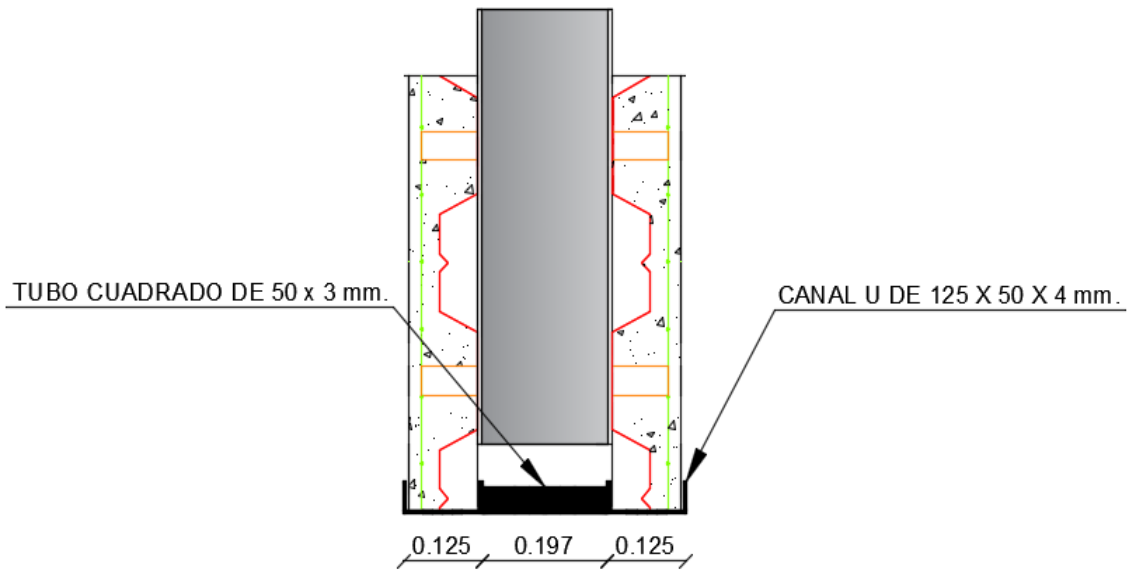
Este elemento restringirá el desplazamiento lateral de la parte inferior de las losas, debido a la presión ejercida por el marco de carga hacia la probeta, esta presión genera un empuje lateral, el cual debe ser contrarrestado. En la figura 3.20 se presenta la vista superior y en la figura 3.21 se presenta la vista lateral.

FIGURA 3.20 Vista superior contención para la base



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

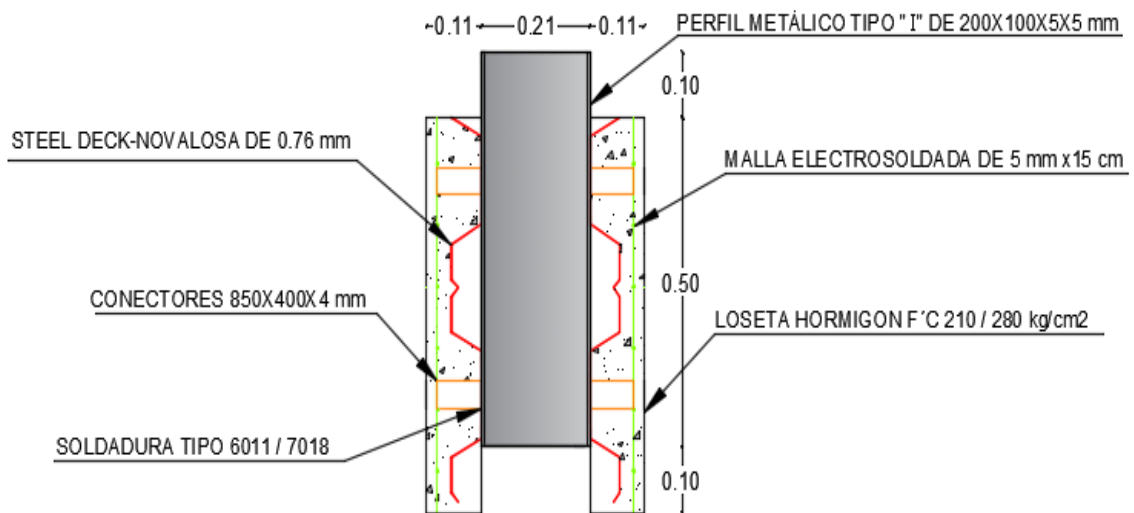
FIGURA 3.21 Vista frontal de la contención para la base



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la figura 3.22 se muestra la forma y posición de todos los elementos que conforman el ensayo.

FIGURA 3.22 Diseño definitivo de la probeta



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

DETALLAMIENTO DEL PROCESO DE ENSAYO

3.1.4 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este ensayo es determinar que los conectores de corte empleados permitan que la probeta se comporte de forma monolítica, como se muestra en la sección 2.1 “Construcciones Compuestas”. Además, se determinará la carga máxima o también denominada carga de rotura que soportará el sistema y por último se analizará el tipo de falla que se obtenga en cada probeta.

3.1.5 COMPORTAMIENTO COMO SECCIÓN COMPUESTA

Para la verificación del comportamiento monolítico de la sección compuesta se usará tres transductores lineales de deformación “LDVT”, el primero se ubicará en la parte superior de la losa izquierda, el segundo en la parte superior de la losa derecha y el último sobre el marco de carga. Se determina si la deformación entre la losa y la viga se mantienen constantes hasta que el sistema salga del rango elástico.

3.1.6 DETERMINACIÓN DE LA CARGA MÁXIMA

Como se realizó en la sección 3.1.3.4 “Diseño de elemento a compresión”, se calculará la carga máxima con la fórmula propuesta por Hurtado, donde desarrolla la ecuación tomando en consideración la proporcionalidad entre la carga de falla y la separación de los conectores. Se calculará para cada resistencia de hormigón propuesta.

Para hormigón de $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$:

$$Q_{push-out} = 0,7 \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot s}$$

$Q_{push-out}$ = Carga de falla de la probeta de corte directo, kN

E_c = módulo de elasticidad del concreto, MPa

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, MPa

S = Separación entre conectores, m

$$f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2 = 20,594 \text{ MPa}$$

$$E_c = 4700 \sqrt{20,594} = 21328,888 \text{ MPa}$$

$$Q_{push-out} = 0,7 \cdot \sqrt{21328,888 \cdot 20,594 \cdot 0,33}$$

$$Q_{push-out} = 266,508 \text{ kN} = \mathbf{27,157 T}$$

Para hormigón de $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$:

$$Q_{push-out} = 0,7 \cdot \sqrt{E_c \cdot f'_c \cdot s}$$

$Q_{push-out}$ = Carga de falla de la probeta de corte directo, kN

E_c = módulo de elasticidad del concreto, MPa

f'_c = Resistencia a la compresión del hormigón, MPa

s = Separación entre conectores, m

$$Q_{push-out} = 0,7 \cdot \sqrt{24628,628 \cdot 27,459 \cdot 0,33}$$

$$Q_{push-out} = 330,687 \text{ kN} = \mathbf{33,697 T}$$

3.1.7 FORMA DE EMPLO DE LA CARGA

La norma que se usará será el EUROCIDIGO 4 “Diseño de acero compuesto y estructuras de hormigón”

Procedimiento del ensayo según el Eurocodigo 4

1. Primero debe aplicarse la carga en intervalos hasta alcanzar el 40% de la carga de rotura esperada y después deben aplicarse 25 ciclos con una carga que varía entre el 5% y el 40% de la carga de rotura esperada.
2. Los incrementos de carga siguientes deben aplicarse de tal manera que la rotura no ocurra antes de 15 minutos.
3. El deslizamiento longitudinal entre la losa de hormigón y la chapa de acero debe medirse de un modo continuo a lo largo del proceso de carga o bien para cada incremento de carga. El desplazamiento se debe medir al menos hasta que la carga haya descendido un 20% desde su valor máximo.
4. Lo más cerca posible de cada grupo de conectores se medirá la separación transversal entre la sección metálica y cada losa.

Para determinar la carga de falla esperada, necesarias para las pruebas cíclicas, se realizará una prueba monotónica mediante el ensayo de Push Out directo.

El procedimiento de ensayo se llevará a cabo de conformidad con el Eurocódigo 4. La carga se aplicará en incrementos de 2 toneladas de 0% hasta llegar al 40% de la carga de falla esperada, luego se regresa al 5% de la carga de falla esperada. Después de eso, el ciclo de carga entre 5% y 40% se repetirá 25 veces.

CAPÍTULO 4

DESCRIPCION DEL ENSAYO

4.1 DOSIFICACIÓN DE HORMIGÓN

4.1.1 INTRODUCCIÓN

La dosificación del hormigón consiste en determinar la cantidad de agregado fino, agregado grueso, cemento y agua, que se debe colocar para obtener la resistencia de hormigón deseada. La base de la dosificación consiste en caracterizar los agregados, mediante procesos físicos, que brindan una comprensión adecuada de los materiales que vayan a ser utilizados para obtener el hormigón requerido.

4.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

Para comenzar a caracterizar los agregados se debe llevar muestras de agregado fino, agregado grueso y cemento, alrededor de 50 kg por cada uno. El agregado fino y agregado grueso, se colocaron en bandejas y se dejaron secar por un día completo en el horno, este proceso es necesario para obtener el peso seco de estos agregados.

4.1.2.1 GRANULOMETRÍA ASTM C33M-13

Agregado fino

Se usó una cantidad de 400 gramos de agregado fino previamente secado. El proceso consiste en apilar los tamices detallados en la figura 4.1 y en la parte superior colocar la tapa. Ingresar la muestra de agregado fino en la parte superior y agitarlo por 5 minutos aproximadamente, para finalizar el proceso, se registrará la cantidad de material retenido en cada tamiz. La norma ASTM C33M establece los límites granulométricos del agregado fino, como se muestra en la tabla 4.1.

TABLA 4.1 Limites granulométricos.

TAMIZ	Porcentaje que pasa (masa)
3/8	100
4	95 a 100
8	80 a 100
16	50 a 85
30	25 a 60
50	10 a 30
100	2 a 10

FUENTE: (ASTM, 2010).

Agregado grueso

Para la granulometría se debe determinar, el tamaño máximo de partícula de roca presente en la muestra, este tamaño referencial, es obtenido cuando las partículas de roca pasan por las aberturas del tamiz más grande, el total de material que pasa debe ser el 100% de la muestra, para la muestra de agregado grueso del ensayo es de 1½". El tamaño máximo nominal se define como el siguiente tamiz, en el cual el porcentaje retenido acumulado es del 15% o más, por lo tanto, se tiene un tamaño máximo nominal de 1". Con este valor se determina los tamices que se deben usar y la cantidad de material que se debe emplear. El proceso para obtener estos resultados inicia cuando se coloca los tamices en el orden indicado y se enciende la máquina por un tiempo prudencial que no debe ser menor a 5 minutos, siendo este tiempo una recomendación de laboratorio, ya que es un tiempo dentro del cual, todas las partículas tienen varias ocasiones para pasar por los agujeros de los tamices en diversas posiciones posibles.

Paso seguido, se procede a pesar los valores retenidos en cada tamiz, similar como se realizó para el agregado fino. Los resultados obtenidos de los agregados fino y grueso se presentan en la tabla 4.2.

TABLA 4.2 Resultados granulometría.

GRANULOMETRIA ASTM C33M-13			
AGREGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
TAMIZ	PESO	TAMIZ	PESO
No.-	RETENCION (gr)	No.-	RETENCION (gr)
3/8	2.9	1 1/2	0
4	23.2	1	479.8
8	70.8	3/4	968.4
16	72.2	1/2	149.8
30	60.7	3/8	1287.3
50	66.6	4	4039.6
100	28.8		
BANDEJA	75.7	BANDEJA	1700.8

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.1.2.2 PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

Para obtener estos datos, el primer paso es lavar el agregado fino y grueso, hasta que el agua esté transparente. Con el material saturado después de 24 horas se realizará la práctica. Los datos necesarios para la obtención del peso específico y la absorción se presentan en la tabla 4.3. Se debe tener cuidado en la obtención de los datos en el laboratorio, ya que una medida errónea conlleva a un perjuicio en la dosificación del hormigón deseado.

TABLA 4.3 Resultados peso específico y absorción.

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN (gramos)			
AGREGADO FINO ASTM C128-15		AGREGADO GRUESO ASTM C127-15	
Peso del material SSS:	400	Peso del material SSS:	4000
Peso del pic + agua:	708,3	Peso canastilla sum:	1731
Peso pic + agua+material SSS:	955,3	Peso canas + mat sss sum:	4326,5
Peso material seco + recip:	617,5	Peso material seco + recip:	4919,7
Peso del recipiente:	231,9	Peso del recipiente:	1126,7

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.1.2.3 DENSIDAD APARENTE ASTM C29M-09/INEN 858

Se debe secar el agregado fino y agregado grueso, durante 24 horas en el horno. Después de transcurrido este tiempo se realizará la práctica. En la tabla 4.4, se muestra los datos necesarios para obtener la densidad aparente.

TABLA 4.4 Resultados densidad aparente.

DENSIDAD APARENTE ASTM C29M-09/INEN 858			
AGEGADO FINO		AGREGADO GRUESO	
Peso molde	4530 (gr)	Peso molde	5450 (gr)
Altura molde	29,1 (cm)	Altura molde	27,8 (cm)
Diámetro molde	20 (cm)	Diámetro molde	25 (cm)
Peso suelto	20260 (gr)	Peso suelto	24300 (gr)
	20390 (gr)		24100 (gr)
Peso compactado	21500 (gr)	Peso compactado	25512 (gr)
	21513 (gr)		25512,5 (gr)

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.1.3 DOSIFICACIÓN

El personal del LEMSUR, con la ayuda de los datos obtenidos en los ensayos anteriormente descritos, realizó los cálculos pertinentes para obtener la dosificación del hormigón. Los hormigones de resistencia 210 kg/cm² y 280 kg/cm² son el resultado final de este proceso. Las cantidades resultantes en la dosificación se presentan resumido en las tablas 4.5, 4.6, respectivamente.

TABLA 4.5 Dosificación inicial Hormigón de 210 kg/cm².

Hormigón de 210 kg/cm²			
Material	6 cilindros	Relación	1 Cemento (50 kg)
Agua	2,83	0,77	38,33 (kg)
Cemento	3,69	1,00	50,00 (kg)
Arena	9,82	2,66	132,95 (kg)
Ripio	11,31	3,06	153,18 (kg)

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 4.6 Dosificación inicial Hormigón de 280 kg/cm².

Hormigón de 280 kg/cm²			
Material	6 cilindros	Relación	1 Cemento (50 kg)
Agua	2,81	0,64	32,00 (kg)
Cemento	4,39	1,00	50,00 (kg)
Arena	9,22	2,10	104,93 (kg)
Ripio	11,31	2,57	128,74 (kg)

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En ensayos de verificación se determinó que para obtener resultados más cercanos se debe reducir 0,05 en la relación del agua/cemento en función del peso de los materiales. Obteniendo los resultados registrados en las tablas 4.7 y 4.8.

TABLA 4.7 Dosificación definitiva Hormigón de 210 kg/cm².

Hormigón de 210 kg/cm²		
Material	Relación	1 Cemento (50 kg)
Agua	0,72	35,83 (kg)
Cemento	1,00	50,00 (kg)
Arena	2,66	132,95 (kg)
Ripio	3,06	153,18 (kg)

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 4.8 Dosificación definitiva Hormigón de 280 kg/cm².

Hormigón de 280 kg/cm²		
Material	Relación	1 Cemento (50 kg)
Agua	0,59	29,50 (kg)
Cemento	1,00	50,00 (kg)
Arena	2,10	104,93 (kg)
Ripio	2,57	128,74 (kg)

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA DE LAS PROBETAS

4.2.1 INTRODUCCIÓN

Las probetas se realizarán en un taller metal mecánico, el cual contará con los equipos y mano de obra calificada necesaria para este proyecto, teniendo esto en cuenta y cumplido estos requerimientos, se procedió a la elaboración de las probetas de experimentación, las cuales contarían con la presencia de la viga metálica tipo "I", los conectores de corte tipo ángulo con una soldadura calificada, la lámina deck y la malla electrosoldada.

La elaboración de las probetas de experimentación comenzó con la compra de las láminas deck de 0,76 mm de espesor, las cuales fueron adquiridas en la empresa Diproin, ubicada al sur de Quito, así mismo, se procedió a comprar las láminas de tool de 6 mm y 5 mm de espesor, las cuales serán parte del armado de las vigas tipo "I", además de la placa metálica, que ayudará a la repartición uniforme de la

fuerza proveniente del pistón hacia la viga, la adquisición de la malla electrosoldada de 150x150x5 mm. Por último, se procedió a la compra de la madera que servirá para elaborar del encofrado de las probetas.

4.2.2 MEDIDAS Y CORTE DE MATERIAL

4.2.2.1 CORTE DE TOOL METÁLICO NEGRO

Se procederá a identificar las medidas de la probeta con la ayuda de la figura 3.9 donde se puede apreciar el ancho y largo de la lámina deck, además en la figura 3.12, se aprecia la ubicación de los conectores, malla y lamina deck. En la figura 3.13 se observa las dimensiones del conector de corte tipo ángulo, adicionalmente en la figura 3.16 se observa la longitud de la viga tipo "I" y en la figura 3.17 se tiene las dimensiones de la sección frontal de la viga tipo "I".

En las figuras 3.18 y 3.19 se encuentra las dimensiones y materiales que conforman el mecanismo de restricción lateral, además en las figuras 3.20 y 3.21 se encuentra las dimensiones y materiales que conforman el mecanismo de contención para la base de las probetas.

Para el ensayo experimental, una vez identificadas las medidas, se procedió a cortar las láminas de tool metálico negro, con la ayuda de una cortadora hidráulica mostrada en la figura 4.1, la cual se puede utilizar para materiales cuyo espesor no supere los 6 mm, por lo tanto, se pudo cortar sin contratiempos.

FIGURA 4.1 Cortadora Hidráulica.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se cortarán los 2 espesores de tool negro existentes, con las medidas proporcionadas, según diseño preestablecido para la experimentación subsiguiente. Generando patines de 10 centímetros de ancho por 60 centímetros de largo y almas de 20 centímetros de ancho por 60 centímetros de largo, las

piezas cortadas se las aprecia en la figura 4.2 en la parte izquierda los patines y en el lado derecho las almas.

FIGURA 4.2 Corte de láminas para los patines y el alma.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.2.2 CORTE LÁMINA DECK

Se cortará la lámina deck con las medidas solicitadas en la figura 3.9, para lo cual se utilizó una amoladora con disco de corte incorporado, se procedió a cortar la lámina 60 cm a lo largo de la plancha completa, posteriormente se señaló en la lámina cada 30 cm, obteniendo una matriz, con el objetivo de agilizar el proceso de fabricación, como se hace explícito en la figura 4.3.

FIGURA 4.3 Corte lámina deck.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.2.3 CORTE DE ÁNGULOS

El ángulo detallado en la sección 3.1.3.2 “Perfil tipo ángulo usado como conector de corte”, se fragmentará en segmentos de 8,5 cm de la forma mostrada en la figura 3.13, usando la tronzadora de metal de la figura 4.4, tomando en cuenta todas las normas de seguridad, como es el uso de gafas, orejeras y guantes.

FIGURA 4.4 Tronzadora de metal.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Adicionalmente, se realizará un biselado en la parte inferior de cada ala del ángulo, como se muestra en la figura 4.5, necesario para el proceso de soldadura.

FIGURA 4.5 Biselado de ángulo.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.2.4 CORTE MALLA ELECTROSOLDADA

El corte de la malla electrosoldada se realizará con una tijera industrial, para cortar planchas o varillas de pequeños espesores llamada cizalla, obteniendo elementos idénticos a los que se muestra en la figura 4.6, de 30 cm de ancho y 60 centímetros de largo.

FIGURA 4.6 Corte malla electrosoldada con cizalla.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.3 UBICACIÓN, POSICIÓN Y PERFORACIÓN DE LAMINAS DECK

Se ubicará en las posiciones previamente detalladas en la figura 3.22, los patines, la lámina deck y los conectores de corte, los cuales constituyen la parte metálica de las probetas, como se muestra en la figura 4.7.

FIGURA 4.7 Ubicación del patín de la viga tipo “I” sobre la lámina deck.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se colocará la lámina deck sobre el patín de la viga tipo “I”, como se detalló en el diseño definitivo de la probeta de la figura 3.22, esto con el fin de dejar los correspondientes 10 centímetros de patín al lado contrario conforme se necesita. Una vez ubicado las piezas principales de la probeta en su posición final, se procederá a marcar el lugar en donde los conectores de corte van a quedar ubicados. Se establecerá la ubicación final del conector de corte tipo ángulo, en

una posición de 90 grados como se aprecia en la figura 4.8, la ubicación en planta de los conectores de corte está detallada en la sección 3.1.2.3 “Parámetros variables en el experimento”.

FIGURA 4.8 Marca conectores a corte 90°.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

De la misma forma se procede a localizar el centro de corte y ubicar el conector de corte a 45 grados en la lámina deck, como se aprecia en la figura 4.9.

FIGURA 4.4.9 Marca conectores de corte a 45°.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se procedió a perforar las láminas deck con el objetivo de que no haya ningún problema de sujeción entre el patín de la viga y el conector de corte tipo ángulo. Este paso se logró con suelda 60/11, donde se busca permitir el paso del conector de corte tipo ángulo a través de la lámina deck, para obtener una mejor conexión entre estos dos elementos. El trabajo de perforación final se muestra en la figura 4.10.

FIGURA 4.10 Perforación lámina deck.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.4 SOLDADO DE LAS PARTES METÁLICAS DE LA PROBETA

4.2.4.1 SOLDADO DE FIJACIÓN

Este proceso se realizó con la ayuda de la soldadura 60/11, la cual es encargada de la fijación de los conectores de corte, en la platina que es el patín de la viga tipo "I", en esta parte del ensamblaje, el soldador ubica en su posición final el conector de corte, en la posición en planta necesaria de acuerdo al tipo de probeta, sea ésta de 45 o 90 grados, se procede a soldar los extremos del ángulo con un punto de suelda para el posicionamiento, posteriormente se lo sujeta mejor con unos milímetros más de suelda en sus extremos. En la figura 4.11 se muestra este proceso.

FIGURA 4.11 Punteado de fijación suelda 60/11.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.2.4.2 SOLDADO DE FUNDICIÓN

Una vez fijados los conectores tipo ángulo en las probetas con un punto de suelda 60/11 en su posición final, el soldador calificado API, procede a realizar la suelda final de penetración, utilizando la suelda 70/18, siendo esta la más utilizada para elementos de espesor de 5 mm o superiores, para una correcta fijación de los elementos metálicos. En la figura 4.12 se presenta la soldadura final entre el conector de corte y el patín.

FIGURA 4.12 Soldadura final 70/18.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

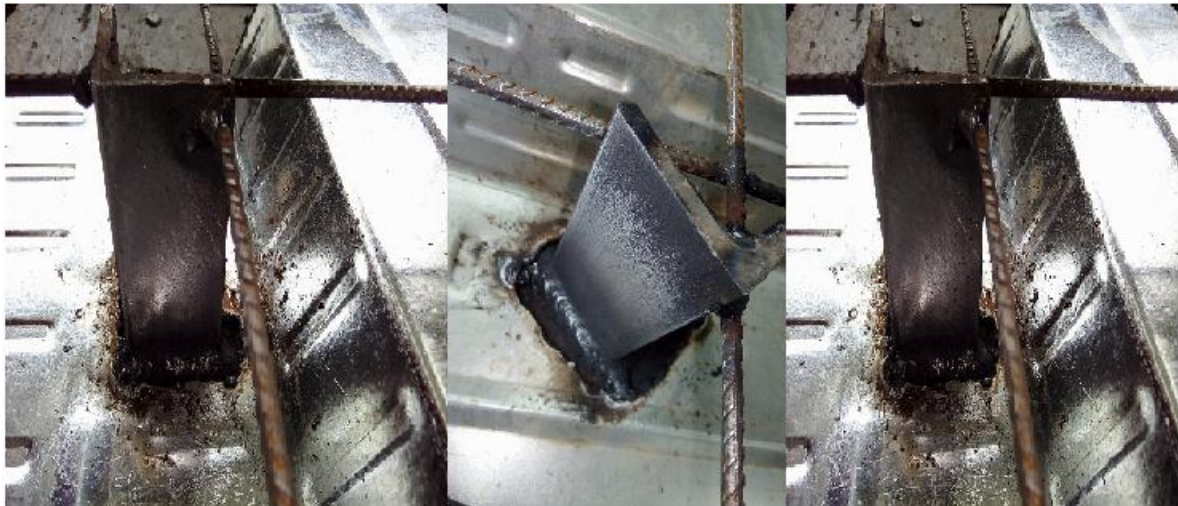
4.2.4.3 UBICACIÓN Y SOLDADO DE LA LÁMINA DECK

Con la lámina deck perforada como se detalló en la sección 4.2.3, su instalación consiste en pasar los conectores de corte a través de la lámina deck. Se colocó un punto de suelda 60/11 entre el patín y la lámina deck, para evitar el movimiento, ya que, al perforar la lámina, estos orificios podrían ser muy grandes y al tratar de soldar la lámina deck con los conectores se deslizaría. Manteniendo fija la posición de la lámina deck se procedió a asegurarla mediante puntos de suelda 60/11 a los conectores de corte. Al finalizar la instalación de los conectores de corte, se procedió a retirar estos puntos de suelda entre la lámina deck y el patín de la viga tipo “I”, con la ayuda de una amoladora.

4.2.4.4 SOLDADO DE LA MALLA ELECTROSOLDADO A LOS CONECTORES DE CORTE

Para terminar la parte del ensamble metálico de las probetas, se coloca el segmento de malla electrosoldada bajo la parte superior del conector de corte de 1 cm hasta 1.5 cm, el proceso se realizó con suelda 60/11, tomando en cuenta que los cruces de la varilla corrugado de la malla electrosoldada, no coincidía con los conectores de corte, se cortó la malla electrosoldada para que encaje en la posición deseada como se ve en la figura 4.13.

FIGURA 4.13 Malla electro soldada unidos a conectores de corte.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

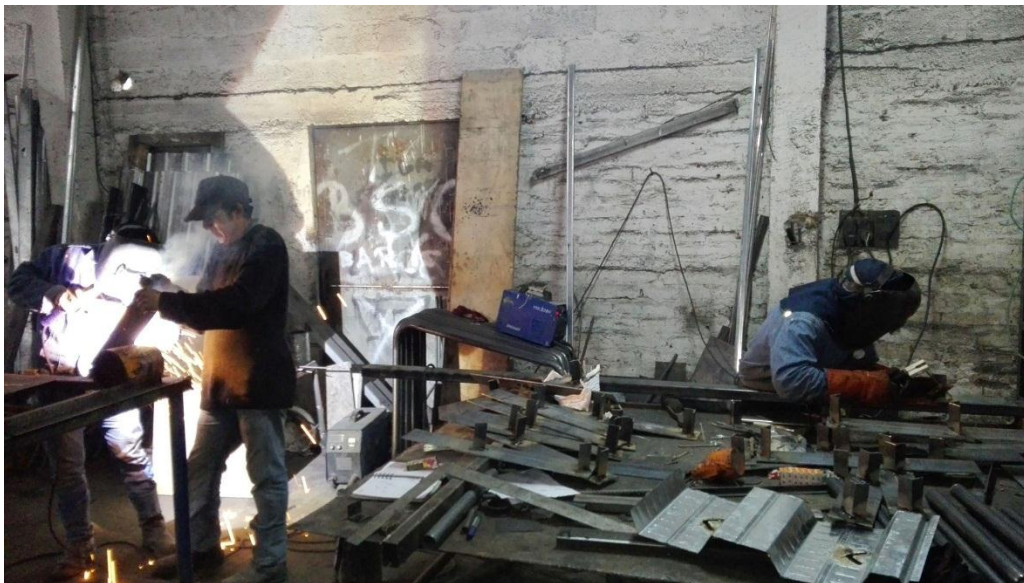
4.2.5 CADENA DE PRODUCCIÓN

En la cadena de producción de las probetas, en primer lugar, se necesitó el equipo de cortado de láminas deck y malla electrosoldada, este equipo midió, trazó y cortó cada pedazo de lámina deck y malla electrosoldada, necesaria para la fabricación de las probetas experimentales, las cuales, llegarían a un total de 40 elementos, cortados de una medida de 60 centímetros de base x 30 centímetros de altura, de acuerdo a diseño indicado anteriormente.

El equipo encargado de realizar los orificios en la lámina deck, para colocar los conectores de corte, usarán suelda 60/11, con un amperaje suficiente como para penetrar el espesor de 0,76 milímetros de la lámina deck, donde finalmente se dejará un orificio por donde podrá pasar el conector a través de la lámina deck.

Para la unión de los conectores de corte tipo ángulo con los patines de la viga tipo "I" y con la lámina deck, se realizó con la ayuda de un soldador calificado API "véase anexo 2", se usará suelda 70/18, la cual está diseñada para obtener una alta penetración en el material, siendo este trabajo el más importante del proceso de elaboración de las probetas experimentales. En la figura 4.14 se presenta el equipo de soldado.

FIGURA 4.14 Equipo del proceso de soldado.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

El equipo encargado del corte y manufactura de los encofrados de madera, el cual compró la cantidad de madera necesaria ya calculada para este ensayo, la madera será cortada con medidas de 64 cm de largo por 12 cm de altura y 34 cm de ancho por 12 centímetros de altura, siendo el espesor de la madera de 2 centímetros. Los encofrados terminados se muestran en la figura 4.15

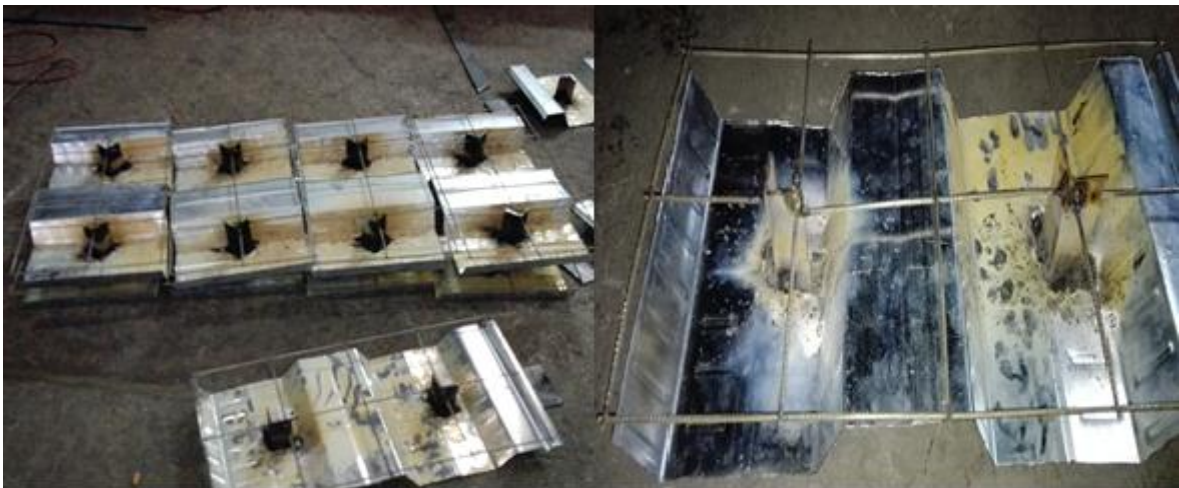
FIGURA 4.15 Encofrado metálico.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

El producto casi terminado, se logró uniendo todas las piezas con los conectores de corte obtenido así la estructura metálica mostrada en la figura 4.16.

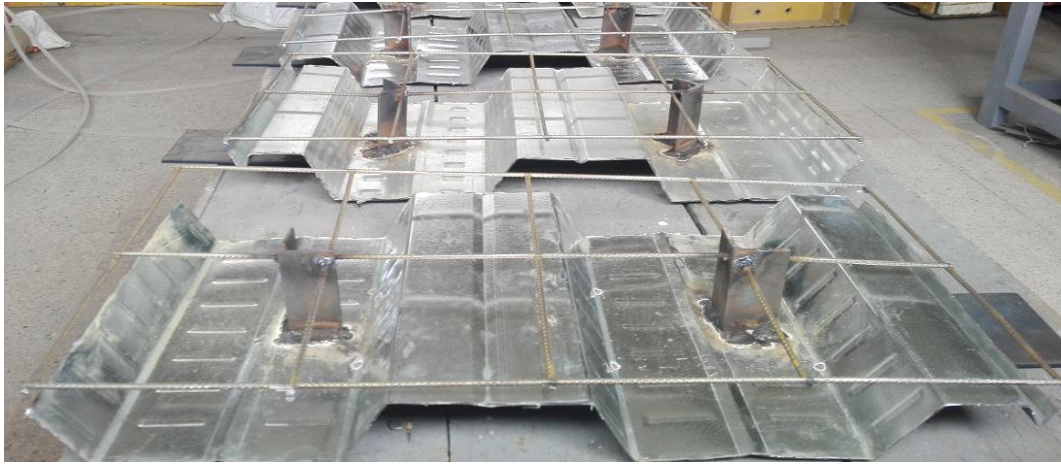
FIGURA 4.16 Parte metálica de la probeta finalizada.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Al finalizar este proceso se debe hacer una limpieza de las probetas, para obtener una presentación adecuada de estas. Se procedió a pintar los patines sujetos a las láminas deck, para evitar problemas de corrosión en el proceso de fundición. Con lo cual, en el último día de trabajo en el taller mecánico, se obtuvo un producto final listo para usarse en el proceso de fundición y experimentación. Como se presenta en la figura 4.17.

FIGURA 4.17 Probeta acabados finales.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

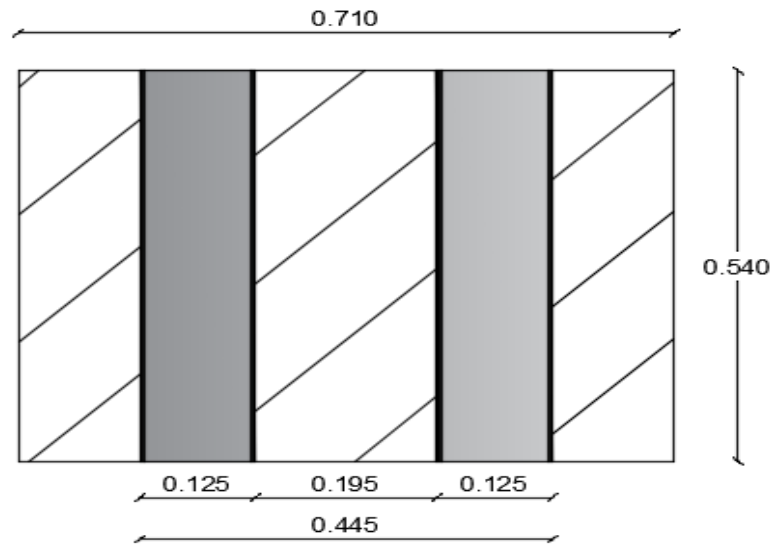
4.3 MECANISMOS PARA EL CONTROL DEL ENSAYO

Estos mecanismos se colocan con la intención de evitar posibles fallas, que, si ocurren, no se obtendrían datos válidos. Para este fin, se aislará el desplazamiento de la base y se controlará el pandeo de las losas.

4.3.1 MECANISMO DE SOPORTE EN LA BASE

Adicionalmente se debe manufacturar un elemento de amarre para la probeta terminada, es decir, este elemento tiene la función de evitar el desplazamiento lateral en la base de las losas mientras ocurre el ensayo.

Este elemento está compuesto por tres tubos cuadrados negros de 50x3 mm y dos perfiles metálicos tipo canal U de 125x50x4 mm, los cuales estarán separados 19,7 cm entre ellos. Los detalles y dimensiones se muestran en la figura 3.20 y su elaboración en la figura 4.18.

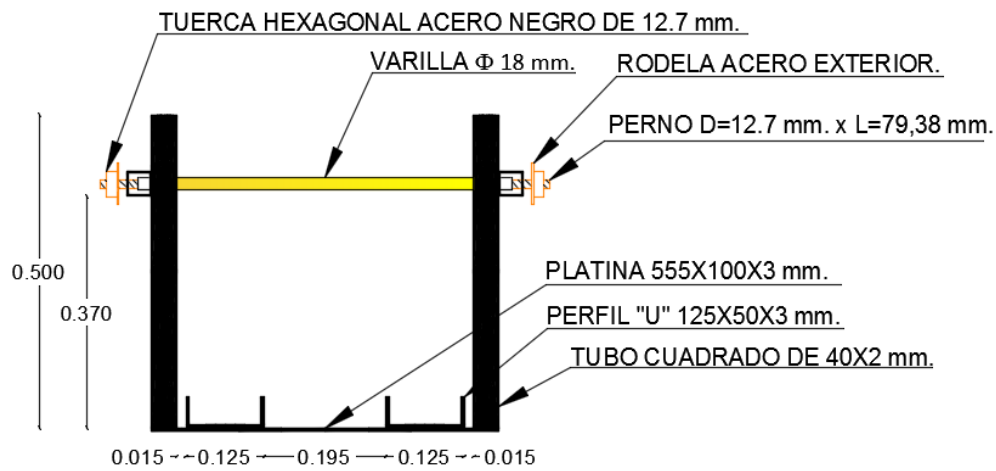
FIGURA 4.18 Dimensionamiento soporte de base.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.3.2 MECANISMO DE SOPORTE LATERAL

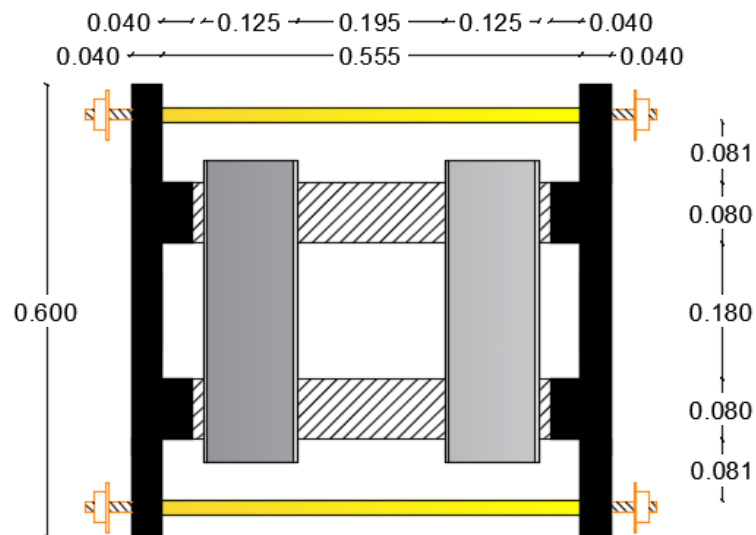
El mecanismo de soporte lateral se coloca para evitar grandes deformaciones por pandeo de las losas, el primer elemento es una viga tipo "I" de 200x100x5x5 mm. Este perfil tiene como función resistir la flexión de la placa de hormigón, los perfiles son soportados por un tubo cuadrado de acero negro de 75 x 4 mm. También cuenta con una varilla Φ 18, unida mediante suelda a un perno de diámetro $D=16$ mm. y Long = 70 mm, sumado a una tuerca hexagonal de acero negro de 16 mm. Este sistema se complementa al unir los perfiles metálicos tipo "I", soportados con los tubos negros, sujetos por las varillas y ajustados por los pernos. Como se presenta en la figura 4.19 y figura 4.20.

FIGURA 4.19 Vista frontal del sistema de soporte lateral.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 4.20 Vista superior o planta del sistema de soporte lateral.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4 INSTALACIÓN DE STRAIN GAUGES

4.4.1 MATERIALES

Los materiales fueron detallados en cantidad y calidad por el personal de CIV.

- Alcohol Metílico 90° G.L, véase figura 4.21.

Es un material antiséptico que elimina gran cantidad de bacterias, cuando es aplicado sobre superficies u objetos inertes. Este material se usa para limpiar la superficie donde se colocará el strain gauges (Falmar, 2015).

FIGURA 4.21 Alcohol Metílico 90°.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Cinchos de plástico 200mm x 4.5mm, véase figura 4.22.

Se usa para fijar, una vez que son cerrados no puedan ser abiertos otra vez. Generalmente se utilizan en los cableados eléctricos. Se usarán para fijar los cables que salen de los strain gauges en la malla electrosoldada (Elipack, 2015).

FIGURA 4.22 Cinchos de plástico.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Hisopos de algodón “Cotonetes”, véase figura 4.23.

Se usa para la limpieza de la superficie de acero del conector y la platina. Tiene forma de bastoncillo acabado en una punta de algodón.

FIGURA 4.23 Hisopos de algodón.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Esparadrapo impermeable, véase figura 4.24.

Es un material impermeable, por la cara interna y externa, permite realizar trabajos en el agua. Además, es flexible y se adapta al movimiento incluso en las partes contorneadas (Clinibax, 2015). En las probetas experimentales se usará para proteger a los strain gauges.

FIGURA 4.24 Esparadrapo Impermeable.

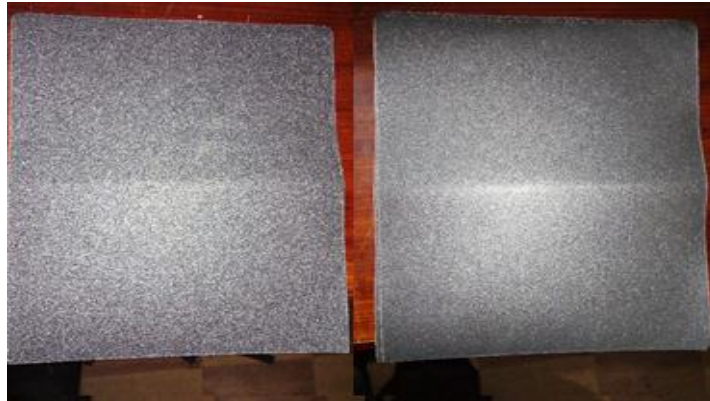


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Lija de 200 y 80, véase figura 4.25.

La lija es un producto compuesto por dos partes, el soporte es una lámina de papel que debe tener una resistencia alta para que no se rompa fácilmente, en una cara del soporte se impregna material granular de diferente diámetro que da caracterización a los acabados. Las lijas se usarán para preparar la superficie en donde se colocarán los strain gauges.

FIGURA 4.25 Lija de 200 y 80.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Adhesivo instantáneo universal líquido “brujita”, véase figura 4.26.
Loctite Super Bonder, es un pegamento instantáneo de alta calidad, reconocido a nivel mundial, es un gel que sirve para unir, reparar o mejorar elementos o superficies. En la instalación de los strain gauges, se usará para garantizar la unión de éstos al acero de las probetas (Henkel, 2010).

FIGURA 4.26 Adhesivo instantáneo.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

- Cinta de EPR Autofundente véase figura 4.27

Es una cinta de goma, adaptable y autofundente. Es de fácil aplicación, se usa para aislación eléctrica y sello hidráulico. Se trató de colocar este material para evitar el ingreso de agua en la fundición.

FIGURA 4.27 Cinta de EPR Autofundente.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.2 PREPARACIÓN DE LA SUPERFICIE

Los strain gauges son elementos muy sensibles, debido a esto, la superficie donde se los coloque debe tener la menor cantidad de irregularidades posibles. Para lograr este objetivo se usará los dos tipos de lijas mostradas en los materiales, figura 4.25 y para terminar la preparación se limpiará con el alcohol Metílico, figura 4.21.

4.4.2.1 ELIMINACIÓN DE IRREGULARIDADES Y POROSIDAD DE LA SUPERFICIE

Para eliminar las irregularidades del material, primero se utilizó la lija número 200 en sentido horizontal y vertical hasta quitar las rugosidades o imperfecciones del material, hasta lograr obtener un color metálico plateado en el conector tipo ángulo. Para mejorar la superficie se usó la lija número 80 de la misma manera que la lija anterior, hasta eliminar las porosidades e irregularidades más pequeñas. Para terminar el proceso de lijado se usó la lija número 80 y se pulió tres veces en sentido horizontal y 3 veces en sentido vertical. La superficie terminada se puede apreciar en la figura 4.28.

FIGURA 4.28 Superficie lijada en el conector de corte.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.2.2 LIMPIEZA DE LA SUPERFICIE

Cuando se culminó el proceso de lijado de la superficie, se realizó el proceso de limpieza del conector de corte en la parte lijada. El proceso de limpieza consiste en empapar alcohol metílico mostrado en la figura 4.21, en los hisopos de las mismas características de la figura 4.23 y frotar sobre la superficie lijada. Se debe tomar en cuenta que este proceso debe hacerse en un solo sentido durante toda la limpieza, es decir, de abajo hacia arriba o de arriba hacia abajo, repetir este proceso hasta que los hisopos salgan limpios. En la figura 4.29 se puede apreciar el proceso realizado por el técnico de CIV.

FIGURA 4.29 Limpieza con hisopos.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.3 PEGADO DE STRAIN GAUGES

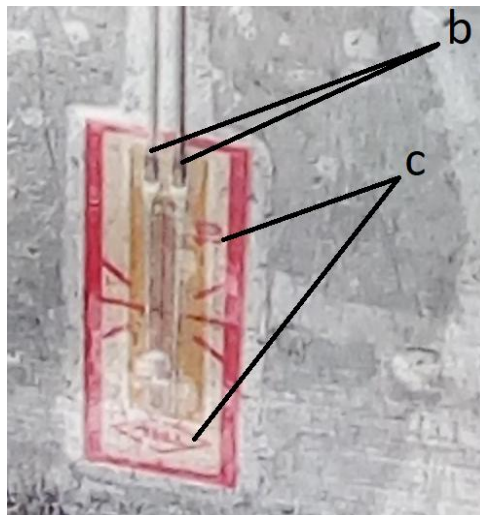
4.4.3.1 IDENTIFICACIÓN DE LADO DE INSTALACIÓN

Para poder identificar el lado visible del strain gauges, que no va en contacto con el metal, se tiene tres formas:

- a) El lado visible se identifica por ser brillante y el otro lado, es el que se adherirá al metal.
- b) El lado visible se identifica también porque desde este lado, salen los dos filamentos metálicos.
- c) En el lado visible se puede leer en el strain gauges el número 10 y las letras TMC.

En la figura 4.30, se presenta las formas b y c de identificar el lado visible.

FIGURA 4.30 Identificación lado visible strain gauges.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.3.2 INSTALACIÓN EN EL ACERO

Identificando correctamente cual es el lado visible del strain gauges, a este lado se lo pega con la cinta transparente. Este conjunto se coloca en la superficie de acero en las posiciones que se determinarán posteriormente. En la figura 4.31 se presenta la colocación del strain gauges.

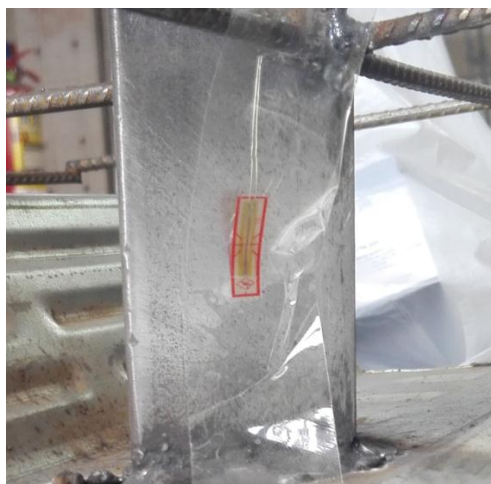
FIGURA 4.31 Instalación strain gauges en el acero.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Luego se retira la cinta transparente, hasta que el strain gauges este liberado del acero, como se muestra en la figura 4.32.

FIGURA 4.32 Desprendimiento adhesivo liberación strain gauges.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Después se coloca el adhesivo instantáneo líquido en el strain gauges, de abajo hacia arriba en una cantidad prudente, se vuelve a pegar la cinta transparente, se coloca una lámina de teflón y con el dedo pulgar se mantiene presionado durante aproximadamente 2 minutos, para que el gel seque, como se indica en la figura 4.33 para finalizar este proceso se debe dejar secar de 10 a 15 minutos.

FIGURA 4.33 Uso de teflón en strain gauges.



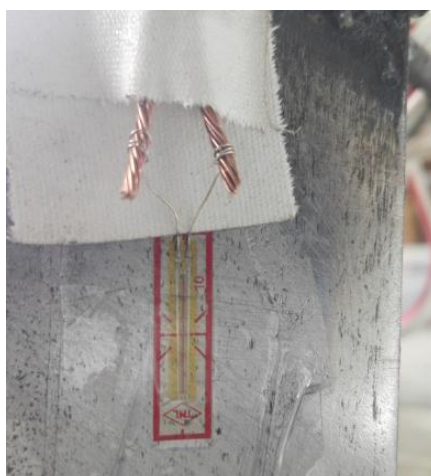
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.4 AISLAMIENTO DEL CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA SUPERFICIE DE ACERO

Se retira la cinta transparente hasta que sean visible los circuitos eléctricos, con la ayuda de una pinza quirúrgica, retirar los circuitos eléctricos del metal. Colocar esparadrapo en la parte superior, para evitar que los circuitos toquen el metal nuevamente como se aprecia en la figura 4.34.

Por seguridad, se coloca un fragmento de esparadrapo en la parte inferior como se muestra en la figura 4.34, para que los circuitos, por ninguna circunstancia, toquen el metal de la probeta, ya que si lo hicieran cuando se ensaye las probetas, los strain gauges se dañaran.

FIGURA 4.34 Aislamiento superior del metal.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.5 UNIÓN DE ALAMBRE GEMELO A LOS STRAIN GAUGES

Se retira el recubrimiento de un extremo de alambre gemelo con ayuda de una cuchilla y se lo entorcha. Preparado el alambre se instala de tal manera que los circuitos y el cable estén cerca, con la ayuda de esparadrapo, para evitar el movimiento. Como se observa en la figura 4.35.

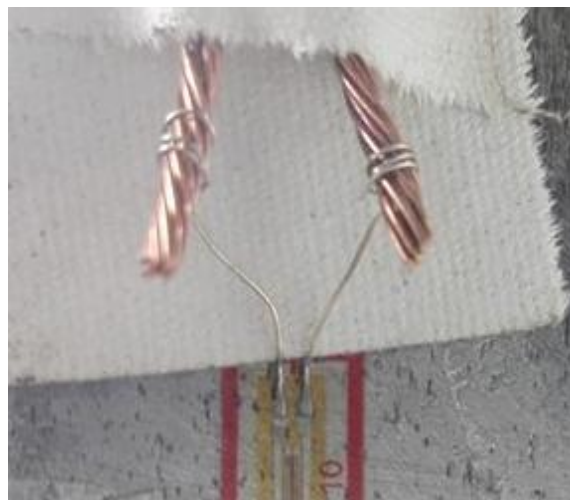
FIGURA 4.35 Fijación de alambre gemelo.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se usa la pinza quirúrgica para envolver los circuitos con el alambre gemelo de forma circular, como se muestra en la figura 4.36, comprobando que el amperaje este en 120Ω .

FIGURA 4.36 Unión de strain gauges con alambre gemelo.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se realiza una suelta eléctrica con la herramienta conocida como cautín, el cual calienta el estaño hasta fundirlo, posteriormente es vertido en la conexión del alambre con el circuito del strain gauge, para garantizar una fijación y paso de información adecuadas al momento de la experimentación. El resultado de este proceso se aprecia en la figura 4.37.

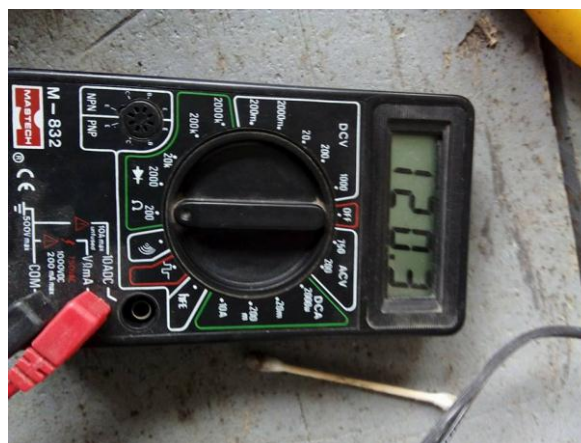
FIGURA 4.37 Suelda eléctrica.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para terminar este proceso, se recubre con esparadrapo los elementos soldados con estaño y se verifica que la resistencia observada en el multímetro se encuentre entre $120 \Omega \pm 0.5$, como se aprecia en la figura 4.38.

FIGURA 4.38 Verificación con multímetro.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.6 PROTECCIÓN DEL CONJUNTO PARA LA FUNDICIÓN

Como método de protección para cuando se proceda a fundir las probetas, se instaló la cinta auto fundente de la forma que se puede apreciar en la figura 4.39. Sin embargo, por la geometría del conector de corte, su aplicación no fue posible, por lo tanto, se tomó la decisión de aplicar una capa adicional de esparadrapo.

FIGURA 4.39 Instalación protección strain gauges.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Este proceso se debe repetir para todas las probetas y en las posiciones que se desee colocar los conectores de corte.

4.4.7 PROBETAS INSTALADAS STRAIN GAUGES

Las probetas en las cuales se colocaron los strain gauges fueron, M4-280-90-11, M4-210-90-11, M4-280-45-11, M4-210-45-11, como se aprecia en la figura 4.40. Cabe recalcar que las probetas a las cuales se instaló los strain gauges, tienen diferentes características en posición del conector de corte y $f^{\circ}c$.

FIGURA 4.40 Probetas instaladas con los strain gauges.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

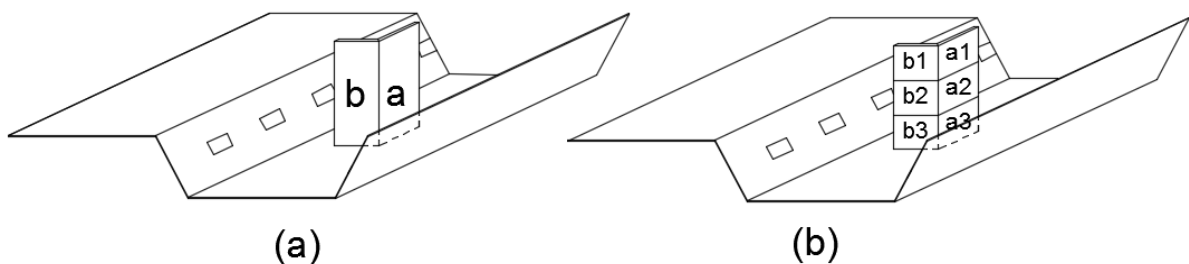
4.4.8 POSICIÓN DE INSTALACIÓN DE LOS STRAIN GAUGES

Los strain gauges son dispositivos usados en el estudio de estructuras, sean estas metálicas o de hormigón. La función de estos mecanismos es determinar la deformación unitaria. Con un proceso matemático y conociendo las propiedades del material, se puede obtener el esfuerzo en los lugares donde fueron instalados.

4.4.9 IDENTIFICACIÓN DE POSIBLES LUGARES DE INSTALACIÓN

Los conectores de corte por ser de tipo ángulo tienen dos caras, por tal motivo, a una de ellas la denotaremos como cara "a" y la otra como cara "b", como se observa en la figura 4.41 (a). Por cada cara se identifican tres regiones, desde arriba hacia abajo se observa la región 1 a la 3, siendo la sección 3 la más cercana a la soldadura, donde teóricamente pasarán los esfuerzos de corte más elevados. Estas zonas son detalladas en la figura 4.41 (b).

FIGURA 4.41 Caras y zonas de aplicación.

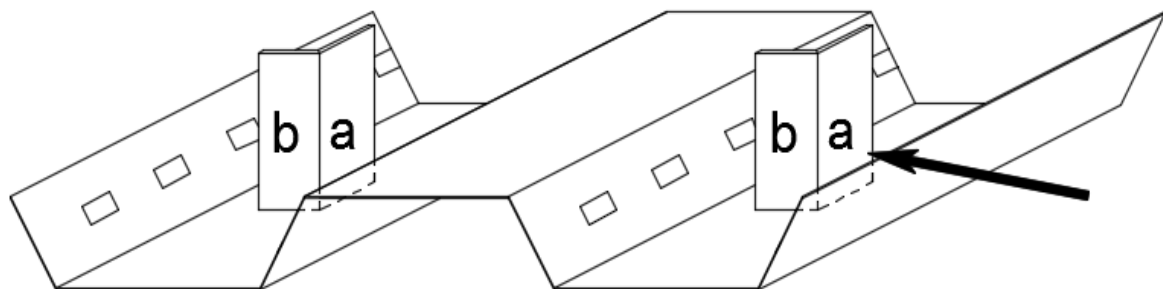


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.10 ANÁLISIS DE LOS CONECTORES EN LA POSICIÓN 90°

Debido a la ubicación del conector de corte en la probeta y la carga aplicada como se representa en la figura 4.42, se determinó que donde se puede apreciar de mejor manera las deformaciones unitarias, será en la cara "a".

FIGURA 4.42 Aplicación de fuerza probeta 90°.

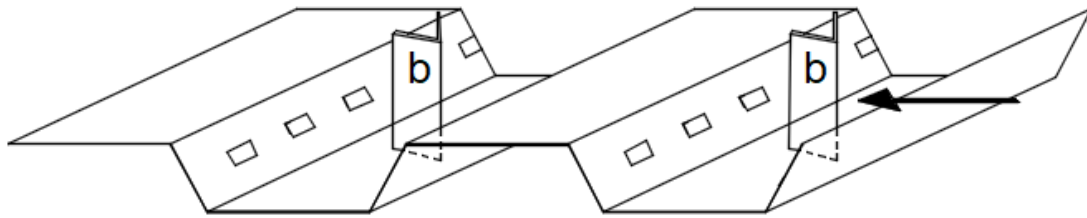


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.11 ANÁLISIS DE LOS CONECTORES EN LA POSICIÓN 45°

Debido a la ubicación del conector de corte y la carga que se aplica, como se detalla en la figura 4.43, se determinó que, si el strain gauges se coloca en la cara “a” o en la cara “b”, el comportamiento de la probeta durante el ensayo será similar.

FIGURA 4.43 Aplicación de fuerza probeta 45°.

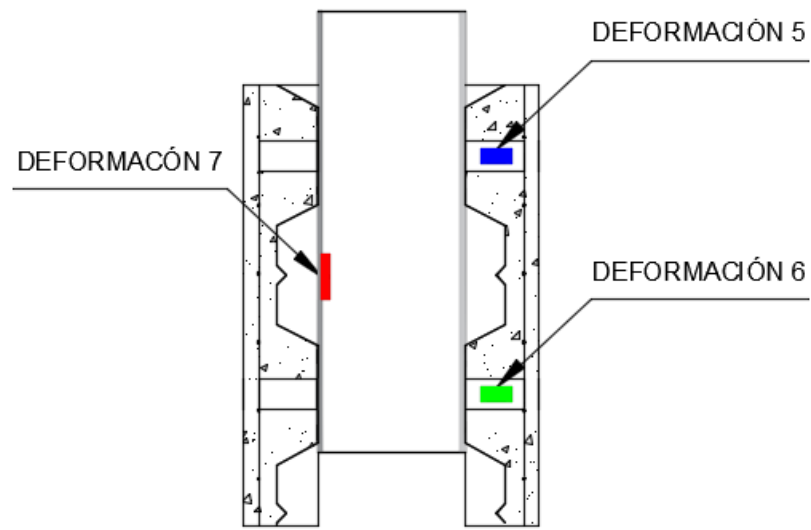


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.4.12 ANÁLISIS DE POSICIONAMIENTO DE STRAIN GAUGES

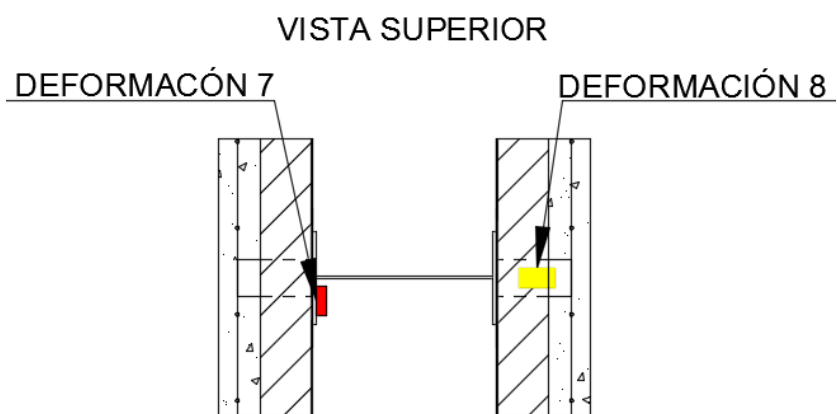
Los colores determinan las ubicaciones de los strain gauges dentro de las probetas, así se tiene que, el color azul es el strain gauge ubicado en el conector superior de la probeta experimental y embebido en hormigón. El color verde representa la ubicación del conector en la parte inferior de la probeta experimental y embebido en hormigón. Finalmente, el color rojo representa el strain gauge ubicado en la viga tipo “I”, más precisamente, en la parte media del patín de la viga. Adicionalmente se tiene el color amarillo que representa un strain gauge adicional que se colocó en el lado adyacente del conector de corte y esta embebido en hormigón. Las vistas de la probeta experimental, junto con las ubicaciones de cada strain gauge, se muestran en las figuras 4.44, 4.45 y 4.46.

FIGURA 4.44 Ubicación de strain gauges vista frontal.

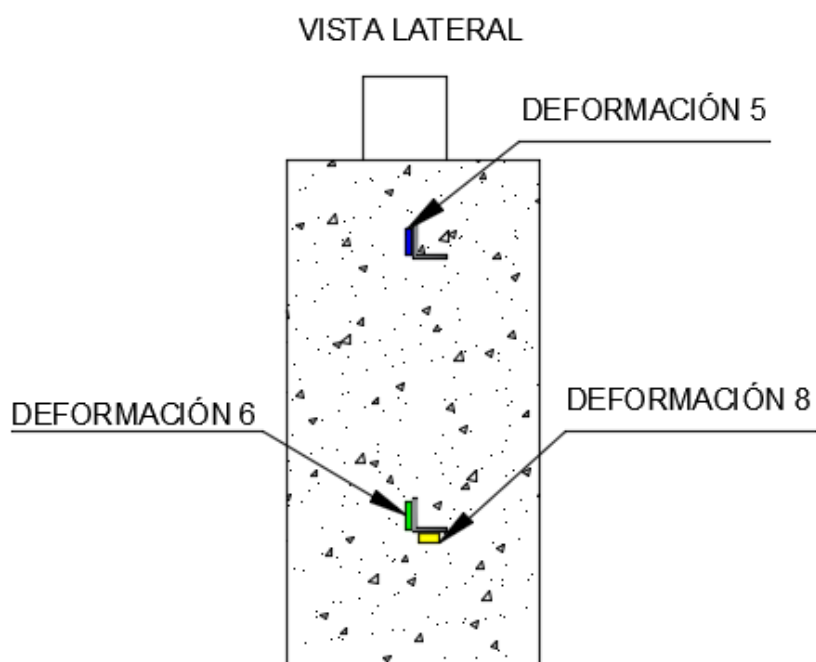


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 4.45 Ubicación de strain gauges vista superior.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 4.46 Ubicación de strain gauges vista lateral.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

4.5 HORMIGONADO DE PROBETAS

4.5.1 CUBICAJE DEL MATERIAL

Se procede a pesar un balde lleno de agregado fino obteniendo un peso de 25 kg, de la misma manera se pesó otro balde de agregado grueso y se obtuvo un peso de 26 kg. Con base a la dosificación de la sección 4.1.3 se calcularon las cantidades de material por kilogramo, para poder ser usado en el momento de fundición. En la tabla 4.9, se presentan las cantidades de agregados fino y agregado grueso para un saco de cemento de 50 kg.

TABLA 4.9 Dosificación hormigón por sacos y baldes.

$f'c$ (kg/cm ²)	Material	Peso (kg)	Cantidad	Unidad
210	Cemento	50	1	saco
	Arena	132,96	5,3	baldes
	Ripio	153,18	5,9	baldes
280	Cemento	50	1	saco
	Arena	104,83	4	baldes
	Ripio	128,63	5	baldes

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

4.5.2 PREPARACIÓN E INSTALACIÓN DE HORMIGÓN

La seguridad de los trabajadores es lo más importante para no tener accidentes en el transcurso de la fundición de las probetas, por lo tanto, se verificó el uso de protección respiratoria, guantes de seguridad, botas con punta de acero, etc. Las herramientas necesarias son: maquina concretera de un saco, palas de punta redonda, baldes, tanque de agua, bandeja metálica, vibrador mecánico, carretilla, bailejo y paleta.

Para preparar el hormigón se debe seguir el siguiente proceso:

1. Revisar que la concretera esté limpia sin residuos de anteriores fundiciones.
2. Revisar que tenga la suficiente gasolina, posteriormente encender la concretera y revisar su correcto funcionamiento.
3. Colocar el agregado grueso en la concretera de la forma detallada en la tabla 4.8, para el tipo de hormigón a realizar.
4. Colocar un saco de cemento y la mitad de agua necesaria. Dejar mezclar por medio minuto.
5. Ingresar el agregado fino y el agua restante, colocado todos los materiales, mezclar por 3 minutos. La cantidad del agua se debe colocar con cuidado ya que este factor cambia significativamente la resistencia del hormigón.

El proceso de colocación de hormigón en las probetas, consiste en colocar el hormigón hasta la mitad de la totalidad de la probeta, usar el vibrador durante 10 a 15 segundos, cubrir el faltante de la probeta y volver a vibrar. Completar el faltante de la probeta y enrazar con codal, después de 10 a 15 minutos paletear para darle el acabado final.

4.5.3 CURADO DE LAS PROBETAS

El curado de las probetas se realizó durante 7 días posteriores a la fundición de las losas, el proceso consiste en mojar las probetas con abundante agua potable preferentemente en la mañana, con el objetivo de evitar grietas causadas por el proceso exotérmico de fraguado del hormigón. Esto se muestra en la figura 4.47.

FIGURA 4.47 Curados de losa.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.6 ENSAYO EN EL LABORATORIO

4.6.1 PUSH OUT DIRECTO

Esta prueba consiste en aplicar cargas hasta que la probeta falle, con el objetivo de determinar la carga máxima que puede soportar cada tipo de hormigón. Por lo tanto, se debe ensayar por lo menos una probeta con hormigón 210 kg/cm^2 y por lo menos otra con hormigón de 280 kg/cm^2 . En esta prueba no es necesario obtener deformaciones adicionales a la de la viga, ya que solo nos permite determinar el valor de 5% y 40 % de la carga máxima esperada, para realizar el ensayo según el Eurocódigo 4 (Eurocódigo 4, 2014).

En la figura 4.48 se presenta el estado final de la prueba de Push Out directo para hormigón de 210 kg/cm^2 , correspondiente a la probeta M4-210-34-5. En la figura 4.49 se presenta el estado final de la prueba de Push Out directo para hormigón de 280 kg/cm^2 , correspondiente a la probeta M4-280-45-6.

FIGURA 4.48 Ensayo Push Out Directo M4-210-45-5.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 4.49 Ensayo Push Out Directo M4-280-45-6.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.6.2 PRUEBAS CON CARGA Y DESCARGA

Las probetas fueron sometidas a un proceso de cargas y descargas periódicas en función de la normativa escogida para este propósito “Eurocodigo4”. El valor necesario para este procedimiento es la carga máxima presentada por las probetas de prueba anteriormente ensayadas de cada tipo de hormigón, es así, que se calcula un rango entre el 5% y el 40% de la carga máxima obtenida de las probetas por medio del ensayo Push Out directo.

4.6.2.1 PLACA METÁLICA

El proceso de ensayo dará inicio con el transporte y ubicación de la probeta en turno de ensayo en el marco de carga, una vez ubicada la probeta se procederá a colocar las dos placas metálicas en la parte superior de la viga metálica tipo “I” de la probeta, placas que tienen como función principal la distribución de la fuerza aplicada sobre la viga y por consiguiente en las losas de hormigón al estar estas conectadas entre sí por los conectores de corte. La placa metálica se observa en la figura 51.

FIGURA 4.50 Placa metálica



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

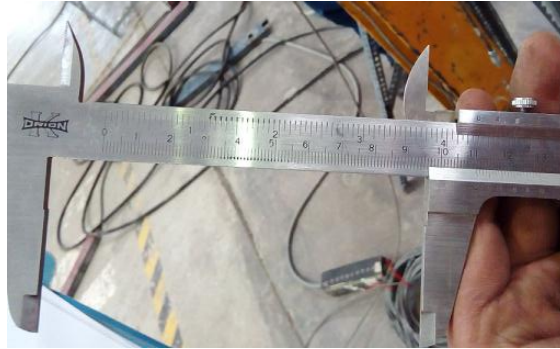
4.6.2.2 TOMA DE MEDIDAS

a) Calibrador

Después de la ubicación del brazo de marco de carga sobre la placa en la probeta, se procederá a la toma de medidas en las ubicaciones donde se encuentran los conectores de corte en las losas, se numera estas ubicaciones de tal forma que, se pueda tener medidas de estos puntos conforme avanzan los

ciclos de carga y descarga. Esta medida se realizará con la ayuda de un calibrador para lograr una mayor exactitud en las medidas obtenidas, como se muestra en la figura 4.51.

FIGURA 4.51 Calibrador.

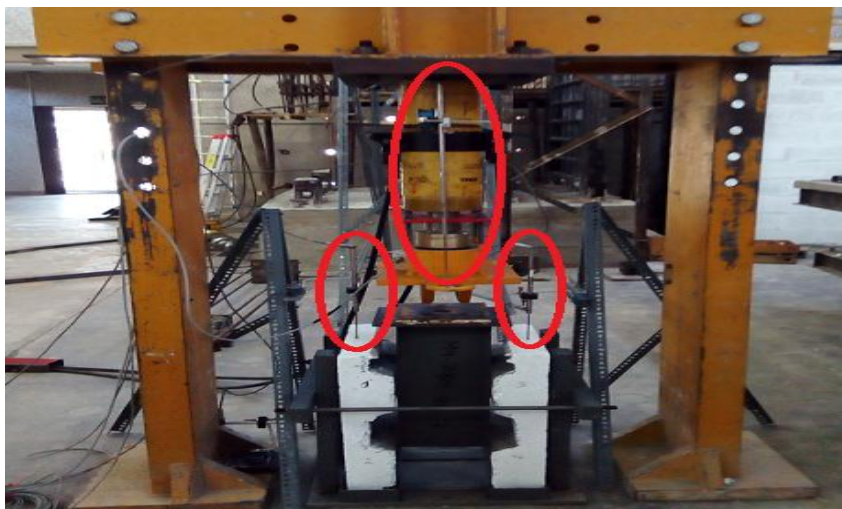


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

b) Deformímetros (LVDT)

Los deformímetros o LVDT serán ubicados en partes estratégicas en la probeta experimental, es así que, el primero será ubicado en la parte superior de la viga tipo "I", al mismo nivel del brazo del marco de carga, la función principal de este LVDT, es el medir la deformación ocurrida en la viga metálica durante el ensayo, el segundo y tercero, estarán ubicados en las placas de hormigón, estos LVDT's tienen como función principal el verificar los desplazamientos que experimenten las placas de hormigón durante el proceso de ensayo.

FIGURA 4.52 Ubicación de los deformímetros en la probeta.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

4.6.2.3 PROCESO DE ENSAYO

Posteriormente a la ubicación de los LDVT's en la probeta experimental, se procederá a cargar mediante el marco de carga, tomando en cuenta los límites establecidos por la normativa, estos ciclos de carga tendrán un tiempo indefinido de duración, porque la precisión de los ciclos de carga, depende la experticia humana del técnico encargado de la manipulación de la maquinaria, los ciclos posteriores a los de carga y descarga, tendrán un tiempo definido de duración, en este periodo de tiempo los ciclos de carga se verán aumentados en un rango definido, hasta posteriormente llegar a la falla de las probetas experimentales.

4.6.2.4 DATOS OBTENIDOS EN PROCESO DE ENSAYO

Con los datos obtenidos de la experimentación en laboratorio, se procederá a la obtención de resultados relevantes y en cumplimiento con los objetivos de la tesis experimental planteada en este documento.

Los datos de carga y descarga obtenidos, sumados a los datos de desplazamiento de LDTV 1, nos ayudará a obtener las curvas de carga vs deformación, en estas curvas encontraremos la energía disipada por las probetas experimentales durante el proceso de carga, al calcular el área bajo la curva, hasta el punto en donde las probetas ya no resistan más aumento de carga.

Los datos obtenidos con los LDTV's, ubicados en las placas de hormigón serán utilizados para conocer el porcentaje de carga que cada una de las placas de hormigón soporta, además de observar si la suma de las deformaciones de las placas de hormigón, es comparable a la deformación de la viga metálica.

Finalmente, con los datos obtenidos con los strain gauges, ubicados en los conectores de corte tipo ángulo, dentro de las placas de hormigón de las probetas experimentales, se podrá observar que porcentaje de la carga soporta cada conector, dependiendo de la distancia a la que se encuentre a la carga de reacción, adicionalmente, también podremos observar, si los conectores de corte sufren alguna deformación causada por la resistencia del material o por fallas de soldadura.

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1 DESARROLLO EN LABORATORIO

La normativa presente en el Eurocódigo 4, manifiesta que el número de ciclos de carga y descarga deben ser de 25, dichos ciclos deben estar entre el 5% y el 40% de la carga de ruptura esperada. Posteriormente a los ciclos iniciales, se debe tomar un tiempo no menor a 15 minutos para llegar a la ruptura de la probeta ensayada.

El tiempo promedio resultante del ensayo de una probeta de prueba, la cual dio como resultado un tiempo aproximado de 1 hora, dicho tiempo sumado al de preparación del experimento, nos da un tiempo de alrededor de 1 hora con 30 minutos por cada probeta, generando un tiempo total aproximado de 33 horas, el cual significaría una semana ensayando, tiempo que, para esas fechas, el laboratorio no disponía. Por tal motivo, se decidió acortar el tiempo de ensayo reduciendo el 40 % en todos los procesos de experimentación presentes en la normativa, así se obtiene un total de 15 ciclos de carga y descarga del ensayo, posterior a estos ciclos, la ruptura de la probeta será en un tiempo no menor a 10 minutos.

5.2 CARGA MÁXIMA PROBETAS DE LABORATORIO

La carga máxima esperada en el ensayo, se define como la compresión máxima resistida por la probeta experimental. También se determinó matemáticamente en el capítulo 3 con título "Metodología". Estos valores servirán para saber las fuerzas en donde se debe cargar y descargar el marco de carga, para cumplir el Eurocódigo 4. La carga que se aplicará en las probetas para obtener estos datos se considera que son cuasi-estática, es decir, con un incremento constante a una velocidad baja.

5.2.1 CARGA MÁXIMA PARA HORMIGÓN DE 280 kg/cm²

Se realizó pruebas monotónicas para proporcionar un aproximado de la carga máxima. Para el efecto se analizará el hormigón de 280 kg/cm². Las probetas analizadas serán M4-280-45-6, M4-280-90-4 y M4-280-90-7.

En la tabla 5.1 se presenta la carga máxima de cada probeta y la escogida para la experimentación con su respectivo 5% y 40%.

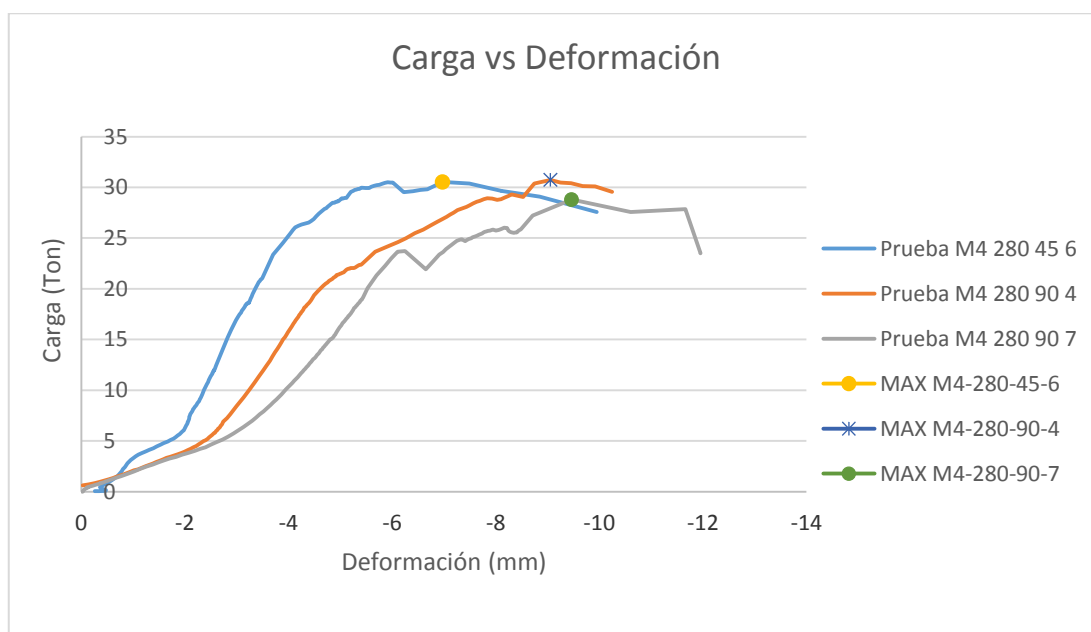
TABLA 5.1 Carga máxima hormigón 280 kg/cm².

Hormigón 280 kg/cm ²			
Probeta	P max (T)	5% P max (T)	40% P max (T)
M4 - 280 - 45 - 6	30,53	2	13
M4 - 280 - 90 - 7	28,79	1	12
M4 - 280 - 90 - 4	30,73	2	13
Carga máxima (Ton)	30,73	2	13

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la figura 5.1 se presenta la gráfica carga vs deformación para las probetas antes mencionadas, adicionalmente se presentan los puntos de carga máxima para cada probeta.

FIGURA 5.1 Carga vs deformación hormigón 280 Kg/cm².



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En las figuras 5.2, 5.3 y 5.4 se presenta las fallas que se generaron en las probetas de la figura 5.1.

FIGURA 5.2 Fallas probeta de prueba M4-280-45-6.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.3 Fallas probeta de prueba M4-280-90-7.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.4 Fallas probeta de prueba M4-280-90-4.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.2.2 CARGA MAXIMA PARA 210 Kg/cm²

Con un procedimiento similar a la sección 5.2.1 se realizó el análisis de la carga máxima para el hormigón de 210 kg/cm². La probeta analizada es la M4-210-45-5. En la tabla 5.2 se presenta la carga máxima de la probeta con su respectivo 5% y 40%.

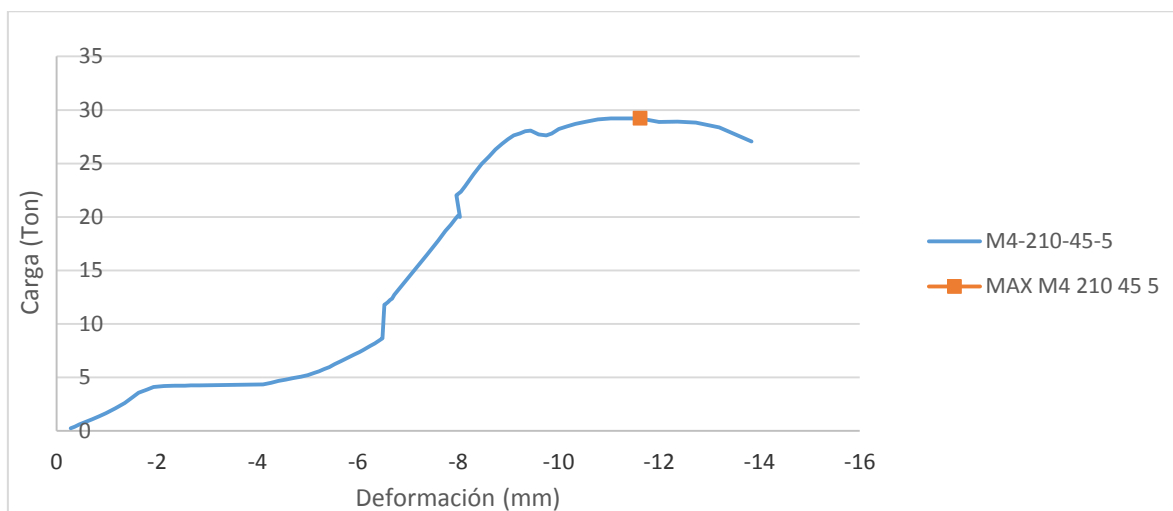
TABLA 5.2 Carga máxima hormigón 210 kg/cm².

Probeta	P max (T)	5% P max (T)	40% P max (T)
M4 - 210 - 45 - 5	29,21	1,5	11,68
Carga máxima	29,21	1,5	12

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la figura 5.5 se presenta la gráfica carga vs deformación para la probeta antes mencionada, adicionalmente se presentan el punto de carga máxima.

FIGURA 5.5 Carga vs deformación Hormigón 210 kg/cm² .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.6 Fallas probeta de prueba M4-280-90-4.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.3 VALIDACIÓN DE DATOS

La validación de datos consiste en determinar si los datos extraídos del ensayo están de acuerdo con los parámetros presente en el Eurocódigo 4 “Proyectos de estructuras mixtas de hormigón y acero”. Se verificará si los ciclos de carga y descarga están entre el 5% y 40% de la carga máxima esperada. Además, se verificará que los tiempos de ruptura después de los ciclos de carga no sea superiores a 10 minutos.

5.3.1 CICLOS DE CARGA Y DESCARGA

5.3.1.1 DESARROLLO DE DATOS

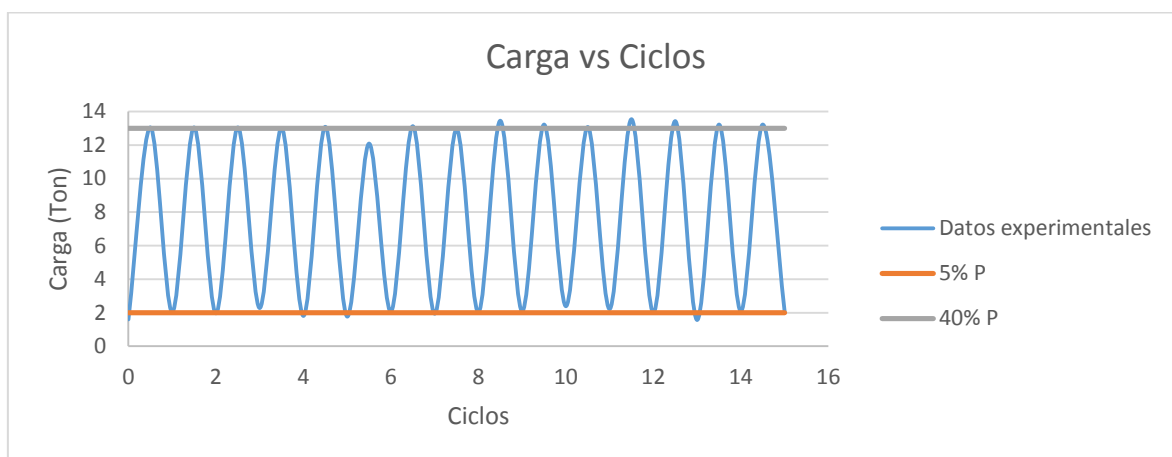
Se analizará los datos de carga inicial de la probeta M4-280-45-1, donde se calculará el promedio, valor máximo, valor mínimo, rango y desviación estándar. En la tabla 5.3, se detalla los ciclos y carga correspondientes para el proceso de experimentación.

TABLA 5.3 Datos probeta M4-280-45-1.

M4-280-45-1		
CICLO	CARGA INICIAL	CARGA FINAL
1	1,605	13,055
2	2,039	13,054
3	1,967	13,054
4	2,280	13,018
5	1,810	13,091
6	1,774	12,089
7	2,063	13,126
8	1,942	12,945
9	2,027	13,452
10	2,087	13,224
11	2,389	13,079
12	2,220	13,544
13	2,003	13,430
14	1,569	13,224
15	2,087	13,224

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En el análisis se excluyen los datos que estén alejados de los valores determinados en la sección 5.2, como es para este caso el ciclo 6. En la figura 5.3 se presenta la gráfica de carga en función de los ciclos para la probeta M4-280-45-1 únicamente para los ciclos de carga y descarga. Adicionalmente se detalla los valores teóricos de carga inicial y máxima, que en el ensayo se debería haber obtenido.

FIGURA 5.7 Carga vs ciclo probeta M4-280-45-1.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Promedio

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}$$

\bar{x} = Promedio

$\sum x$ = Sumatoria de datos

n = Numero de datos

$$\begin{aligned} \sum x &= 1,605 + 2,039 + 1,967 + 2,280 + 1,810 + 2,063 + 1,942 + 2,027 + 2,087 \\ &\quad + 2,389 + 2,220 + 2,003 + 1,569 + 2,087 = 28,089 \end{aligned}$$

$n = 14$

$$\bar{x} = \frac{28,089}{14} = 2,006$$

Valor máximo

Max= 2,389

Valor mínimo

Min= 1,569

Rango

$$Rango = Max - Min$$

$$Rango = 2,389 - 1,569 = 0,82$$

Desviación estándar

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

En la tabla 5.4 se desarrolla el cálculo de la desviación estándar para los datos de carga inicial denotados como x_i . Se calcula \bar{x} que es el promedio de los valores x_i , n es el número de datos, $\sum(x_i - \bar{x})^2$ la sumatoria del cuadrado de la diferencia de cada x_i con el promedio.

TABLA 5.4 Cálculo de desviación estándar.

Xi	$x_i - \bar{x}$
1,605	0,161
2,039	0,001
1,967	0,002
2,280	0,075
1,810	0,039
2,063	0,003
1,942	0,004
2,027	0,000
2,087	0,007
2,389	0,146
2,220	0,046
2,003	0,0005
1,569	0,192
2,087	0,007
Xprom=	2,006
n=	14
$\sum (x_i - \bar{x})^2$	0,682
s	0,229

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Error

El valor real se usa el valor determinado en la tabla 5.1, para este caso como los datos son de carga inicial se usará el valor de 5% de la carga máxima. Para el valor calculado se usa el promedio de los datos obtenido de la tabla 5.4.

$$Error = \left| \frac{Valor\ real - Valor\ calculado}{Valor\ real} \right| \cdot 100\%$$

$$Error = \left| \frac{2 - 2,006}{2} \right| \cdot 100$$

$$Error = 0,3 \%$$

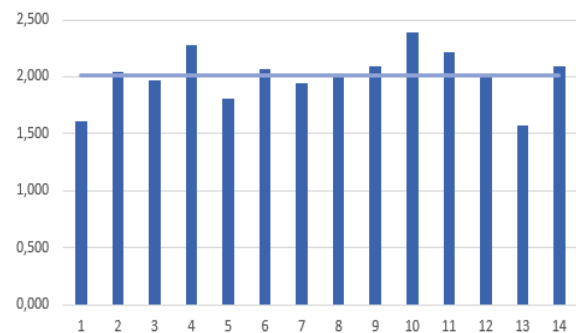
El cálculo se realizó para carga inicial y máxima con los datos de la probeta M4-280-45-1 como se muestra en la tabla 5.5, en las figuras 5.8 y 5.9 se presentan los datos en un diagrama de barra y con una línea horizontal el valor promedio de la carga máxima o mínima según corresponda.

TABLA 5.5 Análisis carga y descarga para la probeta M4-280-45-1.

M4-280-45-1		
CICLO	CARGA INICIAL	CARGA MAXIMA
1	1,605	13,055
2	2,039	13,054
3	1,967	13,054
4	2,280	13,018
5	1,810	13,091
6	1,774	12,089
7	2,063	13,126
8	1,942	12,945
9	2,027	13,452
10	2,087	13,224
11	2,389	13,079
12	2,220	13,544
13	2,003	13,430
14	1,569	13,224
15	2,087	13,224
Promedio	2,006	13,180
Max	2,389	13,544
Min	1,569	12,945
Rango	0,820	0,599
Desviación	0,229	0,181
ERROR	0,32%	1,39%

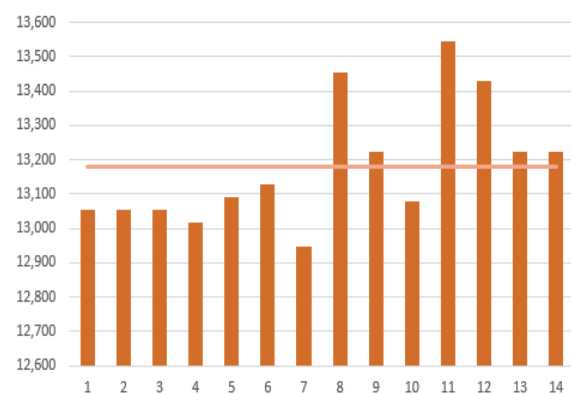
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.9 Datos de Carga inicial para ciclos de carga probeta M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.8 Datos de carga máxima para ciclos de carga probeta M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.3.1.2 PRESENTACION DE RESULTADOS POR TIPO DE PROBETAS

En cada tipo de probeta se presentará una tabla resumen, donde se presenta promedio, máximo, mínimo, rango, desviación estándar y error. Posteriormente se presenta la gráfica en donde se aprecia cada probeta con su valor promedio y el valor promedio del tipo de probeta.

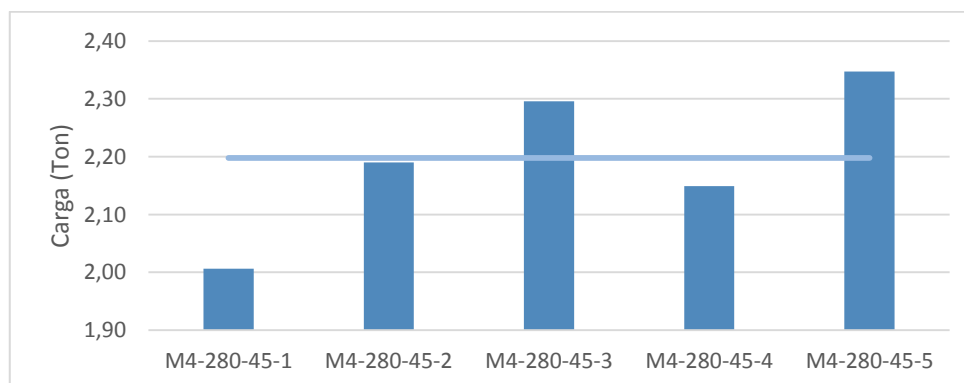
En la tabla 5.6 se presentan los resultados de carga inicial de las probetas que están conformadas por hormigón de 280 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 45° . En la figura 5.10 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.6.

TABLA 5.6 Procesamiento de datos para carga inicial $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

CICLO	Carga inicial (T)				
	M4-280-45-1	M4-280-45-2	M4-280-45-3	M4-280-45-4	M4-280-45-5
1	1,605	2,124	1,064	2,282	2,633
2	2,039	2,039	2,212	2,052	2,053
3	1,967	2,064	2,140	2,242	2,476
4	2,280	2,293	2,430	2,004	2,246
5	1,810	2,100	2,406	2,185	2,766
6	1,774	2,426	2,551	2,330	2,403
7	2,063	2,039	2,309	1,944	2,295
8	1,942	2,196	2,321	2,282	2,681
9	2,027	2,269	2,744	2,282	2,621
10	2,087	2,039	2,418	2,249	2,294
11	2,389	2,100	2,647	2,064	2,548
12	2,220	2,474	2,454	2,161	2,741
13	2,003	1,991	2,442	2,209	2,029
14	1,569	2,437	2,369	2,028	2,173
15	2,087	2,256	1,849	2,052	2,789
Promedio	2,006	2,190	2,296	2,149	2,347
Max	2,389	2,474	2,744	2,330	2,789
Min	1,569	1,991	1,064	1,944	2,029
Rango	0,820	0,483	1,680	0,386	0,761
Desviación	0,229	0,161	0,414	0,123	0,258
ERROR	0,32%	9%	15%	7%	17%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.10 Carga inicial promedio, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.7 se presentan los resultados de carga máxima de las probetas que están conformadas por hormigón de 280 Kg/cm^2 y que posea un ángulo de

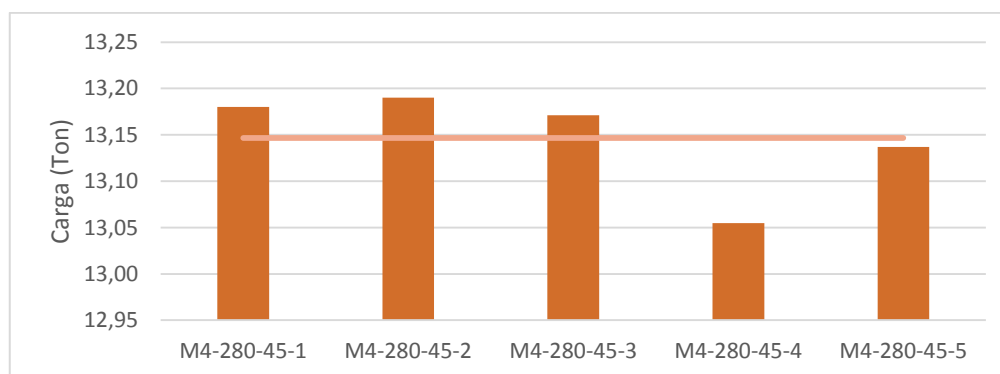
inclinación del conector de corte de 45°. En la figura 5.11 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.7.

TABLA 5.7 Procesamiento de datos para carga máxima, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.

Ciclo	Carga máxima (T)				
	M4-280 -45-1	M4-280 -45-2	M4-280 -45-3	M4-280 -45-4	M4-280 -45-5
1	13,055	13,202	13,396	13,231	13,249
2	13,054	13,347	14,313	12,893	13,213
3	13,054	12,985	13,008	13,014	13,381
4	13,018	13,593	12,984	13,038	13,116
5	13,091	13,033	13,044	12,905	12,934
6	12,089	13,105	12,960	13,231	13,139
7	13,126	13,273	13,214	13,002	13,078
8	12,945	13,225	13,249	13,038	13,042
9	13,452	13,412	12,935	14,425	13,030
10	13,224	13,057	13,055	12,892	12,933
11	13,079	13,165	13,200	13,242	13,030
12	13,544	13,298	13,478	13,315	13,138
13	13,430	13,069	13,115	12,977	13,017
14	13,224	13,068	13,187	13,097	13,529
15	13,224	13,020	13,574	12,893	13,452
Promedio	13,180	13,190	13,171	13,055	13,137
Max	13,544	13,593	13,574	14,425	13,529
Min	12,945	12,985	12,935	12,892	12,933
Rango	0,599	0,609	0,639	1,533	0,596
Desviación	0,181	0,171	0,198	0,146	0,181
ERROR	1%	1%	1%	0,42%	1%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.11 Carga máxima promedio, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45°.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

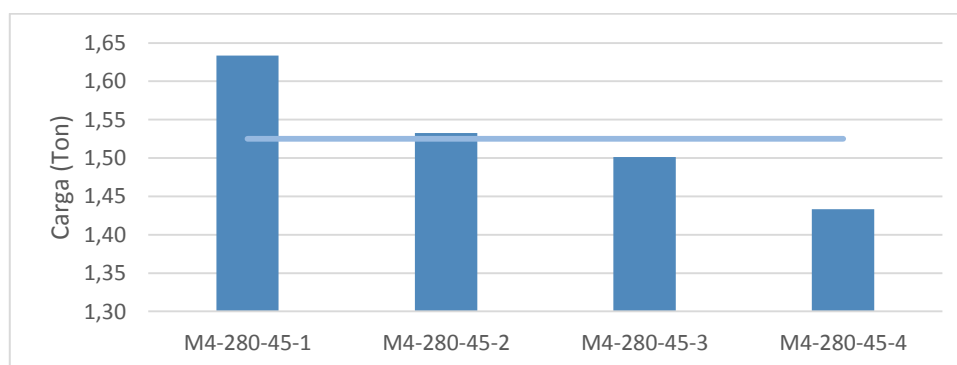
En la tabla 5.8 se presentan los resultados de carga inicial de las probetas que están conformadas por hormigón de 210 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 45° . En la figura 5.12 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.8.

TABLA 5.8 Procesamiento de datos para carga inicial, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

CICLO	Carga inicial (T)			
	M4-210 -45-1	M4-210 -45-2	M4-210 -45-3	M4-210 -45-4
1	0,893	1,822	0,519	1,907
2	1,677	1,581	0,362	0,748
3	1,436	1,484	0,483	1,593
4	1,653	1,460	1,534	1,485
5	1,629	1,533	1,546	1,557
7	1,569	1,472	1,570	1,449
8	1,641	1,496	1,474	1,412
9	1,774	1,533	1,522	1,593
10	1,629	1,786	1,570	1,521
11	1,726	1,484	1,510	1,424
12	1,774	1,110	1,486	1,268
13	1,641	1,690	1,534	0,905
14	1,412	1,533	1,377	1,243
15	1,653	1,472	1,389	1,581
Promedio	1,633	1,533	1,501	1,433
Max	1,774	1,822	1,570	1,907
Min	1,412	1,110	1,377	0,905
Rango	0,362	0,712	0,193	1,002
Desviación	0,117	0,176	0,066	0,249
ERROR	9%	2%	0%	4%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.12 Carga inicial promedio, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

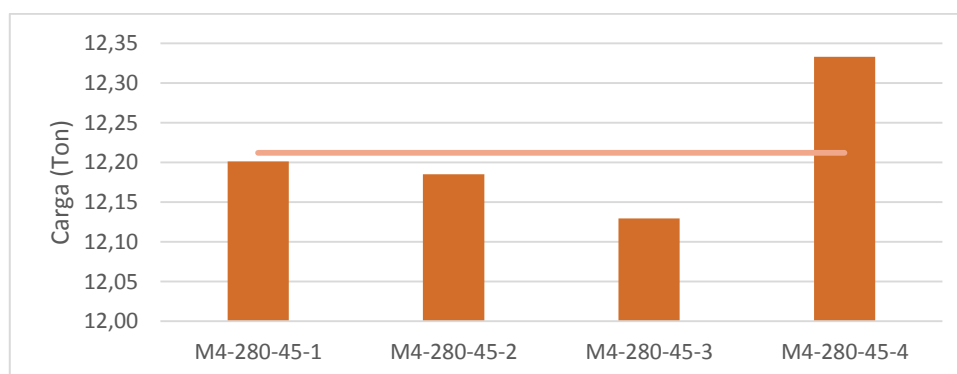
En la tabla 5.9 se presentan los resultados de carga máxima de las probetas que están conformadas por hormigón de 210 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 45° . En la figura 5.13 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.9.

TABLA 5.9 Procesamiento de datos para carga máxima, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Carga máxima				
CICLO	M4-210 -45-1	M4-210 -45-2	M4-210 -45-3	M4-210 -45-4
1	13,528	12,659	12,008	12,084
2	15,965	12,008	12,057	14,099
3	12,043	12,020	12,165	12,470
4	11,983	11,984	12,576	12,072
5	12,200	12,286	12,685	12,011
7	13,057	12,092	12,140	12,048
8	12,019	12,273	12,019	12,386
9	12,864	13,613	12,877	14,330
10	12,285	11,936	12,163	12,422
11	12,345	12,201	11,994	12,446
12	12,164	12,563	12,030	12,869
13	11,947	12,273	11,607	12,180
14	12,466	12,008	12,296	12,675
15	11,898	12,105	11,196	13,194
Promedio	12,201	12,185	12,130	12,333
Max	12,864	12,659	12,877	12,869
Min	11,898	11,936	11,196	12,011
Rango	0,966	0,724	1,680	0,857
Desviación	0,283	0,224	0,421	0,280 kg/cm2
ERROR	2%	2%	1%	3%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.13 Carga máxima promedio, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

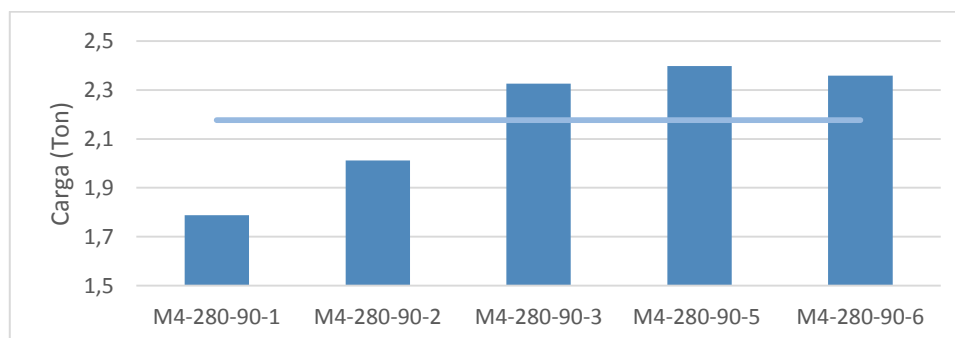
En la tabla 5.10 se presentan los resultados de carga inicial de las probetas que están conformadas por hormigón de 280 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 90° . En la figura 5.14 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.10.

TABLA 5.10 Procesamiento de datos para carga inicial, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

CICLO	Carga inicial				
	M4-280 -90-1	M4-280 -90-2	M4-280 -90-3	M4-280 -90-5	M4-280 -90-6
1	2,100	1,655	1,894	1,812	2,075
2	1,545	1,703	2,715	1,982	1,786
3	2,075	2,089	2,269	2,525	2,160
4	2,100	2,089	2,450	2,694	1,931
5	2,015	1,606	2,594	2,513	2,836
6	1,788	2,012	2,325	2,398	2,358
7	1,991	2,017	2,510	2,537	2,437
8	1,919	2,162	2,353	2,779	2,268
9	1,629	1,872	2,811	2,223	1,894
10	1,484	2,162	2,522	2,694	2,739
11	1,532	2,500	0,072	2,392	2,474
12	1,569	2,330	1,750	2,682	2,643
13	1,629	1,896	1,532	2,138	2,208
14	1,593	2,125	2,618	2,332	2,498
15	1,677	1,835	2,208	2,501	2,787
Promedio	1,788	2,012	2,325	2,398	2,358
Max	2,100	2,500	2,811	2,779	2,836
Min	1,484	1,606	1,532	1,812	1,786
Rango	0,615	0,893	1,279	0,966	1,050
Desviación	0,237	0,242	0,372	0,294	0,337
ERROR	11%	1%	16%	20%	18%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.14 Carga inicial promedio, $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

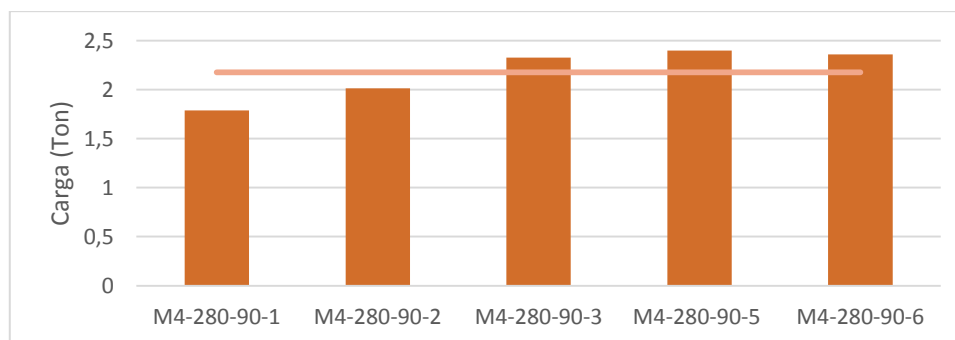
En la tabla 5.11 se presentan los resultados de carga máxima de las probetas que están conformadas por hormigón de 280 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 90° . En la figura 5.15 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.11.

TABLA 5.11 Procesamiento de datos para carga máxima, $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

CICLO	Carga máxima				
	M4-280 -90-1	M4-280 -90-2	M4-280 -90-3	M4-280 -90-5	M4-280 -90-6
1	12,959	13,080	13,116	13,014	14,419
2	11,367	15,169	13,177	13,061	13,309
3	12,984	13,006	13,515	13,279	13,044
4	13,286	12,910	13,129	14,789	13,297
5	10,969	13,066	13,200	14,620	12,935
6	13,183	13,077	13,302	13,164	13,207
7	13,165	12,958	13,261	13,351	13,007
8	13,515	13,006	13,574	13,158	12,995
9	14,010	14,177	13,369	13,750	13,345
10	13,032	13,596	13,309	13,290	13,912
11	13,008	12,691	13,128	13,169	13,068
12	13,286	14,526	13,442	13,072	12,983
13	13,237	13,319	13,152	13,048	13,333
14	13,044	13,282	13,213	13,301	13,261
15	13,502	12,932	13,466	13,059	13,201
Promedio	13,183	13,077	13,302	13,164	13,207
Max	13,515	13,596	13,574	13,351	13,912
Min	12,959	12,691	13,116	13,014	12,935
Rango	0,555	0,906	0,458	0,338	0,977
Desviación	0,190	0,232	0,150	0,116	0,249
ERROR	1%	1%	2%	1%	2%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.15 Carga máxima promedio, $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

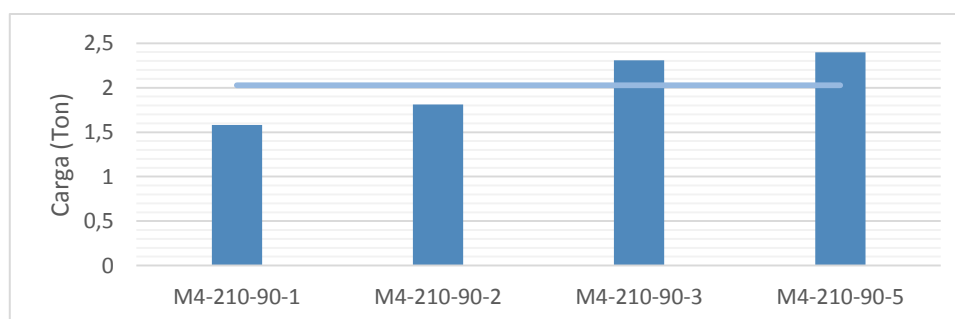
En la tabla 5.12 se presentan los resultados de carga inicial de las probetas que están conformadas por hormigón de 210 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 90° . En la figura 5.16 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.12.

TABLA 5.12 Procesamiento de datos para carga inicial, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

CICLO	Carga inicial			
	M4-210-90-1	M4-210 -90-2	M4-210 -90-3	M4-210 -90-5
1	2,100	1,655	1,894	1,812
2	1,545	1,703	2,715	1,982
3	2,075	2,089	2,269	2,525
4	2,100	2,089	2,450	2,694
5	2,015	1,606	2,594	2,513
7	1,991	2,017	2,510	2,537
8	1,919	2,162	2,353	2,779
9	1,629	1,872	2,811	2,223
10	1,484	2,162	2,522	2,694
11	1,532	2,500	0,072	2,392
12	1,569	2,330	1,750	2,682
13	1,629	1,896	1,532	2,138
14	1,593	2,125	2,618	2,332
15	1,677	1,835	2,208	2,501
Promedio	1,79	1,81	2,31	2,40
Max	2,10	2,50	2,811	2,78
Min	1,48	1,61	1,532	1,81
Rango	0,615	0,893	1,279	0,966
Desviación	0,25	0,25	0,39	0,31
ERROR	11%	9%	15%	20%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.16 Carga máxima promedio, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

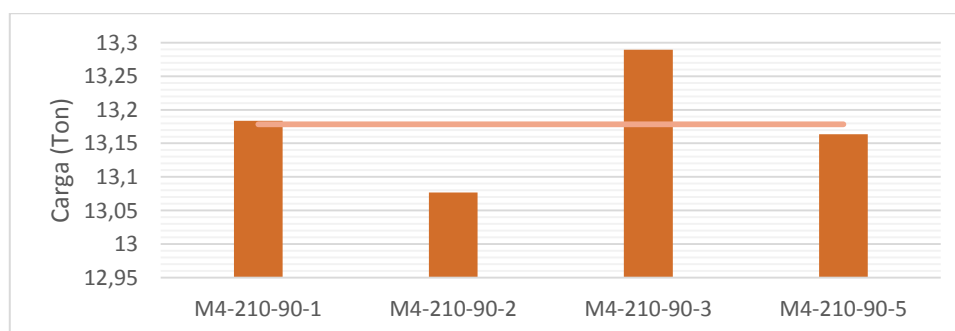
En la tabla 5.13 se presentan los resultados de carga máxima de las probetas que están conformadas por hormigón de 210 kg/cm² y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 90°. En la figura 5.17 se presentan un diagrama de barras con los valores de la tabla 5.13.

TABLA 5.13 Procesamiento de datos para carga máxima, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.

CICLO	Carga máxima			
	M4-210 -90-1	M4-210 -90-2	M4-210 -90-3	M4-210 -90-5
1	12,959	13,080	13,116	13,014
2	11,367	15,169	13,177	13,061
3	12,984	13,006	13,515	13,279
4	13,286	12,910	13,129	14,789
5	10,969	13,066	13,200	14,620
7	13,165	12,958	13,261	13,351
8	13,515	13,006	13,574	13,158
9	14,010	14,177	13,369	13,750
10	13,032	13,596	13,309	13,290
11	13,008	12,691	13,128	13,169
12	13,286	14,526	13,442	13,072
13	13,237	13,319	13,152	13,048
14	13,044	13,282	13,213	13,301
15	13,502	12,932	13,466	13,059
Promedio	13,18	13,08	13,29	13,16
Max	13,51	13,60	13,574	13,35
Min	12,96	12,69	13,116	13,01
Rango	0,555	0,906	0,458	0,338
Desviación	0,20	0,24	0,16	0,12
ERROR	1%	1%	2%	1%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.17 Carga máxima promedio, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.



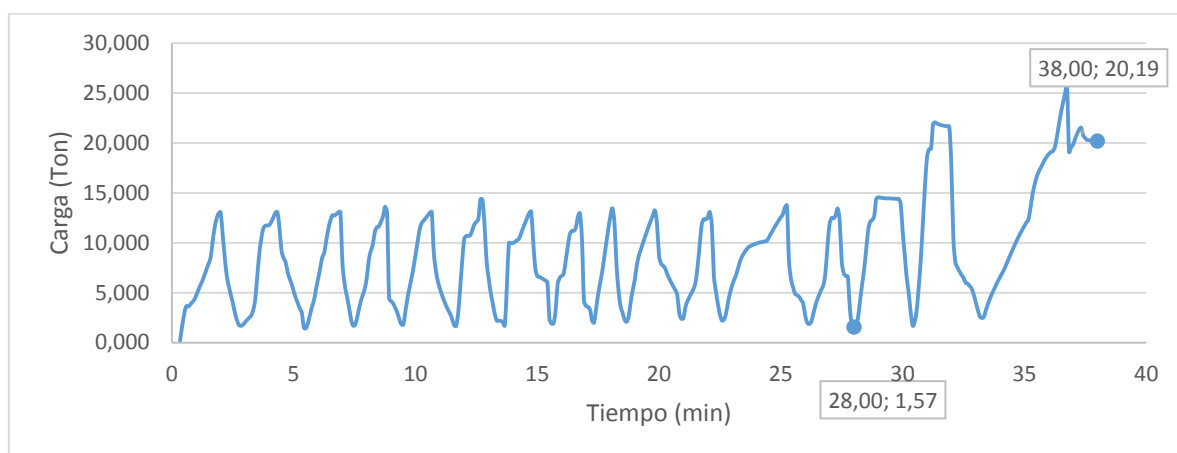
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.3.2 TIEMPOS DE ENSAYO

Por las correcciones realizadas se establece que después de los ciclos de carga y descarga el tiempo restante del ensayo no debe ser menor a 10 minutos, para poder validar este criterio se realizara la gráfica carga en función del tiempo y se marcara el valor de tiempo al finalizar el ciclo 15 y el tiempo cuando se termine el ensayo, a la diferencia de este valor lo denotaremos como tiempo final de falla.

Este proceso se desarrolla para cada probeta, en las figuras 5.18, 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22 se presenta para probetas con hormigón de 280 kg/cm^2 y que posea un ángulo de inclinación del conector de corte de 45° .

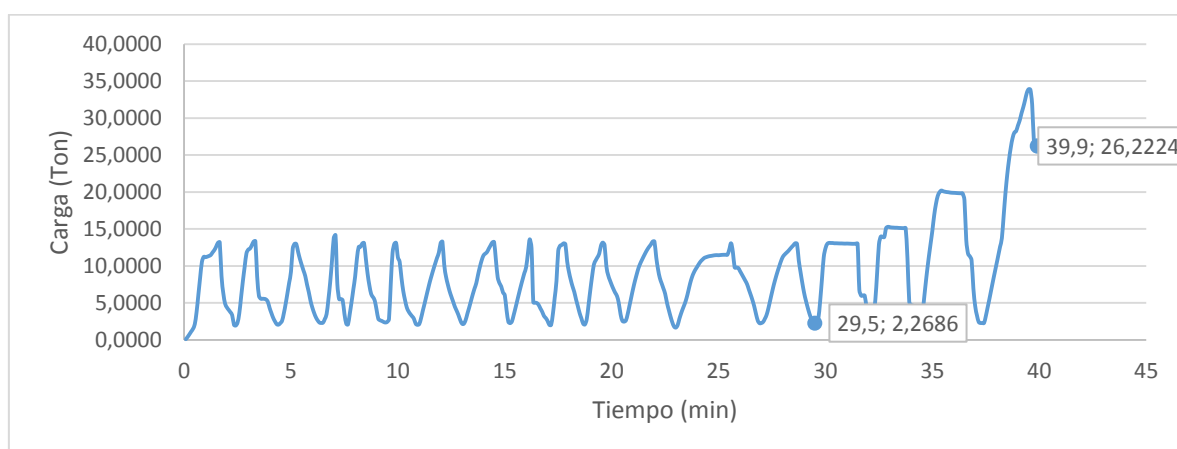
FIGURA 5.18 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

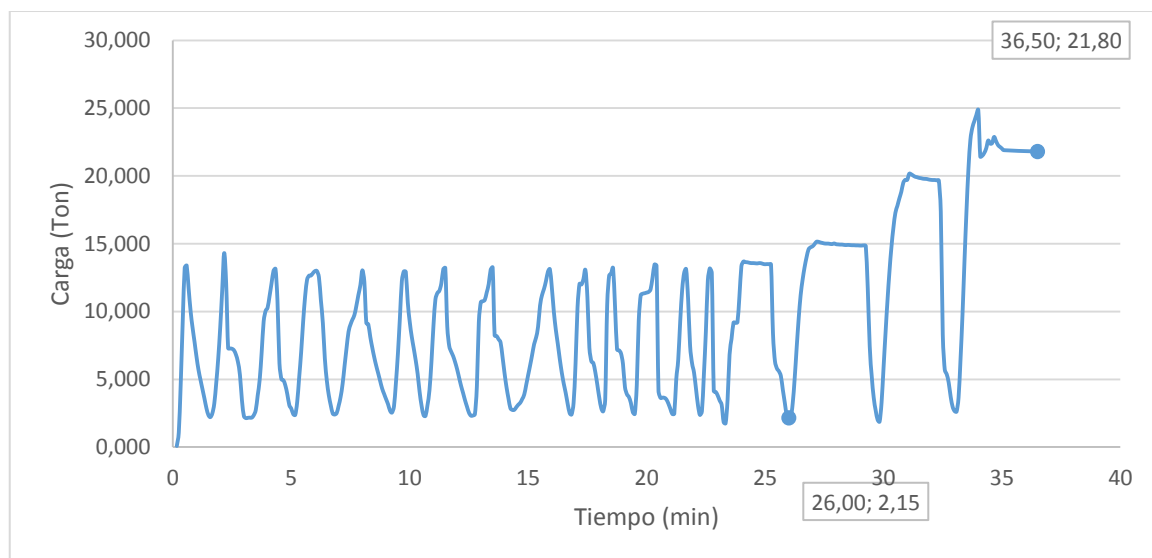
$$\text{Tiempo final de falla} = 38 - 28 = 10 \text{ min}$$

FIGURA 5.19 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-2.



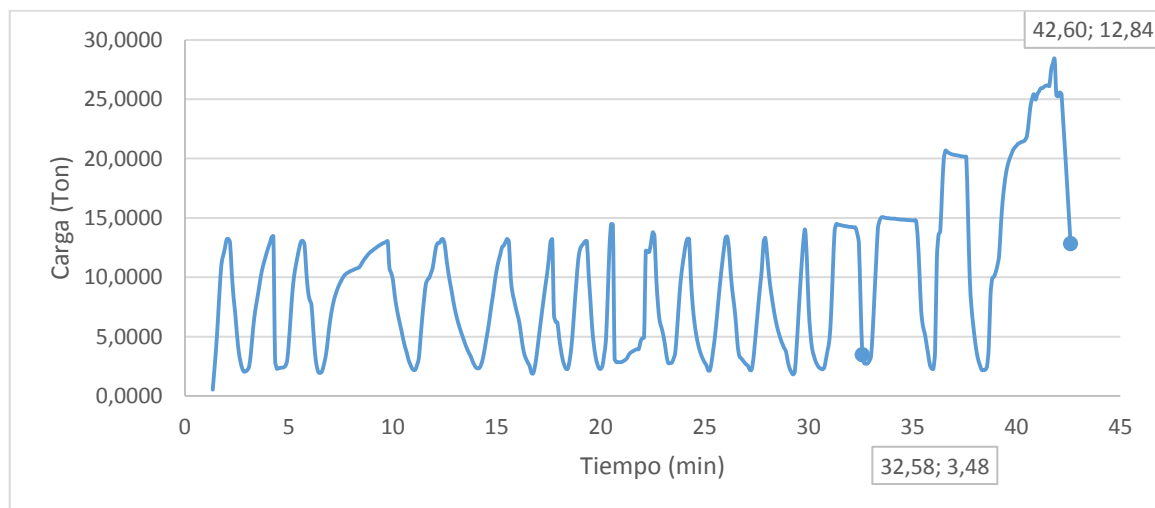
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$\text{Tiempo final de falla} = 39,9 - 29,5 = 10,4 \text{ min}$$

FIGURA 5.20 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-3.

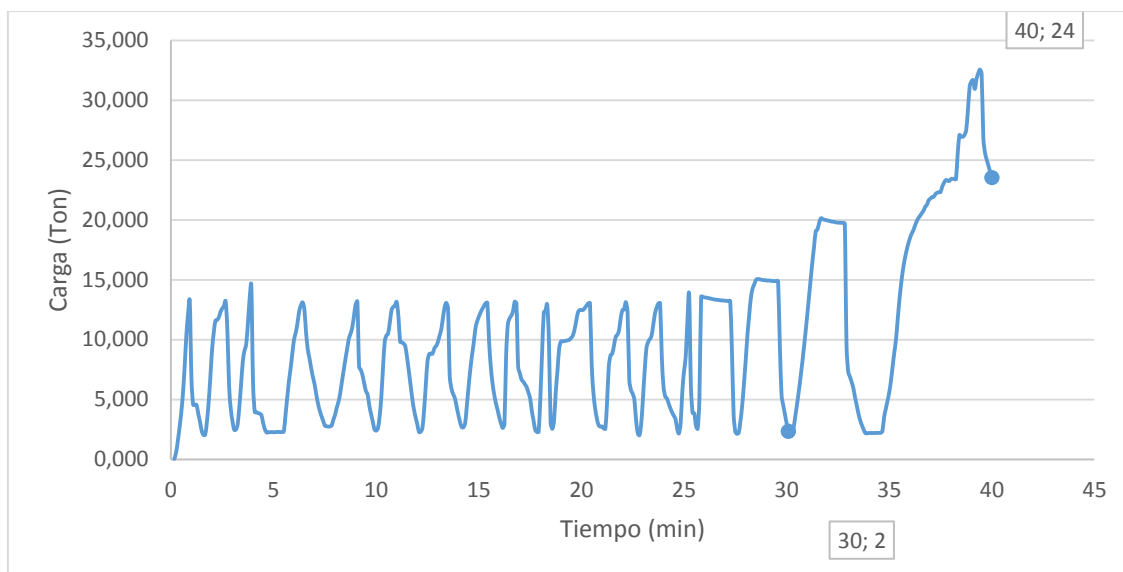
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$\text{Tiempo final de falla} = 36,5 - 26 = 10,5 \text{ min}$$

FIGURA 5.21 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-4.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

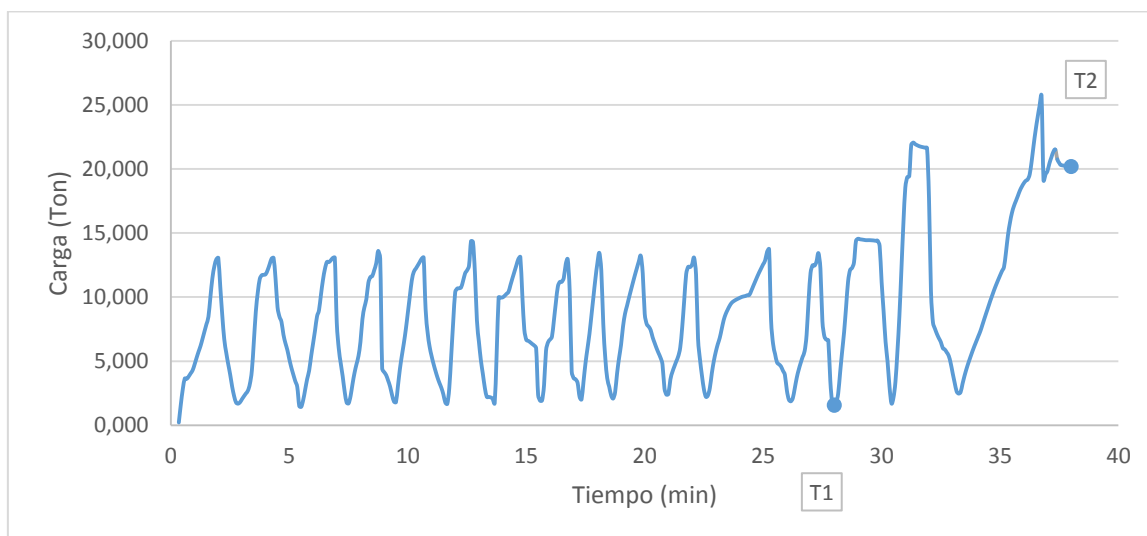
$$\text{Tiempo final de falla} = 42,6 - 32,6 = 10 \text{ min}$$

FIGURA 5.22 Análisis tiempo vs ciclos probeta M4-280-45-5.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$\text{Tiempo final de falla} = 40 - 30 = 10 \text{ min}$$

En la figura 5.23 se presenta, T1 que es el tiempo al culminar los ciclos de carga y descarga, T2 es el tiempo total hasta que la probeta llega a la falla y el tiempo final de falla es la diferencia entre T2 y T1.

FIGURA 5.23 Simbología análisis de tiempos.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.14 se presenta una tabla resumen del tiempo T1, T2 y tiempo final de falla. Para las probetas con hormigón de 280 kg/cm^2 y un ángulo de inclinación de los conectores de corte de 45° .

TABLA 5.14 Análisis de tiempos, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Tiempo 1 (min)	Tiempo 2 (min)	Tiempo final de falla (min)
M4-280 -45-1	28	38	10
M4-280 -45-2	29,5	29,9	0,4
M4-280 -45-3	26	26,5	0,5
M4-280 -45-4	37,58	42,6	5,02
M4-280 -45-5	30	40,3	10,3

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.15 se presenta una tabla resumen del tiempo T1, T2 y tiempo final de falla. Para las probetas con hormigón de 210 kg/cm^2 y un ángulo de inclinación de los conectores de corte de 45° .

TABLA 5.15 Análisis de tiempos, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Tiempo 1 (min)	Tiempo 2 (min)	Tiempo final de falla (min)
M4-210 -45-1	24,58	36,67	12,09
M4-210 -45-2	50,1	60,17	10,07
M4-210 -45-3	38,67	58,58	19,91
M4-210 -45-4	58,25	71,08	12,83

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.16 se presenta una tabla resumen del tiempo T1, T2 y tiempo final de falla. Para las probetas con hormigón de 280 kg/cm^2 y un ángulo de inclinación de los conectores de corte de 90° .

TABLA 5.16 Análisis de tiempos, $f'c= 280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	Tiempo 1 (min)	Tiempo 2 (min)	Tiempo final de falla (min)
M4-280 -80-1	37,33	47,5	10,17
M4-280 -80-2	38,08	48,25	10,17
M4-280 -80-3	31,67	41,77	10,1
M4-280 -80-5	23,17	35,67	12,5
M4-280 -80-6	25,05	34,82	9,77

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.17 se presenta una tabla resumen del tiempo T1, T2 y tiempo final de falla. Para las probetas con hormigón de 210 Kg/cm² y un ángulo de inclinación de los conectores de corte de 90°.

TABLA 5.17 Análisis de tiempos, $f'c= 210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90°.

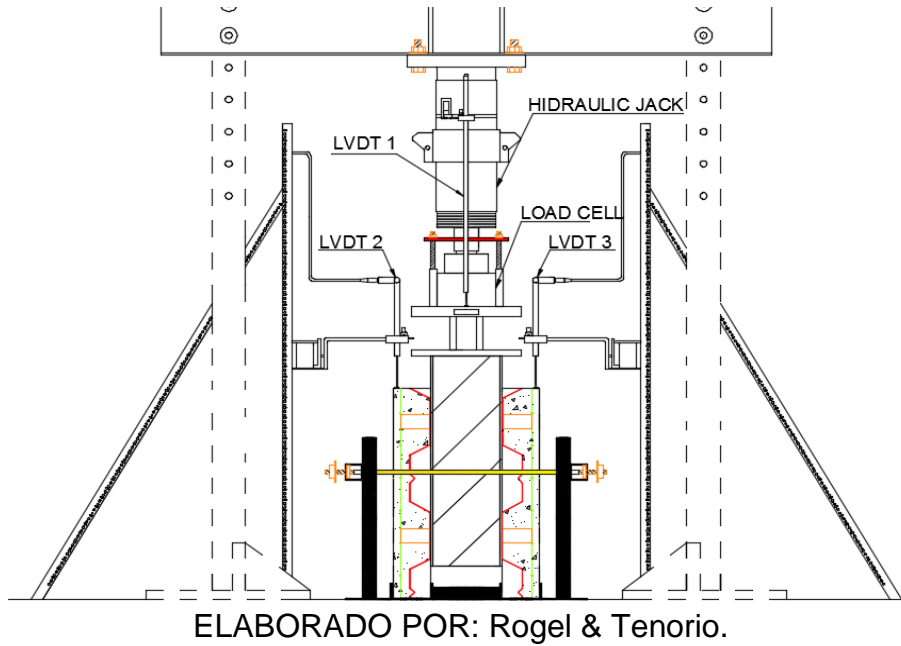
Probeta	Tiempo 1 (min)	Tiempo 2 (min)	Tiempo final de falla (min)
M4-210 -90-1	38,42	56,58	18,16
M4-210 -90-2	19,41	37,58	18,17
M4-210 -90-3	49,25	72,41	23,16
M4-210 -90-5	30,25	50,33	20,08

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.3.3 COMPORTAMIENTO Y DISTRIBUCION DE FUERZAS POR LOSA

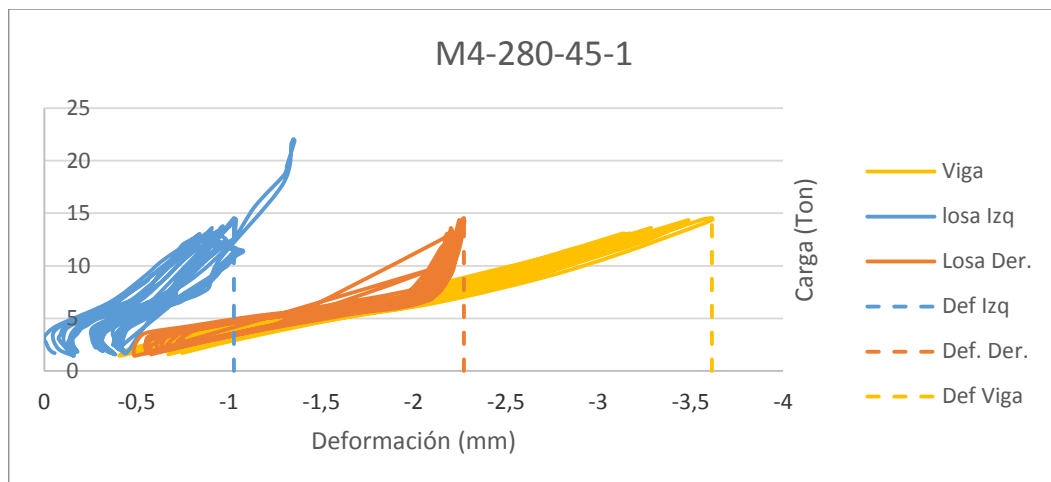
La hipótesis planteada es que la carga aplicada en la losa es distribuida en partes iguales, tanto para la losa izquierda como para la derecha. Sin embargo, por la geometría irregular de las probetas, que son provocadas por errores de fabricación y manufactura, estas falencias en la geometría derivan en fallos en la distribución de carga durante los ensayos de laboratorio. Para poder determinar en qué porcentaje se distribuyó finalmente la carga aplicada en la viga hacia las losas, se calculó el error relativo entre la deformación de la viga de acero y la suma de las deformaciones obtenidas en la parte superior de las losas. Ya que la deformación es directamente proporcional a la carga, realizar esta medición dará una prueba consistente de que el sistema funciona de forma conjunta, este análisis se deberá realizar dentro del rango elástico, para este ensayo se analizará los datos en los ciclos de carga y descarga. En teoría este error debería ser no mayor de 10% para verificar el funcionamiento monolítico del sistema compuesto.

En la figura 5.24 se presenta la ubicación de los LVDT's, sensores encargados de la recolección de datos de deformación para los tres elementos a analizar.

FIGURA 5.24 Ubicación de los LVDT's.

Se presentará el desarrollo para la obtención del error relativo entre las deformaciones de las losas y la viga, para la probeta M4-280-45-1.

En la figura 5.25 se grafica las deformaciones generadas por la LDTV colocados en la losa izquierda, losa derecha y viga como se mostró en la figura 5.24. En línea entrecortada se presenta los valores de deformación máxima para cada elemento anteriormente mencionado.

FIGURA 5.25 Deformaciones de LVDT's.

En la tabla 5.18 se detalla los valores de deformación y carga, obtenidos de la probeta M4-280-45-1.

TABLA 5.18 Deformaciones losas y viga M4-280-45-1.

Carga máxima (T)	Viga (mm)	Def. Izquierda (mm)	Def. Derecha (mm)
14,552	-3,615	-1,027	-2,272

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

El cálculo de error relativo entre la deformación de la viga y las deformaciones de las losas, se calcula de la siguiente forma:

Datos

$$Deformación\ viga = -3,615$$

$$Deformación\ losas = -1,027 - 2,272 = -3,344$$

Cálculo del error porcentual

$$Error\ \% = abs\left(\frac{Deformación\ viga - Deformación\ losas}{Deformación\ viga}\right) \cdot 100\%$$

$$Error\ \% = abs\left(\frac{-3,615 - 3,344}{-3,615}\right) \cdot 100\%$$

$$Error\ \% = 9\%$$

Una vez calculado el error y verificar que no sobrepase el 10% de error porcentual, se procede a calcular el porcentaje de carga que resiste cada losa durante el desarrollo del ensayo, la forma de cálculo se detalla a continuación.

Datos

$$Deformación\ losa\ izquierda = -1,027\ mm$$

$$Deformación\ losa\ derecha = -2,272\ mm$$

$$Deformación\ total = -3,30\ mm$$

Porcentaje losa izquierda

$$\% Carga\ losa\ izquierda = \frac{Deformación\ losa\ izquierda}{Deformación\ Total} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ Carga losa izquierda} = \frac{-1,027}{-3,30} \cdot 100\% = 31\%$$

Porcentaje losa derecha

$$\% \text{ Carga losa derecha} = \frac{\text{Deformación losa derecha}}{\text{Deformación Total}} \cdot 100\%$$

$$\% \text{ Carga losa derecha} = \frac{-2,272}{-3,30} \cdot 100\% = 69\%$$

En las tablas 5.19, 5.20, 5.21 y 5.22 se presenta el error porcentual de la diferencia de deformaciones, adicionalmente se presenta la distribución porcentual de carga por losa.

TABLA 5.19 Análisis de distribución de cargas, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Def. izq (mm)	Def. der (mm)	Def. viga (mm)	Def. losas (mm)	Error losa/viga	% Carga losa izq.	% Carga losa der.
M4-280 -45-1	14,552	-1,027	-2,272	-3,615	9%	31%	69%
M4-280 -45-2	13,105	-1,454	-1,160	-2,714	4%	56%	44%
M4-280 -45-3	13,381	-1,718	-3,235	-4,653	6%	35%	65%
M4-280 -45-4	15,065	-3,564	-3,154	-6,470	4%	53%	47%
M4-280 -45-5	15,070	-2,537	-1,990	-4,885	7%	56%	44%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 5.20 Análisis de distribución de cargas, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Def. izq (mm)	Def. der (mm)	Def. viga (mm)	Def. losas (mm)	Error losa/viga	% Carga losa izq.	% Carga losa der.
M4-210 -45-1	-1,415	-1,953	-3,526	-3,368	5%	42%	58%
M4-210 -45-2	-1,622	-1,464	-2,768	-3,086	11%	53%	47%
M4-210 -45-3	-2,330	-2,018	-3,945	-4,349	10%	54%	46%
M4-210 -45-4	-3,720	-2,206	-5,853	-5,926	1%	63%	37%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 5.21 Análisis de distribución de cargas, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	Def. izq (mm)	Def. der (mm)	Def. viga (mm)	Def. losas (mm)	Error losa/viga	% Carga losa izq.	% Carga losa der.
M4-280 -90-1	-1,412	-1,893	-3,224	-3,305	2%	43%	57%
M4-280 -90-2	-1,780	-3,224	-4,560	-5,004	10%	36%	64%
M4-280 -90-3	-1,503	-1,493	-3,230	-2,996	7%	50%	50%
M4-280 -90-5	-1,296	-1,496	-3,044	-2,792	8%	46%	54%
M4-280 -90-6	-1,652	-1,501	-2,910	-3,153	8%	52%	48%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 5.22 Análisis de distribución de cargas, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	Def. izq (mm)	Def. der (mm)	Def. viga (mm)	Def. losas (mm)	Error losa/viga	% Carga losa izq.	% Carga losa der.
M4-210 -90-1	-2,271	-0,948	-3,386	-3,219	5%	71%	29%
M4-210 -90-2	-1,889	-1,389	-3,250	-3,277	1%	58%	42%
M4-210 -90-3	-2,129	-2,013	-3,839	-4,142	8%	51%	49%
M4-210 -90-4	-1,950	-1,567	-3,223	-3,517	9%	55%	45%

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.4 PRESENTACION RESULTADOS Y ANÁLISIS

Se presenta los resultados de la resistencia del conector “ P_{RD} ” basándose en el Eurocodigo 4, también se presenta los resultados del cálculo de la energía disipada del sistema, es decir, el área bajo la curva en la gráfica carga en función de la deformación, el comportamiento de los conectores con la ayuda de los strain gauge y los resultados de la variación de la sección transversal de las losas conforme se incrementó la carga.

5.4.1 CALCULO DE P_{RD}

El P_{RD} se denomina como la resistencia del conector, para su cálculo el Eurocodigo 4 con título “Estructuras Mixtas Acero Hormigón - Sección compuesta” presenta la siguiente formula:

$$P_{RD} = \left(\frac{Fu}{Fut} \right) \cdot \left(\frac{P_{RK}}{\gamma_V} \right) \leq \frac{P_{RK}}{\gamma_V}$$

Donde

F_u = Resistencia última mínima especifica del material del conector. “Datos del fabricante”

F_{ut} = Resistencia ultima real del material del conector en la probeta. “Obtenidos de ensayo a tracción”

γ_V = Debe tomarse como 1,25.

El P_{RK} se define como la carga de rotura mínima “ C_{rm} ” dividida por el número de conectores y reducida un 10%. Si la gráfica carga en función de deformación tiene falla frágil se determinará el valor de C_{rm} como el 85% de la carga máxima obtenida en el ensayo. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo con una probeta que presento una falla frágil durante el ensayo.

En la tabla 5.23, se observa algunos de los datos de carga y deformación de la probeta M4-280-45-1. Se marcó de color verde el valor aproximado de C_{rm} en los datos del ensayo, de color amarillo el valor de la deformación cuando el valor de carga vuelve a tener un aproximado a C_{rm} y de color rojo la carga máxima presentada durante el ensayo en laboratorio.

TABLA 5.23 Datos de carga M4-280-45-1.

M4-280-45-1		
Deformación	Carga	
cm	kg	T
-0,021	3812,741	3,813
-0,027	4054,054	4,054
-0,033	4295,367	4,295
-0,314	13054,073	13,054
-0,482	21936,916	21,937
-0,487	21863,461	21,863
-0,497	23009,725	23,010
-0,507	24011,195	24,011
-0,517	24916,141	24,916
-0,527	25712,492	25,712
-0,530	19112,430	19,112
-0,547	19570,936	19,571
-0,560	19836,385	19,836
-0,561	20439,682	20,440
-0,571	20910,252	20,910
-0,571	21344,625	21,345
-0,581	21501,482	21,501
-0,584	20753,396	20,753

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Datos:

$$Carga\ máxima = 25.712\ Ton$$

Calculo de P_{RK}

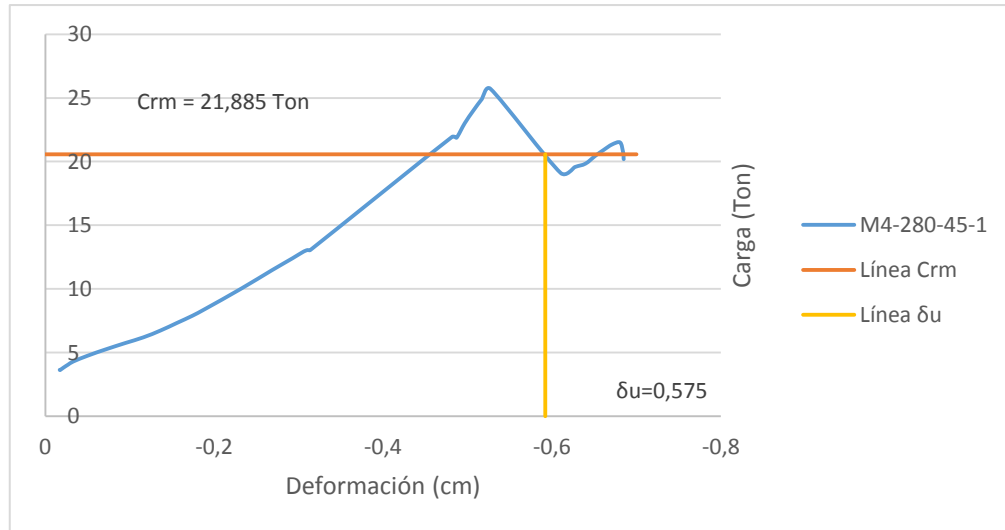
$$C_{rm} = 85\% \cdot Carga\ máxima$$

$$C_{rm} = 85\% \cdot 25,712$$

$$C_{rm} = 21,855\ T$$

En la figura 5.26, se observa la línea horizontal con valor de 20,569 T, línea que se cruza con la gráfica carga vs deformación, la cual proporciona la información de la carga analizada “ C_{rm} ” y la capacidad de deformación “ δ_u ”

FIGURA 5.26 Probeta M4-280-45-1, C_{rm} , δ_u .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$C_{rm} = 21,855 \text{ T}$$

$$\delta_u = 0,575 \text{ cm}$$

Si la gráfica carga en función de deformación tiene falla dúctil se determinará el valor de C_{rm} trazando una línea horizontal donde comience a presentar un cambio significativo de rigidez. A continuación, se presenta un ejemplo de cálculo con una probeta que presento una falla frágil durante el ensayo.

En la tabla 5.24, se observa algunos de los datos de carga y deformación de la probeta M4-280-45-2. Se marcó de color verde el valor aproximado de C_{rm} en los datos del ensayo, de color amarillo el valor de la deformación cuando el valor de carga vuelve a tener un aproximado a C_{rm} y de color rojo la carga máxima presentada durante el ensayo en laboratorio.

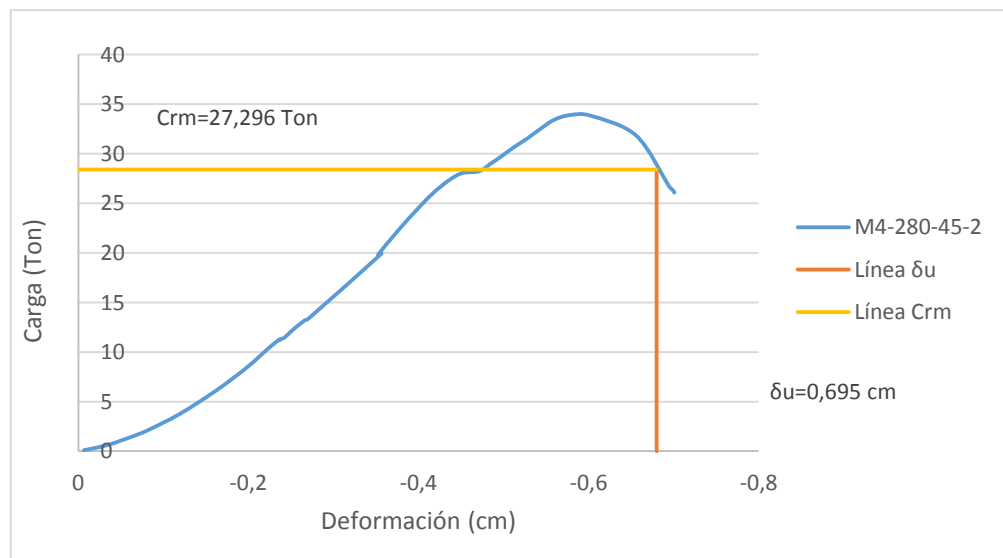
TABLA 5.24 Cargas M4-280-45-2.

M4-280-45-2			
Deformación		Carga	
mm	cm	Kg	T
-3,9806	-0,3981	24351,9805	24,3520
-4,1708	-0,4171	26017,2793	26,0173
-4,3549	-0,4355	27296,4219	27,2964
-4,5104	-0,4510	280232,5332	28,0325
-5,7859	-0,5786	33897,2813	33,8973
-6,0214	-0,6021	33836,9414	33,8369
-6,5603	-0,6560	31821,6914	31,8217
-6,9452	-0,6945	26717,1855	26,7172
-6,9784	-0,6978	26427,5703	26,4276
-6,9981	-0,6998	26222,4258	26,2224

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la figura 5.27, se observa la línea horizontal donde comienza la ductilidad, línea que se cruza con la gráfica carga vs deformación, la cual proporciona la información de la carga analizada " C_{rm} " y la capacidad de deformación " δ_u ".

FIGURA 5.27 Probeta M4-280-45-2, C_{rm} , δ_u .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$C_{rm} = 27,296 T$$

$$\delta_u = 0,695 cm$$

En la tabla 5.25 se presenta los valores de C_{rm} y δ_u para cada tipo de probeta clasificada por colores.

TABLA 5.25 Resumen C_{rm} y δ_u .

Probeta	C_{rm} (T)	δ_u (cm)
M4-280 -45-1	21,863	-0,68063
M4-280 -45-3	19,907	-0,76364
M4-280 -45-4	21,908	-1,13922
M4-210 -45-1	24,473	-0,95962
M4-210 -45-2	23,655	-0,86398
M4-210 -45-3	25,009	-0,87615
M4-210 -45-4	24,903	-1,08588
M4-280 -90-1	24,121	-1,10864
M4-280 -90-2	24,943	-0,90711
M4-280 -90-3	24,555	-0,87227
M4-280 -90-6	24,060	-0,90423
M4-210 -90-1	22,082	-1,23905
M4-210 -90-2	21,037	-1,10531
M4-210 -90-3	20,504	-0,94878
M4-210 -90-4	21,190	-0,9242

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

El Eurocodigo 4 detalla que “La desviación de resultado de cualquier ensayo, respecto al valor medio obtenido de los otros ensayos no debe exceder el 10%” (Eurocódigo 4, 2014). Para validar los resultados con la norma se calculará el promedio de todo un grupo de probetas y se calcula el porcentaje de diferencia entre cada valor de carga y el promedio.

$$\text{Promedio Cargas} = \frac{21,863 + 19,907 + 21,908}{3} = 21,226 \text{ Ton}$$

$$\% M4 - 280 - 45 - 1 = \text{abs} \left(1 - \frac{21,863}{21,226} \right) \cdot 100\% = 3\%$$

$$\% M4 - 280 - 45 - 3 = \text{abs} \left(1 - \frac{19,907}{21,226} \right) \cdot 100\% = 6\%$$

$$\% M4 - 280 - 45 - 4 = \text{abs} \left(1 - \frac{21,908}{21,226} \right) \cdot 100\% = 3\%$$

En la tabla 5.26, 5.27, 5.28 y 5.29, se presentan los valores de C_{rm} para cada tipo de probeta, donde se puede observar los promedios y el porcentaje de desviación de los valores C_{rm} con respecto al promedio.

TABLA 5.26 Análisis desviación de Crm para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Crm (T)	Desviación de resultado
M4-280 -45-1	21,863	3%
M4-280 -45-3	19,907	6%
M4-280 -45-4	21,908	3%
Promedio	21,226	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se excluyó las probetas M4-280-45-2 y M4-280-45-5, por tratarse de resultados obtenidos en laboratorio pero que no se encuentran en el rango de desviación de resultados permitidos.

TABLA 5.27 Análisis desviación de Crm para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	Crm (T)	Desviación de resultado
M4-210 -45-1	24,473	0%
M4-210 -45-2	23,655	3%
M4-210 -45-3	25,009	2%
M4-210 -45-4	24,903	2%
Promedio	24,510	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

TABLA 5.28 Análisis desviación de Crm para $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	Crm (T)	Desviación de resultado
M4-280 -90-1	24,121	3%
M4-280 -90-3	24,555	5%
M4-280 -90-5	21,140	10%
M4-280 -90-6	24,060	3%
Promedio	23,469	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Se excluyó las probetas M4-280-90-2, por tratarse de resultados obtenidos en laboratorio pero que no se encuentran en el rango de desviación de resultados permitidos.

TABLA 5.29 Análisis desviación de Crm para $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	Crm (T)	Desviación de resultado
M4-210-90-1	22,082	4%
M4-210-90-2	21,037	1%
M4-210-90-3	20,504	3%
M4-210-90-4	21,190	0%
Promedio	21,203	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

El Eurocodigo 4 detalla que “La resistencia característica “ P_{RK} ” debe tomarse como la carga de rotura “Crm” el valor mínimo de cada tipo de probeta, dividida para el número de conectores y reducida un 10%” (Eurocódigo 4, 2014). Los resultados se presentan en la tabla 5.30 en la columna denotada con P_{RK} . Estos valores se obtuvieron del laboratorio, entonces para saber si los datos de P_{RK} son confiables se calcula el promedio y la desviación estándar como se muestra en la figura 5.30.

TABLA 5.30 Cálculo de P_{RK} y análisis estadístico.

Probeta	P_{RK} (T)	Probeta	P_{RK} (T)	Probeta	P_{RK} (T)	Probeta	P_{RK} (T)
M4-280-45-2	6,142	M4-210 -45-1	5,506	M4-280 -90-3	5,525	M4-210 -90-2	4,733
M4-280-45-4	6,229	M4-210 -45-3	5,627	M4-280 -90-5	4,756	M4-210 -90-3	4,613
M4-280-45-5	6,064	M4-210 -45-4	5,603	M4-280 -90-6	5,414	M4-210 -90-4	4,768
Promedio	6,145	Promedio	5,579	Promedio	5,232	Promedio	4,705
Max	6,229	Max	5,627	Max	5,525	Max	4,768
Min	6,064	Min	5,506	Min	4,756	Min	4,613
Desviación	0,083	Desviación	0,064	Desviación	0,415	Desviación	0,0810

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Al obtener desviaciones estándar cercanas a cero, esto nos indica que los datos obtenidos son similares al promedio, es decir, por cada tipo de probeta los datos son relativamente similares, por lo tanto, la confianza de los datos es alta.

Como se señaló en sección 5.4.1, para determinar P_{RD} se debe calcular con la fórmula:

$$P_{RD} = \left(\frac{Fu}{Fut} \right) \cdot \left(\frac{P_{RK}}{\gamma_V} \right) \leq \frac{P_{RK}}{\gamma_V}$$

Se realiza la forma de cálculo para la probeta con hormigón de 280 kg/cm^2 y ángulo de 45° .

Datos:

$$F_u = 4080 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_{ut} = 4160,05 \text{ kg/cm}^2$$

En valor de F_{ut} se determina con ensayo de tracción del acero del material de cual está conformado el conector de corte. En el anexo 3 se presenta los resultados de los ensayos de tracción y la tabla de resumen de los valores de F_{ut} .

$$\gamma_V = 1,25$$

$$P_{RK} = 6,06 \text{ T}$$

Cálculo P_{RD}

Se desarrolla la parte izquierda de la ecuación

$$P_{RD} = \left(\frac{4080}{4160,05} \right) \cdot \left(\frac{6,06}{1,25} \right) = 4,755$$

Verificación

Se desarrolla la parte derecha de la ecuación

$$\frac{P_{RK}}{\gamma_V} = \frac{6,06}{1,25} = 4,848$$

Comprobación

Consiste en determinar si el valor de P_{RD} calculado es menor al valor de la verificación.

$$4,775 \leq 4,848 \text{ OK}$$

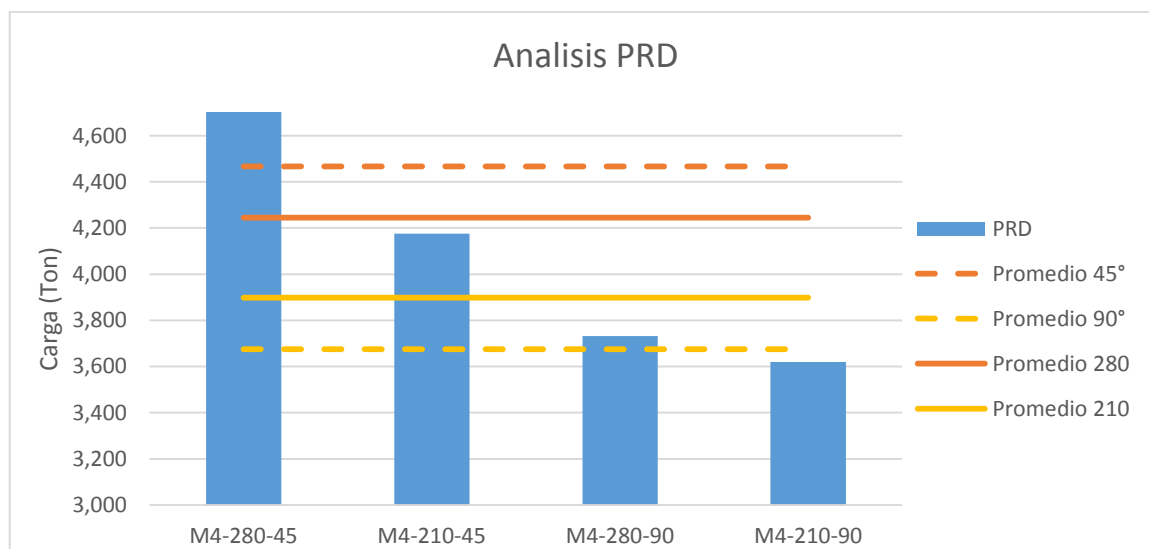
En la tabla 5.31 se presenta los valores de P_{RD} con la verificación y la comprobación por cada tipo de probeta.

TABLA 5.31 Calculo de P_{RD} .

Probeta	P_{RK} (T)	Verificación	Comprobación
M4-280 -45	4,755	4,848	Ok
M4-210 -45	4,176	4,258	Ok
M4-280 -90	3,732	3,805	Ok
M4-210 -90	3,620	3,691	Ok

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la figura 5.28 se presenta los datos calculados en la tabla 5.31 y los valores promedio en función de su posición en planta y el tipo de hormigón.

FIGURA 5.28 Análisis PRD y promedios.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

La capacidad de deslizamiento característica δ_{uk} debe tomarse como el mínimo valor de δ_u obtenido en los ensayos reducido un 10% (Eurocódigo 4, 2014). A continuación, se tiene la tabla 5.32 con los valores obtenidos de δ_{uk} .

TABLA 5.32 Resumen δ_u y δ_{uk} por tipo de probeta.

Probeta	C_{rm} (T)	δ_u (cm)	90% δ_u (cm)
M4-280 -45-1	21,863	-0,681	-0,613
M4-280 -45-3	19,907	-0,764	-0,687
M4-280 -45-4	21,908	-1,139	-1,025
δ_{uk} M4-280 -45			-1,025
M4-210 -45-1	24,473	-0,960	-0,864
M4-210 -45-2	23,655	-0,864	-0,778
M4-210 -45-3	25,009	-0,876	-0,789

M4-210 -45-4	24,903	-1,086	-0,977
δ_{uk} M4-210 -45			-0,977
M4-280 -90-1	24,121	-1,109	-0,998
M4-280 -90-2	24,943	-0,907	-0,816
M4-280 -90-3	24,555	-0,872	-0,785
M4-280 -90-6	24,060	-0,904	-0,814
δ_{uk} M4-280 -90			-0,998
M4-210 -90-1	22,082	-1,239	-1,115
M4-210 -90-2	21,037	-1,105	-0,995
M4-210 -90-3	20,504	-0,949	-0,854
M4-210 -90-4	21,190	-0,924	-0,832
δ_{uk} M4-210 -90			-1,115

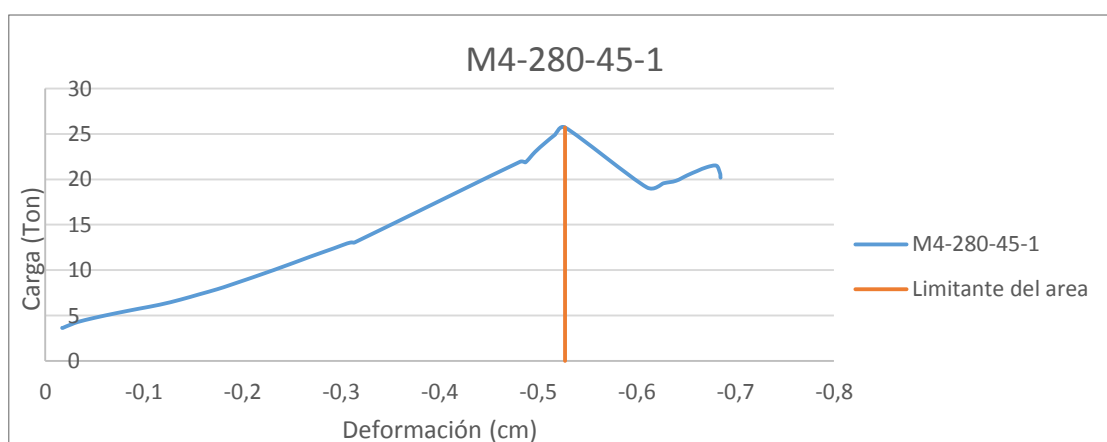
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.4.2 LA ENERGÍA ABSORBIDA POR EL SISTEMA

La energía absorbida por el sistema, es el área bajo la curva, en la gráfica carga en función de la deformación, se presentará la forma de calcular el área para una curva con falla frágil y otra con falla dúctil.

Para una curva de falla frágil se debe determinar el valor donde la curva cambia de pendiente en sentido inverso y este punto será el limitante del área. En la figura 5.29 se muestra la curva carga en función de la deformación con la recta limitante del área.

FIGURA 5.29 Línea límite de área para Probeta M4-280-45-1.

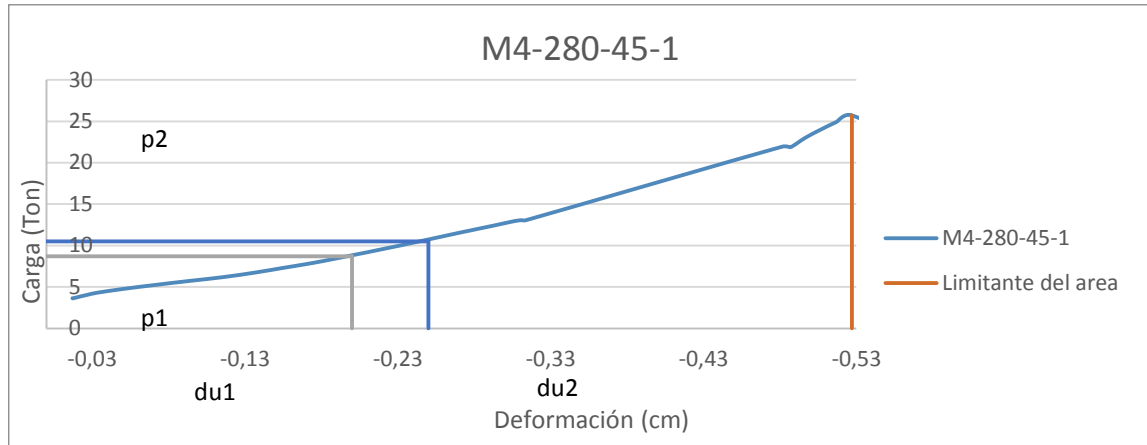


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para el cálculo del área se usa el método de trapecios, el cual consiste en usar dos lecturas seguidas del laboratorio, calcular el valor promedio de las cargas “ ΔP ” y multiplicar por la diferencia de deformaciones “ $\Delta \delta$ ” producida en dichas

cargas. En la figura 5.30 se presenta la ubicación de los valores para calcular ΔP y $\Delta\delta$.

FIGURA 5.30 Guía para el cálculo de energía absorbida.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

$$\Delta P = \frac{p2 + p1}{2}$$

$$\Delta\delta = \text{abs}(du2 - du1)$$

$$\text{Área}_i = \Delta P \cdot \Delta\delta$$

$$\text{Área Total} = \sum_{i=1}^n \text{área}$$

Cálculo de energía para el primer par de datos:

$$p1 = 3,644$$

$$p2 = 3,620$$

$$du1 = -0,017055471$$

$$du2 = -0,017357337$$

$$\Delta P = \frac{3,644 + 3,620}{2} = 3,632$$

$$\Delta\delta = \text{abs}(-0,017357337 - (-0,017055471)) = 0,000301866$$

$$\text{Área}_1 = 3,632 \cdot 0,000301866 = 0,001096305$$

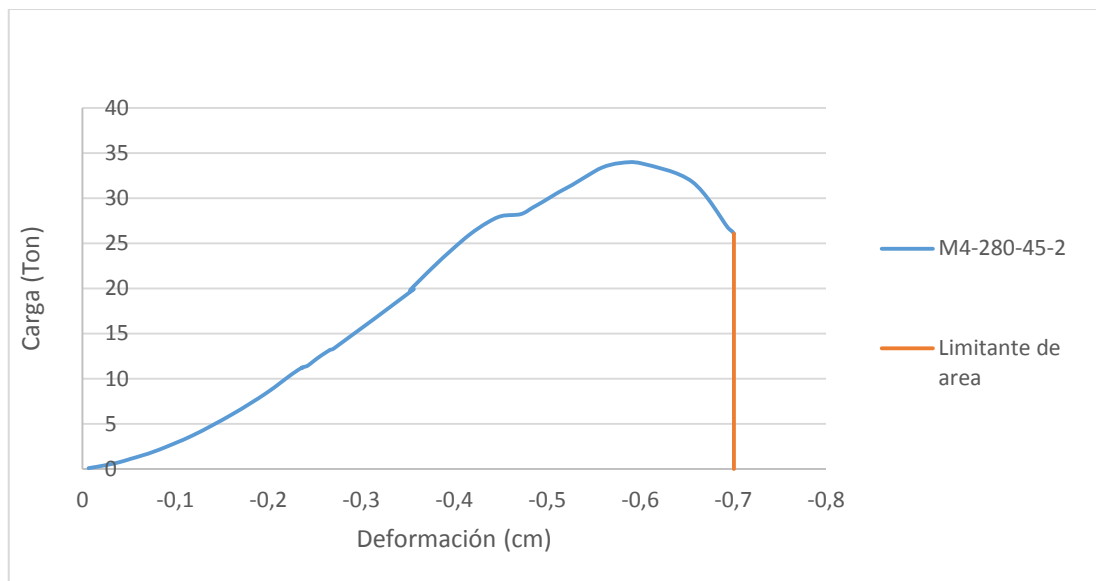
El cálculo de las áreas restantes y el área total que es la sumatoria de todas las áreas se presenta en la tabla 5.33.

TABLA 5.33 Cáculo de energía absorbida probeta M4-280-45-1.

Carga	Promedio	Desplazamiento	Energía
3,644	3,632	0,000301866	0,00110
3,620			
3,813	3,716	0,004075201	0,01514
4,054	3,933	0,005584534	0,02197
4,295	4,175	0,006037337	0,02520
4,754	4,525	0,017055467	0,07717
5,261	5,007	0,021885341	0,10959
5,743	5,502	0,022489071	0,12373
6,190	5,966	0,021432537	0,12788
6,745	6,467	0,02097975	0,13568
7,324	7,034	0,01886667	0,13271
7,891	7,607	0,018413866	0,14008
8,470	8,181	0,016300821	0,13335
10,002	9,236	0,041053855	0,37918
11,474	10,738	0,036978698	0,39709
12,403	11,939	0,024149323	0,28832
12,946	12,675	0,013584018	0,17218
13,055	13,001	0,00482986	0,06279
13,054	13,055	0,002712274	0,03541
21,937	17,495	0,167743802	2,93476
21,863	21,900	0,005278587	0,11560
23,010	22,437	0,009811592	0,22014
24,011	23,510	0,010264492	0,24132
24,916	24,464	0,010113573	0,24742
25,712	25,314	0,010113525	0,25602
Energía Disipada (T-cm)			6,394

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para una curva de falla dúctil se debe determinar el valor donde se alcanza el punto de rotura, este será el limitante del área. En la figura 5.31 se muestra la curva carga en función de la deformación además de la recta limitante del área.

FIGURA 5.31 Línea límite de área para Probeta M4-280-45-2.

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para determinar el área bajo la curva se realizó el método de los trapecios de la misma manera que se calculó en la falla frágil. En la tabla 5.34 se presenta los resultados del cálculo del área para la falla dúctil.

TABLA 5.34 Cáculo de energía absorbida probeta M4-280-45-2.

Promedio Cargas (T)	Desplazamiento (cm)	Energía (T-cm)
0,2534	0,0178	0,0045
0,5853	0,0155	0,0091
0,9473	0,0122	0,0116
1,3154	0,0119	0,0157
2,9324	0,0370	0,1085
9,4792	0,0281	0,2662
10,8850	0,0103	0,1117
11,2048	0,0005	0,0051
11,2229	0,0003	0,0034
11,3074	0,0039	0,0444
11,4221	0,0027	0,0310
11,6634	0,0044	0,0511
11,9953	0,0039	0,0471
12,3814	0,0062	0,0766
12,8702	0,0078	0,1010
13,1658	0,0011	0,0139
13,2744	0,0041	0,0541
16,6227	0,0859	1,4275
19,8566	0,0038	0,0750
21,0697	0,0243	0,5121

23,3383	0,0213	0,4967
25,1846	0,0190	0,4790
26,6569	0,0184	0,4909
27,6645	0,0155	0,4301
28,1351	0,0205	0,5776
28,6118	0,0131	0,3757
29,3298	0,0118	0,3453
30,1504	0,0152	0,4597
31,0433	0,0149	0,4639
31,9363	0,0152	0,4869
32,9138	0,0175	0,5763
33,6559	0,0192	0,6452
33,8671	0,0235	0,7975
32,8293	0,0539	1,7691
29,2694	0,0385	1,1267
26,5724	0,0033	0,0882
26,3250	0,0020	0,0517
26,1500	0,0011	0,0276
Energía Disipada (T-cm)	13,158	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.35 se presentan los valores de energía disipada por tipo de probeta.

TABLA 5.35 Resumen disipación de energía por tipo de probeta.

Probeta	Energía (T-cm)	Probeta	Energía (T-cm)
M4-280 -45-2	13,1577	M4-210 -45-1	13,448
M4-280 -45-4	11,3414	M4-210 -45-2	14,859
M4-280 -45-5	16,4105	M4-210 -45-3	13,836
Promedio	13,637	Promedio	14,048
Max	16,410	Max	14,859
Min	11,341	Min	13,448
Desviación	2,568	Desviación	0,729
Probeta	Energía (T-cm)	Probeta	Energía (T-cm)
M4-280 -90-2	15,152	M4-210 -90-2	17,706
M4-280 -90-5	15,092	M4-210 -90-3	15,791
M4-280 -90-6	15,462	M4-210 -90-4	16,653
Promedio	15,236	Promedio	16,717
Max	15,462	Max	17,706
Min	15,092	Min	15,791
Desviación	0,199	Desviación	0,9590

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.4.3 ANALISIS DE STRAIN GAUGES

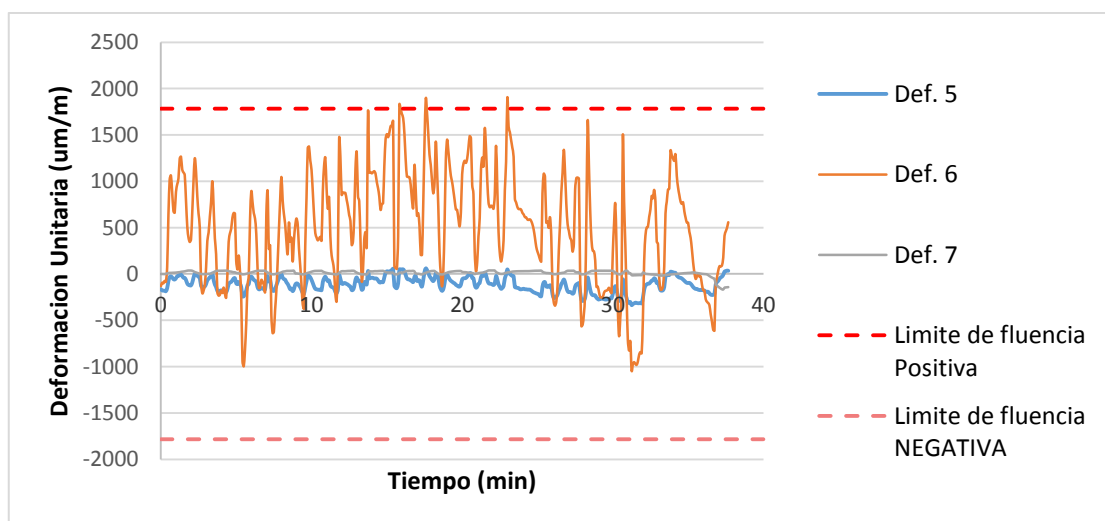
La ubicación de los strain gauges en los conectores de corte se detalló en 4.4.12 “Análisis de cada probeta”, donde se puede observar la distribución de los strain

gauges en los conectores y en el patín de la viga tipo “I”. Se puede encontrar por una variedad de colores azul, verde, amarillo y rojo.

La gráfica carga en función de deformación, obtenida de los strain gauges durante el ensayo en laboratorio, ubicadas en los conectores de corte y en el patín de la viga tipo “I” se los muestra a continuación.

En la figura 5.32 para M4-280-45-1, en la figura 5.37 para M4-210 -45-1 y en la figura 5.38 para M4-210-45-2. En la figura 5.39 para M4-280-90-1, en la figura 5.40 para M4-210-90-1 y en la figura 5.41 para M4-210-90-2. Se puede apreciar en color naranja, el comportamiento del strain gauges inferior de las probetas, en color azul el comportamiento de los strain gauges superiores, adicionalmente el strain gauges colocado en el patín de la viga tipo “I” de color plomo y de color rojo la línea de fluencia del acero A36.

FIGURA 5.32 Strain gauges para M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En las figuras 5.33, 5.34, 5.35 y 5.36 se presenta los estados finales de la probeta M4-280-45-1, una vez retirado el hormigón, a la cual se le instaló los strain gauges.

FIGURA 5.33 Vista global probeta M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.34 Falla hormigón probeta M4-280-45-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.35 Medida separación losa izquierda.



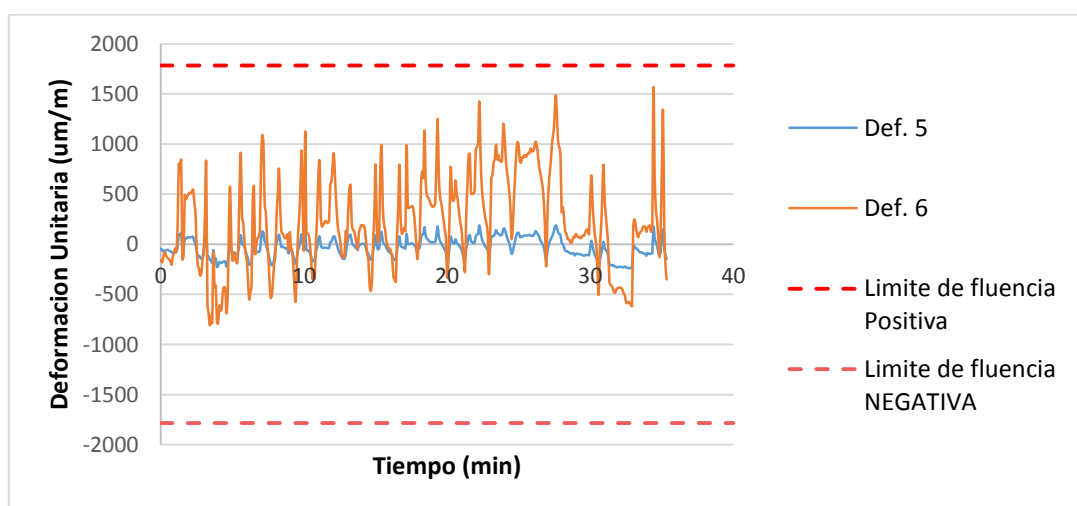
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.36 Medida separación losa izquierda.



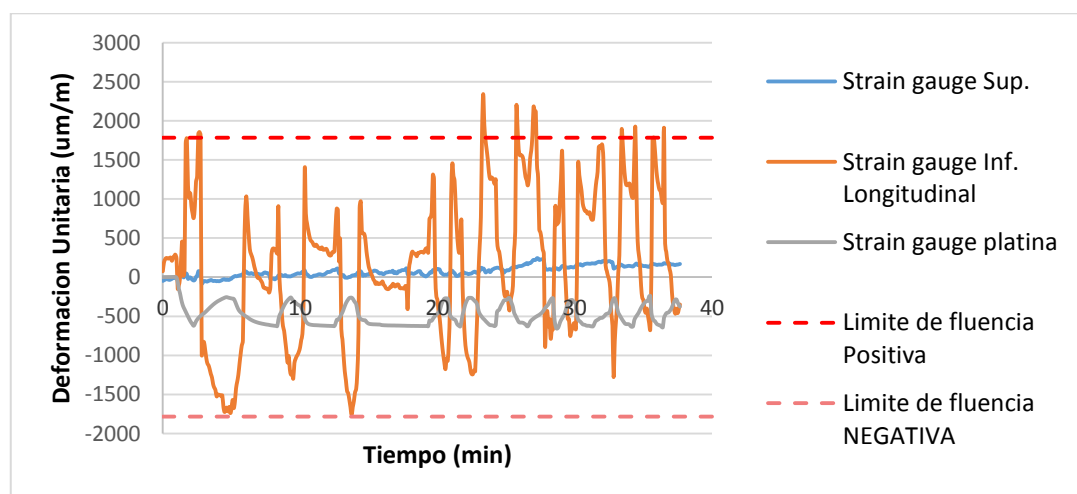
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.37 Strain gauges para M4-210-45-1.



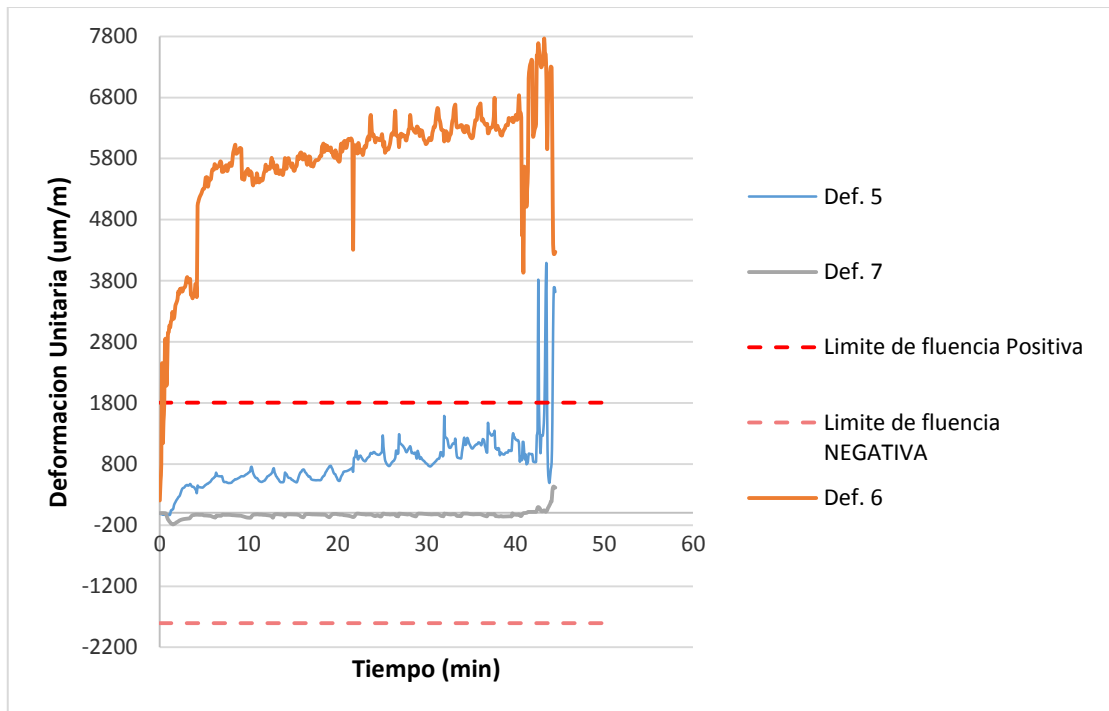
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.38 Strain gauges para M4-210 -45-2.



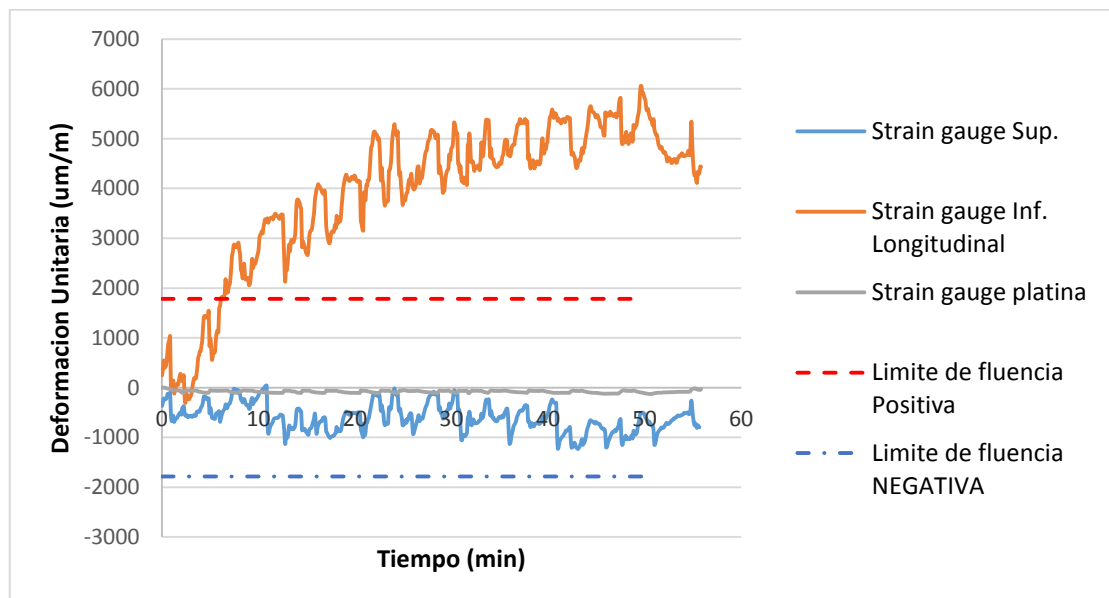
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.39 Strain gauges para M4-280-90-1



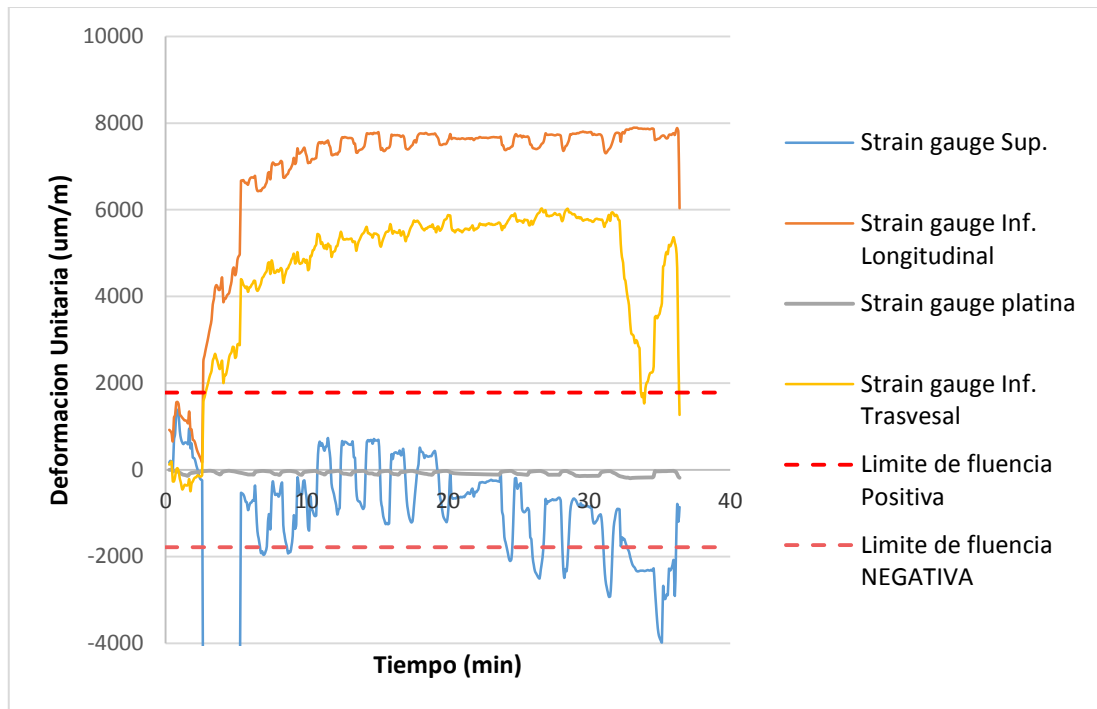
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.40 Strain gauge para M4-210-90-1.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.41 Strain gauge para M4-210-90-2.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En las figuras 5.42, 5.43, 5.44 y 5.45 se presenta los estados finales de la probeta M4-210-90-2 a la cual se le instalo strain gauges.

FIGURA 5.42 Vista global probeta M4-280-90-2.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.43 Falla del hormigón probeta M4-280-90-2.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.44 Longitud inferior entre conectores probeta M4-280-90-2.



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

FIGURA 5.45 Longitud superior entre conectores probeta M4-280-90-2.

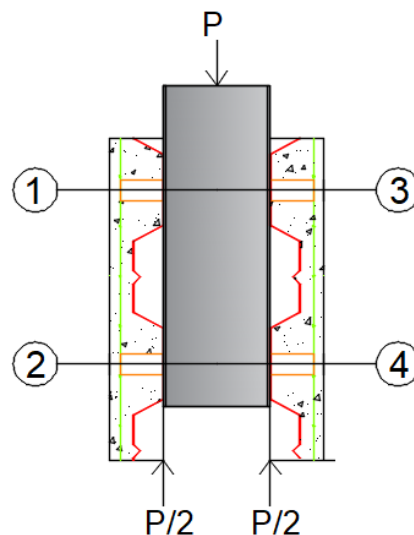


ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.4.4 ANÁLISIS DEFORMACIÓN TRANSVERSAL DE LOSAS

Con el uso del calibrados se midió la expansión de la sección transversal de las losas, en cada incremento de carga, valores en los que por lo general la probeta no generaba fallas muy pronunciadas. En la figura 5.46 se presentan los lugares donde se obtuvieron las medidas de las losas.

FIGURA 5.46 Ubicación de los puntos de medición de las losas.



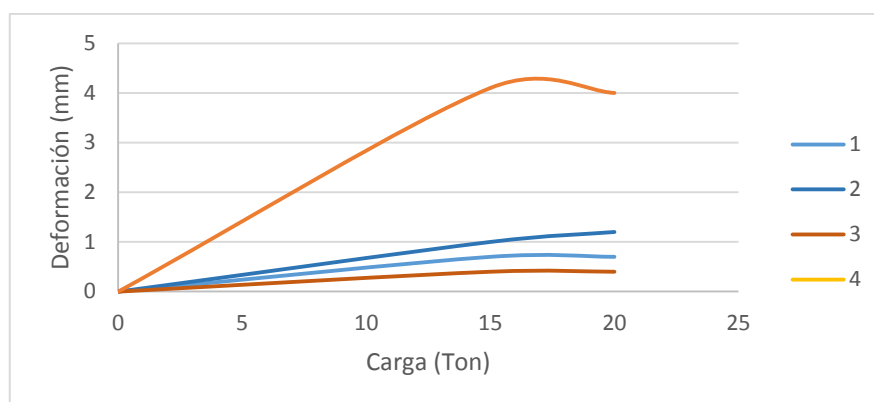
ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

Para tener un entendimiento del comportamiento de las probetas conforme el cambio de carga, se analizará dos prototipos por cada tipo de probeta. A continuación, se presentará en la tabla 5.36 los valores para las probetas M4-280-45-1, y en la figura 5.47 el comportamiento de los datos tubulados.

TABLA 5.36 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	M4-280-45-1							
	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)
	1		2		3		4	
0	113,9	0	112,2	0	111,2	0	117,2	0
15	113,2	0,7	113,2	1	111,6	0,4	113,1	4,1
20	113,2	0,7	111	1,2	111,6	0,4	113,2	4
25	113,2	0,7	112,9	0,7	114,9	3,7	113,2	4

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.47 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

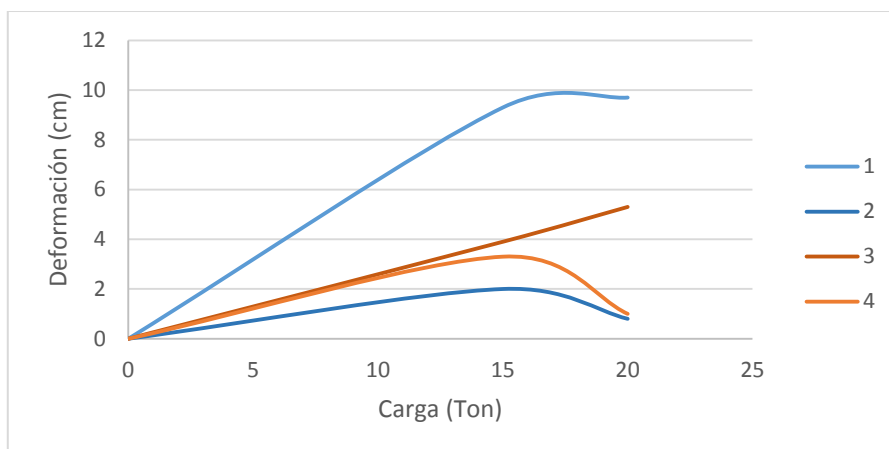
En la tabla 5.37 los valores para las probetas M4-210-45-1, y en la figura 5.48 el comportamiento de los datos tubulados.

TABLA 5.37 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .

Probeta	M4-210-45-1							
	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)
	1		2		3		4	
0	112,1	0	113,1	0	113,9	0	109,8	0
15	121,4	9,3	111,1	2	110	3,9	113,1	3,3
20	121,8	9,7	113,9	0,8	119,2	5,3	110,8	1

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.48 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 45° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

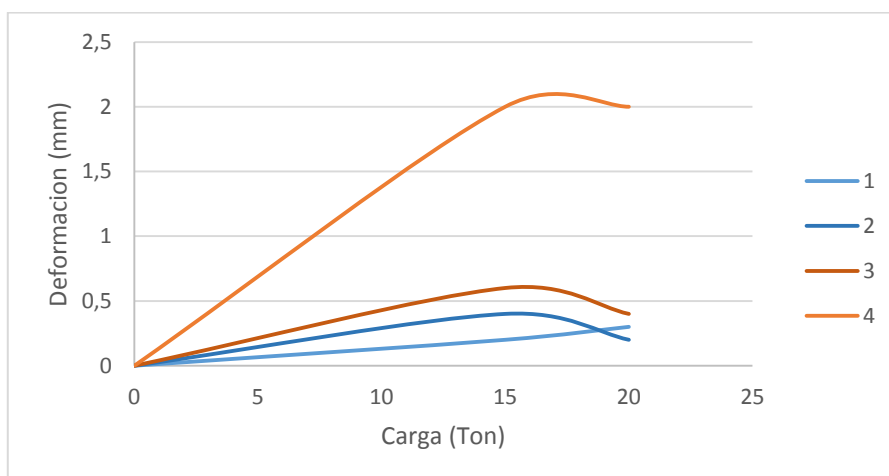
En la tabla 5.38 los valores para las probetas M4-280-90-1, y en la figura 5.49 el comportamiento de los datos tubulados.

TABLA 5.38 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	M4-280-90-1							
	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)
	1		2		3		4	
0	114,8	0	114,6	0	112,8	0	111,2	0
15	115	0,2	114,2	0,4	112,2	0,6	113,2	2
20	115,1	0,3	114,8	0,2	113,2	0,4	113,2	2

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.49 Deformaciones de probeta, $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

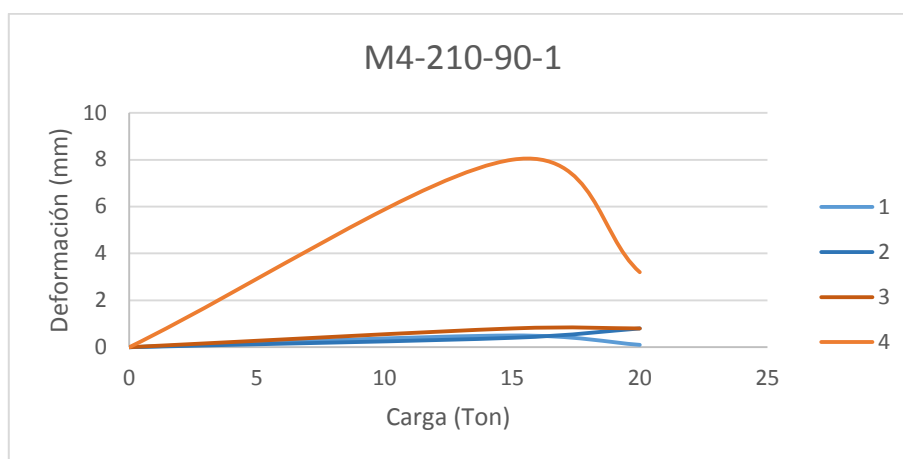
En la tabla 5.39 los valores para las probetas M4-210 -90-1, y en la figura 5.50 el comportamiento de los datos tubulados.

TABLA 5.39 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .

Probeta	M4-210-90-1							
	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)	Medida (mm)	Def. (mm)
	1		2		3		4	
0	116,1	0	114,2	0	111	0	113,2	0
15	115,6	0,5	113,8	0,4	110,2	0,8	105,2	8
20	116,2	0,1	115	0,8	110,2	0,8	110	3,2

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio

FIGURA 5.50 Deformaciones de probeta, $f'c=210 \text{ Kg/cm}^2$ y ángulo de 90° .



ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

5.4.5 RESUMEN

En la tabla 5.40 se presenta los valores representativos con respecto a al tipo de hormigón y el posicionamiento del conector de corte.

TABLA 5.40 Presentación de resultados por ángulo y tipo de hormigón.

	Hormigón	Angulo de inclinación	PRD	Dif. Resistencia	Porcentaje
Hormigón	210	45	4,176	0,556	13%
	210	90	3,62		
	280	45	4,758	1,026	22%
	280	90	3,732		
Ángulo inclinación	45	210	4,176	0,582	12%
	45	280	4,758		
	90	210	3,62	0,112	3%
	90	280	3,732		

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.41 se presenta el cálculo promedio del valor en carga que soporta cada conector de acuerdo a su posición en la probeta experimental.

TABLA 5.41 Cálculo de porcentaje de carga por conector según posición.

Probetas con strain gauges y ángulo a 45°					
Probeta	Carga max inf (T)	Carga max sup (T)	Diferencia (T)	Diferencia (%)	Promedio
M4 280 45 1	1899,175	233,875	1665,300	0,877	0,910
M4 210 45 1	1569,407	161,241	1408,166	0,897	
M4 210 45 2	1611,596	124,65	1486,946	0,923	
Probetas con strain gauges y ángulo a 90°					
Probeta	Carga max inf	Carga max sup	Diferencia	Diferencia (%)	Promedio
M4 210 90 1	5857,36	1232,737	4624,623	0,790	0,705
M4 210 90 2	7726,671	2929,78	4796,891	0,621	

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

En la tabla 5.42 se presenta los valores característicos de cada probeta, como es la carga de falla “Pk” obtenida en laboratorio, ductilidad y tipo de falla de la probeta.

TABLA 5.42 Análisis por normativa vs resultados laboratorio.

Probeta	Experimentación							Ductilidad	Tipo de falla
	Formulas por norma		Laboratorio_strain gauges						
	Push-out Hurtado	ANSI/ AISC 360-16 Perno	CRM	Factor strain gauges	CRM lab/conector	Diferencia ANSI VS PK	Diferencia AISC VS CRM (%)		
M4-280-45-2	33,70	13,43	27,30	0,877	11,97	1,46	10,87%	1,59	Hormigón
M4-280-45-4	33,70	13,43	21,91	0,877	9,60	3,82	28,47%	1,50	Hormigón
M4-280-45-5	33,70	13,43	26,95	0,877	11,82	1,61	12,00%	1,53	Hormigón
M4-210-45-1	27,16	10,82	24,47	0,909	11,12	0,30	2,80%	1,47	Hormigón
M4-210-45-2	27,16	10,82	23,65	0,909	10,75	0,07	0,64%	1,48	Hormigón
M4-210-45-3	27,16	10,82	25,01	0,909	11,37	0,55	5,05%	1,55	Hormigón
M4-210-45-4	27,16	10,82	24,90	0,909	11,32	0,50	4,61%	1,64	Hormigón
M4-280-90-1	33,70	13,43	24,12	0,877	10,57	2,85	21,24%	1,59	Hormigón
M4-280-90-2	33,70	13,43	24,94	0,877	10,94	2,49	18,55%	1,60	Hormigón
M4-280-90-5	33,70	13,43	21,14	0,877	9,27	4,16	30,97%	1,52	Hormigón
M4-280-90-6	33,70	13,43	24,06	0,877	10,55	2,88	21,44%	1,65	Hormigón
M4-210-90-2	27,16	10,82	21,04	0,705	7,42	3,40	31,45%	1,70	Hormigón
M4-210-90-3	27,16	10,82	20,50	0,705	7,23	3,59	33,19%	2,01	Hormigón
M4-210-90-4	27,16	10,82	21,19	0,705	7,47	3,35	30,96%	1,72	Hormigón

ELABORADO POR: Rogel & Tenorio.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- Las variables utilizadas en el ensayo se escogieron con la intención de verificar el comportamiento de los conectores de corte tipo ángulo, por tal motivo, se puso a prueba los conectores e corte con diferentes resistencias de hormigón y diferentes posiciones en planta del conector de corte, llegando a la conclusión que, con el espesor del material que compone el conector de corte, las probetas experimentales funcionan de forma distinta de acuerdo a las variables que se administraron en las probetas experimentales, es así que, tenemos un mejor comportamiento cuando se utilizan conectores de corte a 45° y con hormigón de 280 kg/cm^2 .
- La fabricación de las probetas experimentales se dio de forma correcta, tomando en cuenta calidad de los materiales adquiridos, número de personal utilizado y necesario para el armado, personal capacitado para la soldadura y correcta dirección técnica, garantizando de este modo, unos lineamientos de armado eficientes, con lo que se observó un comportamiento adecuado durante los ensayos en laboratorio del CIV-EPN.
- Las fallas generadas cuando se utilizan conectores de corte tipo ángulo a 45° y 90° , son proyectadas desde los conectores de corte como se puede observar en las figuras 5.35 y 5.43, las grietas observadas pertenecen a las probetas ubicadas en las figuras 5.33 y 5.42 respectivamente, estas fallas de corte son explicadas a detalle en la sección 2.2. “Conectores de corte”, por lo que se concluye que los conectores de corte tipo ángulo ubicados en planta en 45° y 90° , trabajan a esfuerzo cortante durante los ensayos en laboratorio, generando fallas a 45 grados características de este fenómeno en el hormigón.

- Los elementos del sistema de losas deck con conectores de corte tipo ángulo estudiado en este trabajo técnico, fueron ensayados de acuerdo a la normativa escogida para esta finalidad, es así que siguiendo lo descrito en el Eurocodigo 4, se procedió a ensayar las probetas con ciclos de carga y descarga, además se cumplió con un tiempo mínimo hasta llegar a la falla del sistema de losas deck con conectores de corte tipo ángulo. Este procedimiento esta descrito en la sección 5.1 “Desarrollo en laboratorio”. Las capacidades individuales de los conectores de corte tipo ángulo están en 3,73 T para los conectores de corte a 90° con hormigón de 280 kg/cm². y de 4,76 T para los conectores de corte a 45° con hormigón de 280 kg/cm², en cambio, es de 3,62 T para los conectores de corte a 90° con hormigón de 210 kg/cm². y de 4,18 T para los conectores de corte a 45° con hormigón de 210 kg/cm², estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.40, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.
- Las cargas que soporta el sistema de dos losas con 4 conectores tienen diferente comportamiento de elementos si se compara el tipo de conector utilizado. Según la norma Eurocodigo 4, se puede observar que en promedio las probetas con conector de corte a 45° soporta una carga superior a las probetas que contienen conectores a 90°, tal es el caso que, con hormigones 210 kg/cm² la diferencia de carga está en 0,56 T y con hormigones 280 kg/cm² esta diferencia es de 1,026 T, lo que en porcentaje es 13% y 22% respectivamente, estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.40, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.
- Dado el tipo de hormigón por su resistencia utilizada en los ensayos entre 210 kg/cm² y 280 kg/cm², se puede observar que en promedio las probetas que fueron conformadas por un hormigón 280 kg/cm², tienen un comportamiento sistemático similar a las probetas conformadas con un hormigón de 210 kg/cm², al estar provistas con un mismo tipo de conector, las probetas experimentales tienen unas diferencias promedio de carga de 0,582 T para 45° y 0,112 T para 90° respectivamente, que en porcentaje son el 12% y 3% respectivamente, teniendo mejor comportamiento las

probetas con hormigón de 280 kg/cm^2 con cada tipo de conector, estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.40, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.

- Según los resultados anteriormente descritos, se puede observar que el posicionamiento de los conectores de corte, que tienen como mínimo un 13% de influencia en la capacidad de carga del sistema, son de más relevancia que el tipo de hormigón utilizado en la experimentación, que posee un 3% mínimo de influencia en la capacidad de carga del sistema, llegando a la conclusión que, la posición en planta del conector de corte en 45° posee mejor comportamiento sistemático, conjuntamente, con el hormigón de 280 kg/cm^2 de resistencia.
- Según la experiencia obtenida en laboratorio se puede afirmar que, los conectores de corte tipo ángulo ubicados en la parte inferior de las probetas experimentales durante los ensayos, son los que mayor carga absorben como se puede apreciar en la sección 5.4.3 “Análisis de strain gauges”, por lo que modificaría lo que la norma Eurocódigo 4 demanda como cálculo de la resistencia del elemento conector de corte, es así que, con un hormigón de 280 Kg/cm^2 y conector a 45° se tiene un 87,7% de diferencia promedio de carga absorbida por el conector inferior con respecto al superior, con un hormigón de 210 Kg/cm^2 y conector a 45° se tiene una diferencia del 91,0%. Así mismo, con un hormigón de 210 Kg/cm^2 y conector a 90° se tiene una diferencia del 70,5%, estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.41, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.
- Mediante los porcentajes promedio de carga que cada conector de corte soporta, tenemos que, en comparación a las normativas existentes para conectores de corte tipo perno “Nelson Stud”, el conector de corte tipo ángulo estudiado en este documento, cuenta con una resistencia similar al conector antes mencionado, siendo la diferencia más pronunciada la encontrada en las probetas con conectores de corte a 90° y la mínima

diferencia la encontrada en los conectores de corte a 45°, en especial las probetas que contaban con un hormigón de 210 kg/cm², estos resultados son válidos tomando en cuenta que los conectores de corte inferiores absorben un porcentaje mayor de carga, estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.42, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.

- Según los resultados anteriormente descritos mediante la previa experimentación, se puede observar que si se toma el número de conectores de corte presentes en los ensayos, los conectores de corte tipo ángulo se presentan con una capacidad de carga inferior a las capacidades presentadas por los pernos tipo Nelson Stud, sin embargo, cuando se toma en consideración que los conectores de corte ubicados en la parte inferior de las probetas experimentales, absorben en promedio una mayor carga, se puede concluir que los conectores de corte tipo ángulo poseen capacidades ligeramente inferiores a los conectores Nelson Stud, siendo estas diferencias mínimas cuando se tratan de conectores a 45°, estos resultados se los puede apreciar en la tabla 5.42, presente en la sección 5.4.5 “Resumen”.
- Por lo observado en el presente ensayo experimental, las alas del conector de corte tipo ángulo de 40 x 4 mm, tuvieron un buen comportamiento en este tipo de experimentación, pero por las características físicas del conector, siendo este un elemento metálico liso, se observó un desplazamiento en sentido vertical de las losas durante los ensayos, esto se debió a la falta de adherencia de este elemento con el hormigón, como se observa en la figura 5.43 “parte derecha”, por lo que se concluye que, para un mejor comportamiento del conector de corte tipo ángulo en las losas de hormigón, se debe colocar un elemento transversal y en dirección de la carga horizontal que soportan estas losas, es así que, un fragmento de varilla corrugada soldada en la parte superior del conector serviría como cabeza del conector de corte y evitaría un desplazamiento vertical durante

la carga del elemento. El funcionamiento ideal de un conector de corte esta explicada en la sección 2.2.2 “Tipos de conectores de corte”.

- Se observa en la figura 5.32, ubicada en la sección 5.4.3 “Análisis de strain gauges”, que los conectores de corte tipo ángulo ubicados con una posición en planta de 45° , no salen del rango elástico del material según el tipo de acero A36, las pruebas de resistencia del material utilizado fueron realizadas en el laboratorio del LEMSUR-EPN y se las puede observar en los anexos 3. Las gráficas muestran un sobredimensionamiento del conector de corte en esta posición, como se aprecia en las figuras 5.35 y 5.36, donde se observa que no existe deformaciones en el material del conector tipo ángulo a 45° de las probetas de prueba, el espaciamiento de diseño entre los conectores de corte se puede observar en la sección 3.1.3.4. “Viga Metálica”. Por lo antes expuesto se deduce que, para un adecuado funcionamiento sistemático de la sección de hormigón y la de acero, se pueden utilizar conectores de corte a 45° y con espesores menores a 4 mm.
- Se observa en la figura 5.41, ubicada en la sección 5.4.3 “Análisis de strain gauges”, que los conectores de corte tipo ángulo ubicados con una posición en planta de 90° , salen del rango elástico del material según el tipo de acero A36, las pruebas de resistencia del material utilizado fueron realizadas en el laboratorio del LEMSUR-EPN y se las puede observar en el anexo 3. Como se muestra en la figura 5.41, en esta posición, la deformación de los conectores de corte se generaron dado el último ciclo de carga del ensayo, como se aprecia en las figuras 5.44 y 5.45, donde se observa que existen deformaciones en el material del conector tipo ángulo a 90° , por lo tanto, la medida del espaciamiento entre conectores se ve afectada en estas probetas de prueba, en un aproximado de 5 mm, el espaciamiento de diseño entre los conectores de corte se puede observar en la sección 3.1.3.4. “Viga Metálica”. Por lo que se determinó que para un adecuado funcionamiento sistemático de la sección de hormigón y la de

acero, se pueden utilizar conectores de corte a 90° con espesores de 4 mm, por ser el funcionamiento estructural esperado y utilizando la resistencia adicional del acero, al llevar el elemento conector de corte a la fluencia y disipación de energía en el rango plástico.

6.2 RECOMENDACIONES

- Para el hormigón que forma parte de las probetas experimentales, debe ser comprado en hormigonera para garantizar una resistencia óptima requerida para los ensayos. De esta forma se puede evitar los ensayos de materiales para la obtención de la resistencia de hormigón requerida. El no hacer esto puede traer repercusiones en cuanto al tiempo de elaboración de las probetas experimentales.
- Dentro de la fabricación de los encofrados se debe utilizar tablas de madera uniformes, tal que, las losas de las probetas experimentales tengan una geometría definida.
- La fundición debe ser realizada sobre una superficie nivelada, de manera que se evite la generación de probetas sin una geometría correctamente definida.
- El transporte de las probetas experimentales debe llevarse a cabo con el mayor cuidado para no provocar fracturas innecesarias en las placas de hormigón.
- Se debe contar con un espacio adecuado para la fabricación y fundición de las probetas experimentales.
- Se recomienda tener un orden adecuado de los elementos presentes en las probetas experimentales, para su correcta ubicación al momento del ensamblaje, tal es el caso de las losas de hormigón, las cuales deben contar con una numeración por tipo de conector y resistencia de hormigón. Las variables adicionales para los subsiguientes estudios experimentales deben contar con su identificación correspondiente.
- Para tener mayor eficiencia y rapidez en la elaboración de las probetas experimentales es necesario contar con la ayuda de personal calificado y de ayudantes para este tipo de proyecto.

- Se recomienda continuar con los ensayos de este tipo de conector de corte, ya que más allá de los resultados obtenidos en este trabajo técnico experimental, existen varios vacíos que se deben llenar, que se producen al llevar esta metodología de trabajo a nuestro medio. El adecuar este sistema constructivo a nuestro medio implica el adaptar nuestros materiales, nuestras herramientas, la mano de obra y la mentalidad en un sistema constructivo diferente a los utilizados comúnmente. Adicionalmente se necesita más estudios con diferentes hormigones y espesores menores a 4 mm en conectores de corte tipo ángulo.
- Por las disposiciones existentes en la normativa “Eurocodigo 4” u otras metodologías de trabajo, se recomienda tener en cuenta que los tiempos de ensayo en laboratorio deben ser los óptimos para la obtención de resultados fiables. Por lo tanto, se necesita tener un cronograma eficiente que permita tener ensayos de laboratorio tomando en cuenta los tiempos establecidos por las normativas a ser usadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍA

- Acero-Deck. (2012). *Manual Técnico, Sistema constructivos placa colaborante*. Lima: Dpto. Investigación y Desarrollo ACEROS PROCESADOS S.A.
- ACERO-DECK. (2014). *Manual Técnico para el uso de placas colaborantes para losas en entresijos*. Lima: Design Huanca, Working at DesignHuanca.
- ACESCO. (2013). *Manual Técnico Metaldeck*. Malambo: Synergid Ad.
- ACI. (2014). *Reglamento estructural para edificaciones*. Farmington Hills: American Concrete Institute.
- ACI 318. (29 de agosto de 2014). *Requisitos y Reglamento para Concreto Estructural y comentario*. Farmington Hills, Michigan, USA: American Concrete Institute.
- Alvarez, O., & Cházaro, C. (2010). Construcciones compuestas acero-concreto. *El acero hoy*, 6-11.
- American Institute of Steel Construction. (2016). *Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero*. Santiago de Chile.
- ANSI/AISC_360. (2016). *Especificaciones ANSI/AISC 360-16 para Construcciones de Acero*. Chicago: American Institute of Steel Construction.
- Arquitectura+acero. (20 de Enero de 2010). *Alacero*. Obtenido de <http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/steel-deck-o-losa-colaborante>
- ASTM. (2010). *American Society for Testing and Materials*. Pennsylvania.
- ASTM, A. S. (2010). *Standard Specification for Steel Sheet, Zinc-Coated (Galvanized) or Zinc-Iron Alloy Coated (Galvannealed) by the Hot-Dip Process*. Filadelfia: United Metal Products, In.

- AWS, C. d. (2013). *Norma para la certificación de inspectores de soldaduras de la AWS*. Florida: American Welding Society.
- Bouchair, & Bujnak. (2012). *Modeling of the steel-concrete push-out test*. Slovakia: Elsevier Ltd.
- Clinibax. (06 de 06 de 2015). *Clinibax*. Obtenido de (<http://www.clinibax.es/leukoflex-esparadrapo-de-alta-tolerancia.html>)
- Construmática. (18 de Enero de 2018). *Construmática, metaportal de arquitectura, ingeniería y construcción*. Obtenido de (http://www.construmatica.com/construpedia/Estructuras_Met%C3%A1licas)
- Crisafulli, F. J. (2014). *Diseño sísmoresistente de cosntruciones de acero*. Mendoza: alacero.
- DIPAC, P. d. (2011). Perfiles estructurales ángulo "L" doblado . *DIPAC*, 1.
- Elipack*. (23 de enero de 2015). Obtenido de <http://www.efipack.com.mx/otros-producto/cinchos-de-plastico>
- Eurocódigo 4. (2014). Reglas generales y reglas para edificaciones. En *Proyectos de estructuras mixtas hormigon y acero* (págs. 127-130). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Falmar*. (2 de febrero de 2015). Obtenido de Falmar: <http://falmar.biz/productos/antisepticos-limpieza/alcohol-etilico-90/>
- Henkel*. (25 de marzzo de 2010). Obtenido de Henkel: http://www.la.henkel-adhesives.com/2016-6942_loctite-super-bonder-llega-a-chile-el-adhesivo-instantneo-lder-a-6978_MXE_HTML.htm
- INEN 657-1, N.-I. (2015). *PERFILES DE ACERO LAMINADO EN CALIENTE*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- INEN-1510. (2010). *ACERO ALAMBRE LISO TREFILADO EN FRIO PARA HORMIGON*. Quito: Servicio Ecuatoriano de normalización.
- INEN-1511. (2015). *ALAMBRE CONFORMADO EN FRÍO PARA HORMIGÓN ARMADO*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.

- INEN-1623. (2013). *PERFILES ABIERTOS DE ACERO CONFORMADOS EN FRÍO*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización .
- INEN-1855, N. (2015). *Hormigones. Hormigón premezclado. Requisitos*. Quito: Instituto Ecuatoriano de Normalización.
- INEN-2209. (2010). *Malla de alambre de acero soldado. Requisitos e inspección*. Quito: Instituto ecuatoriano de normalización.
- INEN-2397, N. (2015). *Placa colaborante de acero, requisitos y métodos de ensayo*. Quito: Servicio Ecuatoriano de Normalización.
- Leon, G. (28 de Agosto de 2009). *issuu*. Obtenido de issuu: https://issuu.com/kcarmach/docs/memoria_construccion_compuesta
- Maritzabel Molina, X. H. (2011). Formulación para el diseño de conectores de cortante tipo tornillo en secciones compuestas. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 53-55.
- Monjo, J. (2010). La evaluación de los sistemas constructivos en la edificación. Procedimientos para su industrialización. *Informe de construcción*, 40.
- Navarro, S. (2012). *Comparación técnica - Económica de elementos compuestos vs. Elementos de acero y elementos de hormigón armado*. Quito.
- NEC15. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Quito: Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
- Novacero. (2017). Catálogo de productos Novacero, Novalosa. *Acero del futuro Novacero*, 3-4.
- Oehlers, D., & Bradford, M. (1995). *Composite steel and concrete structural members* . Great Britain: British Library.
- Vazallo, I. F. (21 de Octubre de 2016). Placas Colaborantes . *Todo sobre placas colaborantes*. Trujillo, Perú.
- Xavier Hurtado, M. M. (2008). Comportamiento de conectores de corte tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta. *Revista ingeniería investigación Vol. 28*, 5-7.

Zimmermann, F. (2004). *Estadística para investigación*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .

ANEXOS

ANEXO NO. 1:
ENSAYOS DE RESISTENCIA DEL HORMIGÓN f_c



HORMIGONERA
EQUINOCCIAL

HORMIGONERA EQUINOCCIAL
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
RESULTADOS DE ENSAYOS DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN



UCEM
UNIÓN CIENTÍFICA DE ENSAYOS MECÁNICOS

CLIENTE: JUAN CARLOS ROGEL MAZA

OBRA: TESIS DE GRADO

FECHA: 14/5/2018

#	TAMAÑO NOMINAL AG	FECHA DE MOLDEO	FECHA DE PRUEBA	EDAD	DIÁMETRO prom. (mm)	ALTURA prom. (mm)	ÁREA (mm ²)	CARGA (kN)	RESISTENCIA (MPa)	RESISTENCIA (kgf/cm ²)	TIPO FALLA	RESISTENCIA ESPECIFICADA (kgf/cm ²)	% Resistencia
1	3/4"	27/3/2018	3/4/2018	7	101,00	199,00	8011,85	180,0	22,5	229,1	II	280	82%
2	3/4"	27/3/2018	3/4/2018	7	101,00	198,00	8011,85	185,2	23,1	235,7	V	280	84%
3	3/4"	27/3/2018	3/4/2018	7	100,00	199,00	7853,98	178,3	22,7	231,5	II	280	83%
4	3/4"	27/3/2018	10/4/2018	14	101,00	197,00	8011,85	250,0	31,2	318,2	I	280	114%
5	3/4"	27/3/2018	10/4/2018	14	101,00	198,00	8011,85	247,3	30,9	314,8	IV	280	112%
6	3/4"	27/3/2018	10/4/2018	14	100,00	199,00	7853,98	243,1	31,0	315,6	V	280	113%
7	3/4"	27/3/2018	24/4/2018	28	100,00	197,00	7853,98	273,1	34,8	354,6	II	280	127%
8	3/4"	27/3/2018	24/4/2018	28	100,00	197,00	7853,98	265,4	33,8	344,6	III	280	123%
9	3/4"	27/3/2018	24/4/2018	28	101,00	198,00	8011,85	270,0	33,7	343,6	II	280	123%

NOTAS: * Estos son los resultados obtenidos hasta la fecha, de los diseños solicitados por el cliente, los días específicos que se realizaron los vaciados.

* Los resultados superan claramente la resistencia especificada a 28 días de edad.

* Los cilindros fueron desencofrados al día siguiente del vaciado, fueron marcados y puestos a curar bajo agua hasta su edad correspondiente de ensayo.

Ing. Javier Cabrera Valladares
Analista de Control de Calidad

Esp. Ing. Gustavo A. Velásquez G.
Jefe de Calidad Nacional



PUCE

Pontificia Universidad Católica del Ecuador
LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES,
MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTÉCNICA
FACULTAD DE INGENIERÍA



ÁREA DE RESISTENCIA DE MATERIALES INFORME DE ENSAYO DETERMINACIÓN DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS DE HORMIGÓN INFORME - TESIS

PROYECTO : Tesis E.P.N.

LOCALIZACIÓN : Quito

MUESTRA : Tomada por el Cliente

NORMA DE REFERENCIA DE ENSAYO : ASTM C39/C39M - 16

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO : LMC-MPT-5.4-ARM-1

NORMA DE REFERENCIA REFRENTADO : ASTM C1231/C1231M-15 - Refrentado no adherido

PROCEDIMIENTO DE REFRENTADO : LMC-MPT-5.4-ARM-1.2

SOLICITADO POR : Gabriel Tenorio

FISCALIZACIÓN :

CONTRATISTA :

FECHA DE INGRESO : 2018-01-04

FECHA DE EMISIÓN : 2018-01-08

ORDEN DE TRABAJO N° : 31486

HOJA : 1 de 1

Probeta N° :	1	2
Identificación de la probeta*	TR72	C4
Descripción*
Resistencia de diseño esperada a los 28 días (MPa)*	23,5	23,5
Fecha de fabricación*	2017-12-21	2017-12-21
Fecha de ensayo*	2018-01-04	2018-01-04
Edad (días)	14	14
Hora de ensayo	15:00	15:04
Diámetro 1 (mm)	102,28	102,06
Diámetro 2 (mm)	102,33	101,73
Diámetro promedio (mm)	102,25	102,00
Relación entre diámetros (%)	0,05	0,32
Altura promedio (mm)	201	201
Relación H/D	1,97	1,97
Área (mm ²)	8211	8171
Volumen (m ³)	0,0017	0,0016
Masa (kg)	3,65	3,72
Peso unitario (kg/m ³)	2210	2260
Carga máxima (KN)	156,5	176,8
Factor de corrección	1,00	1,00
Resistencia a la Compresión (MPa)	19,1	21,6
Incertidumbre expandida (U), K=2, (MPa)
Tipo de Falla		
	4	5

OBSERVACIONES:

* Datos proporcionados por el Cliente.

- Unidades de Conversión: 1 MPa = 10,2 Kg/cm²
- Este informe de ensayo no debe ser reproducido parcialmente.
- El valor de la incertidumbre se reporta únicamente para probetas de 28 días, con un factor K=2 que corresponde a un 95,45% de confianza en una distribución normal.
- El diámetro promedio de la probeta se reporta al 0,25 mm más cercano, según norma de referencia.
- El fin de este informe es solamente académico.

Veintimilla y Av. 12 de Octubre
Telf.: 593 2 299 1529
Cel.: 098 704 9430
Quito - Ecuador
LMC-PUCE@puce.edu.ec
www.puce.edu.ec

Ing. Paulina López
RESPONSABLE DEL ÁREA

Ing. Fabián Alvear
COORDINADOR TÉCNICO

Ing. Jorge Buehli
DIRECTOR



Solidarios en la construcción, excelencia en la calidad...

JESUITAS ECUADOR

ANEXO NO. 2:
DOCUMENTOS DE CERTIFICACIÓN API

THE LINDE GROUP



CERTIFICADO

LINDE ECUADOR S.A. Certifica que el Sr. *TIPAN GUAZUMBA JHONY PAUL* asistió al

"CURSO DE SOLDADURA BAJO CODIGO API 1104"

Con una duración de 20 horas

Quito, Agosto 2 de 2013

Ing. Carlos Padilla
LINDE ECUADOR S.A.



American Welding Society



Educational Institution Member

Ing. Andrés Pablo Gaona
ESCUELA DE SOLDADURA

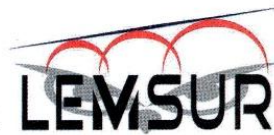
ESQ-C04-839-0813

FYI		WELDER PERFORMANCE QUALIFICATIONS (WPQ)/ Bajo AWS D1.1				
		WPQ - 26	Rev. N° 0	Fecha:	Oct. 04/ 2016	
		Soportado por el WPS N°	FYI - WPS - 002	Rev. N° 0	Fecha:	Ago. 09/ 2016
Realizado por: INSPECTION TOTAL QUALITY MANAGEMENT. Servicios de Inspección y Gestión de Calidad					FORMATO: ITQM-FO-02-28	
SMAW (Shielded Metal Arc Welding - Soldadura de Arco con Electrodo Revestido)						
INFORMACION GENERAL						
Cliente:	FYI Ingeniería & Construcción	Localidad:	Parque Industrial Sur	Soldador:	TIPAN GUAZUMBA JHOHY PAUL	
Temperatura media:	10° C	Tipo Máquina de soldar:	Invertec 350 PRO	Ced. Id.:	1722024989	
Condiciones climáticas:	Lluvioso	Potencia Máquina:	350 A	Celular:	9997432961	
Tiempo de soldadura:	1 Hora	Mampara de viento/ Utilizada:	SI/ Bajo Cubierta			
VARIABLES ESENCIALES para el Soldador		VARIABLES USADAS		RANGOS CALIFICADOS Sujeo a las limitaciones impuestos en el WPS		
PROCESO / TIPO:		SMAW		SMAW		
# ELECTRODOS/ # PASES:		Múltiples		Múltiples		
MATERIAL DE APORTE	ESPECIFICACION:	AWS A 5.1		AWS A 5.1		
	CLASIFICACION:	E 7018/	E 6010	E 7018/	E 6010	
	F - N°:	F4/	F3	F4/F3/F2/F1/	F3/F2/F1	
CORRIENTE / POLARIDAD:		DC +(Corriente continua/ Electrodo al Positivo) Demas pases DC -(Corriente continua/ Electrodo al Negativo) Raiz		DC +(Corriente continua/ Electrodo al Positivo) Demas pases DC -(Corriente continua/ Electrodo al Negativo) Raiz		
POSICION:		6G		Todas Posiciones		
DIRECCION D ↓ A ↑:		Ascendente A ↑ / E 7018	Descendente D ↓ / E 6010	Ascendente A ↑ / E 7018	Descendente D ↓ / E 6010	
RESPALDO (SI o NO):		SI		SI		
RESANADO (SI o NO):		NO		SI		
MATERIAL BASE	ESPECIFICACION:		Categoría A, ASTM A 106 Gr. B		Categoría A	
	ESPESOR	Plancha	A Ranura	No usada	3.2 mm (1/8") hasta 19.05 mm (3/4")	
			A Filete	No usada	3.2 mm (1/8") hasta 19.05 mm (3/4")	
	Tubo	A Ranura	8.56 mm (0.337")		Espesor 3.2 mm (1/8") hasta 19.05 mm (3/4")	
		A Filete	No usada		Espesor 3.2 mm hasta 19.05 mm	
	DIAMETRO TUBO Con placa respaldo ó pase de resanado ó ambos		A Ranura	Nominal 4" - Externo 4-1/2"	Mayor a 4" hasta limitado	
		A Filete	No usada	Mayor a 4" hasta limitado		
GAS / TIPO DE FLUJO:		No usada		No usada		
PARAMETROS DE SOLDADURA						
Pasada N°	1 (Raiz)	2 (Caliente)	3 (Relleno)	5 (Capa)		
Proceso	SMAW	SMAW	SMAW	SMAW		
Tipo de electrodo	E6010	E6010	E7018	E7018		
Diámetro mm (Pulg)	3.2 mm (1/8")	3.2 mm (1/8")	3.2 mm (1/8")	3.2 mm (1/8")		
Velocidad del arco (Pulg/min)	7.5	7.0	4.0	3.0		
Voltaje	28	29	23	23		
Amperaje	85	90	110	117		
Dirección D ↓ A ↑	D ↓	D ↓	A ↑	A ↑		
Tipo de Corriente & Polaridad	CC EN	CC EP	CC EP	CC EP		
RESULTADOS DE ENSAYOS DESTRUCTIVOS						
ENSAYO DE DOBLADOS						
DC1: NO APLICA	DC2: NO APLICA	DR1: NO APLICA	DR2: NO APLICA			
Observaciones sobre el ensayo: DL: Doblado lateral DC: Doblado Cara DR: Doblado Raiz						
RESULTADOS DE ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS						
VISUAL	Calificado	SI	Descalificado			
RADIOGRAFIA ITQM-Q16-229	Calificado	SI	Descalificado			
CALIFICADO <input checked="" type="checkbox"/>			DESCALIFICADO <input type="checkbox"/>			
REALIZADO POR - ITQM		REVISADO Y APROBADO POR		Cliente (Si Aplica):		
NOMBRE: FCVMA Oct. 04/ 2016	NOMBRE: FCVMA Oct. 04/ 2016		NOMBRE: FCVMA			

ANEXO NO. 3:
ENSAYOS DE TRACCIÓN Fut



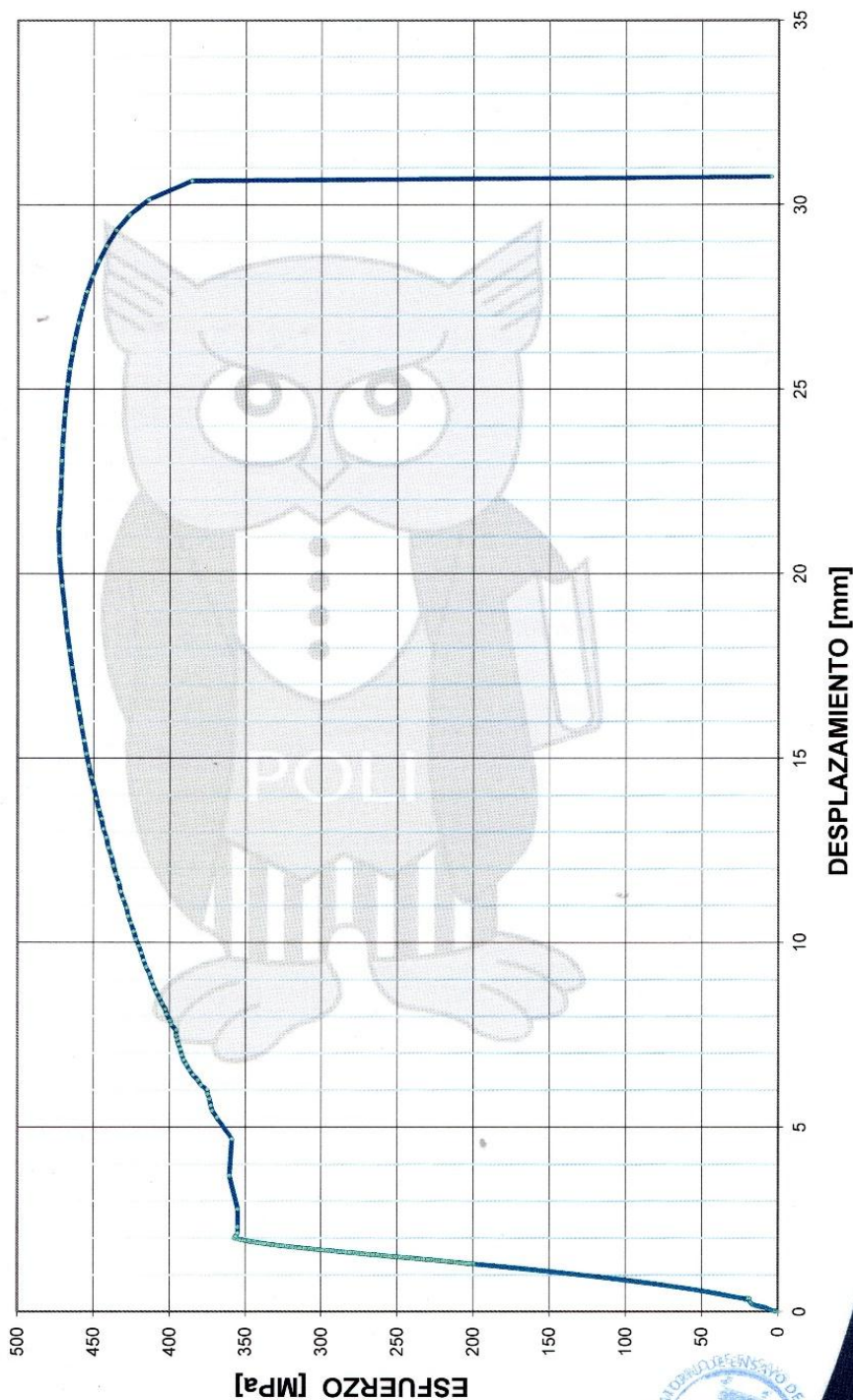
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
 ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

INF N° 18-0149-I
 02 de 02

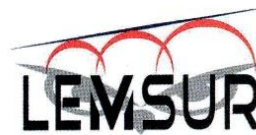


Tel.: 2976300
 Ext.: 1609

PLATEN-18-013-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0149-1
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

ELEMENTO: PLATE TYPE

MUESTRA: MUESTRA 6

NORMA REFERENCIA: ASTM-A370-17a / ASTM E8 -16a

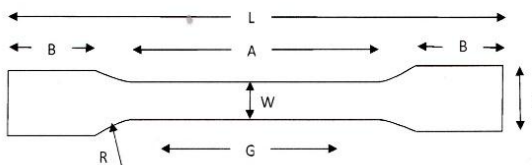
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
0.02	0.000	0.096
8.63	0.584	52.983
25.27	1.115	155.055
27.34	1.169	167.787
29.01	1.209	178.003
30.25	1.239	185.652
31.92	1.278	195.861
39.50	1.459	242.378
53.02	1.786	325.396
58.04	2.054	356.159
57.84	2.130	354.960
57.84	2.297	354.955
57.83	2.782	354.898
58.73	3.687	360.403
58.47	4.685	358.811
60.08	5.261	368.721
60.87	5.764	373.534
61.04	5.887	374.595
61.11	6.009	375.041
63.04	6.545	386.849
65.64	8.197	402.856
66.59	8.649	408.677
67.10	8.966	411.788
67.33	9.157	413.203
69.02	10.299	423.551
70.95	11.855	435.395
73.85	14.804	453.238
76.21	18.457	467.673
76.69	23.471	470.650
75.94	25.555	466.036
72.80	28.473	446.796
69.52	29.723	426.635
62.85	30.653	385.723
0.77	30.755	4.704

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	75.52
Ancho (W)	[mm]	39.70
Espesor (T)	[mm]	4.11
Longitud Total (L)	[mm]	301.00
Longitud sección reducida (A)	[mm]	90.50
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	100.00
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	49.00

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	162.95
Carga Máxima de Tensión	[KN]	77.11
Carga de Fluencia	[KN]	58.66
Carga de Rotura	[KN]	62.85
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	473.20
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	360.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	385.72
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	98.37
Elongación	[%]	30.3%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento , son un resumen de todos los datos primarios debido a la gran cantidad de datos



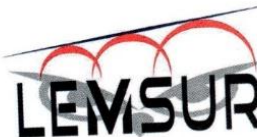
ING. MERCEDES VILLACÍS



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



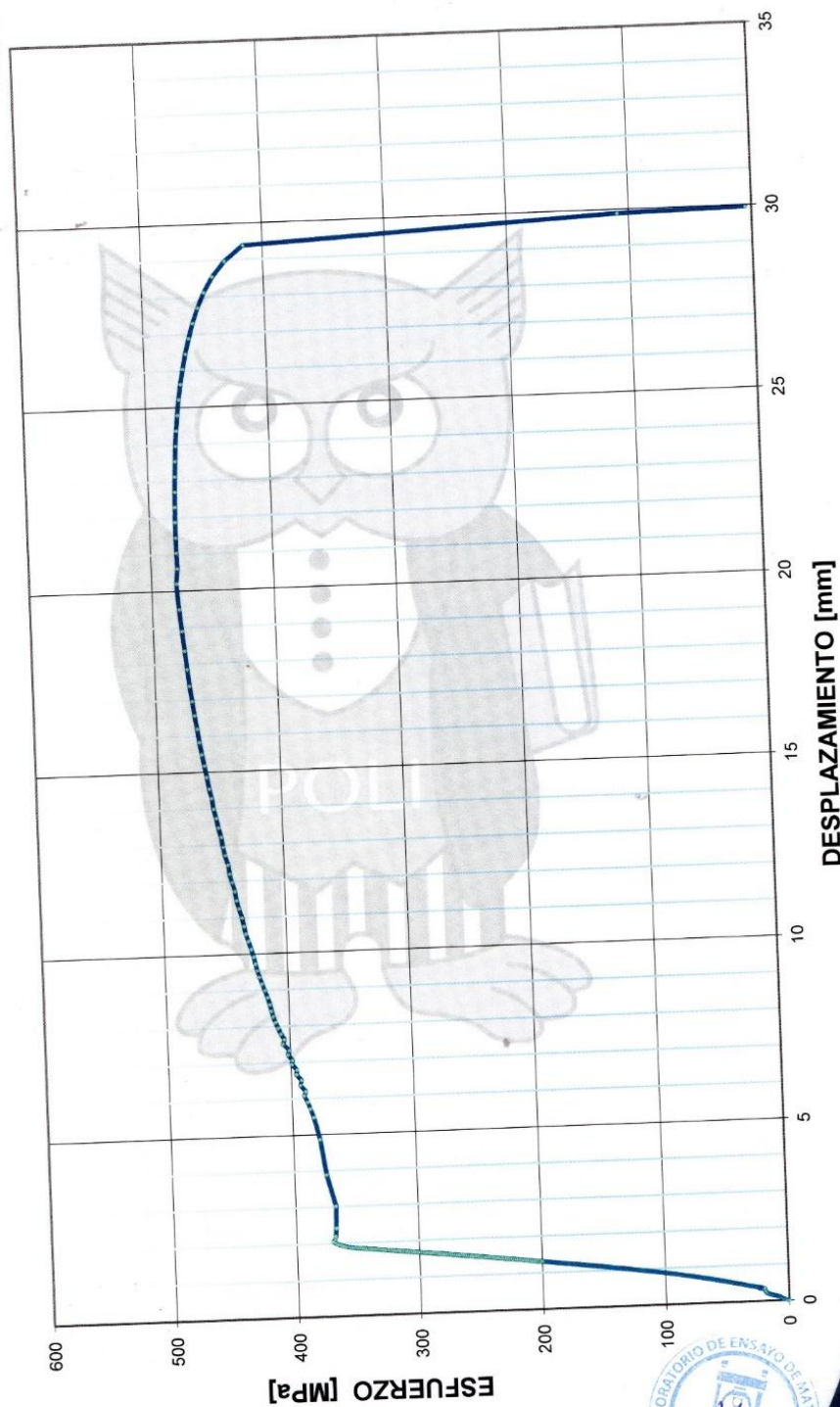
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

INF N° 18-0148-I
02 de 02

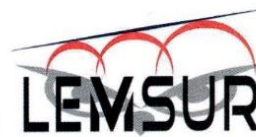


Telf.: 2976300
Ext.: 1609

PLATEN-18-012-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0148-I
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***

ELEMENTO: PLATE TYPE

MUESTRA: MUESTRA 5

NORMA REFERENCIA: ASTM-A370-17a / ASTM E8 -16a

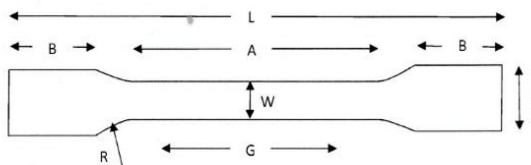
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
0.00	0.000	0.013
8.63	0.586	53.275
25.25	1.126	155.811
59.73	2.114	368.541
59.52	3.012	367.221
60.62	3.887	373.999
61.31	4.862	378.250
63.21	6.074	390.016
66.01	7.786	407.236
66.94	8.255	412.984
67.32	8.596	415.361
67.59	8.789	417.016
69.24	9.916	427.194
71.24	11.467	439.536
74.09	14.281	457.104
76.50	17.382	471.987
77.64	21.876	479.018
77.25	23.960	476.587
75.02	26.878	462.877
72.81	28.128	449.192
69.96	28.963	431.659
67.41	29.381	415.917
17.71	29.881	109.275
0.81	29.939	4.968

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	73.90
Ancho (W)	[mm]	39.78
Espesor (T)	[mm]	4.08
Longitud Total (L)	[mm]	301.25
Longitud sección reducida (A)	[mm]	86.00
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	99.50
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	50.00

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	162.08
Carga Máxima de Tensión	[KN]	77.79
Carga de Fluencia	[KN]	59.97
Carga de Rotura	[KN]	67.41
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	479.95
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	370.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	415.92
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	95.58
Elongación	[%]	29.3%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento , son un resumen de todos los datos primarios, debido a la gran cantidad de datos



ING. MERCEDES VILLACÍS



Tel.: 2976300
Ext.: 1609



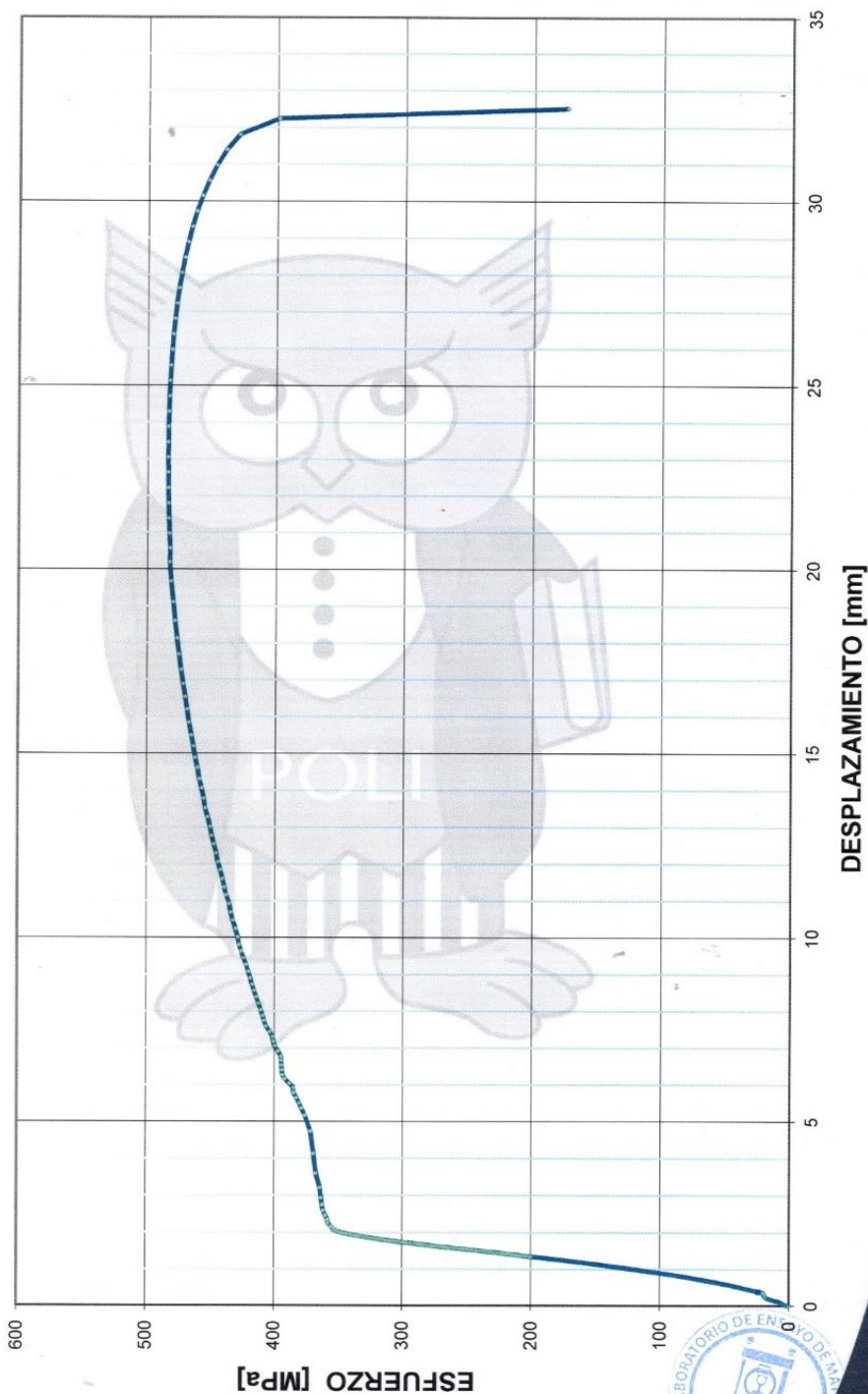
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
 ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

INF N° 18-0147-1
 02 de 02

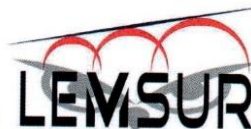


Telf.: 2976300
 Ext.: 1609

PLATEN-18-011-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0147-I
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

ELEMENTO: PLATE TYPE

MUESTRA: MUESTRA 4

NORMA REFERENCIA: ASTM A370-17a / ASTM E8 -16a

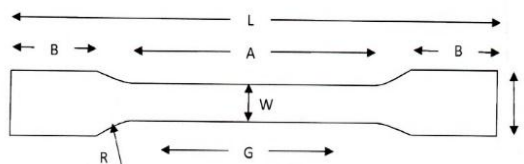
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
0.01	0.000	0.074
8.55	0.613	52.686
25.18	1.157	155.105
52.31	1.837	322.149
57.46	2.107	353.908
62.15	5.650	382.756
65.06	7.184	400.682
65.99	7.593	406.445
66.41	7.879	409.030
66.67	8.032	410.635
68.24	9.083	420.272
70.21	10.471	432.451
73.15	13.017	450.554
75.55	15.496	465.298
77.90	19.111	479.809
78.49	21.380	483.391
78.53	24.296	483.660
77.80	26.803	479.137
76.60	28.471	471.800
75.67	29.305	466.067
73.60	30.555	453.330
69.70	31.806	429.302
64.73	32.237	398.664
28.32	32.515	174.393

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	72.06
Ancho (W)	[mm]	40.49
Espesor (T)	[mm]	4.01
Longitud Total (L)	[mm]	300.50
Longitud sección reducida (A)	[mm]	84.00
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	101.00
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	49.50

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	162.36
Carga Máxima de Tensión	[KN]	78.61
Carga de Fluencia	[KN]	60.24
Carga de Rotura	[KN]	64.73
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	484.13
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	371.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	398.66
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	95.94
Elongación	[%]	33.1%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento , son un resumen de todos los datos primarios, debido a la gran cantidad de datos



ING. MERCEDES VILLACÍS



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



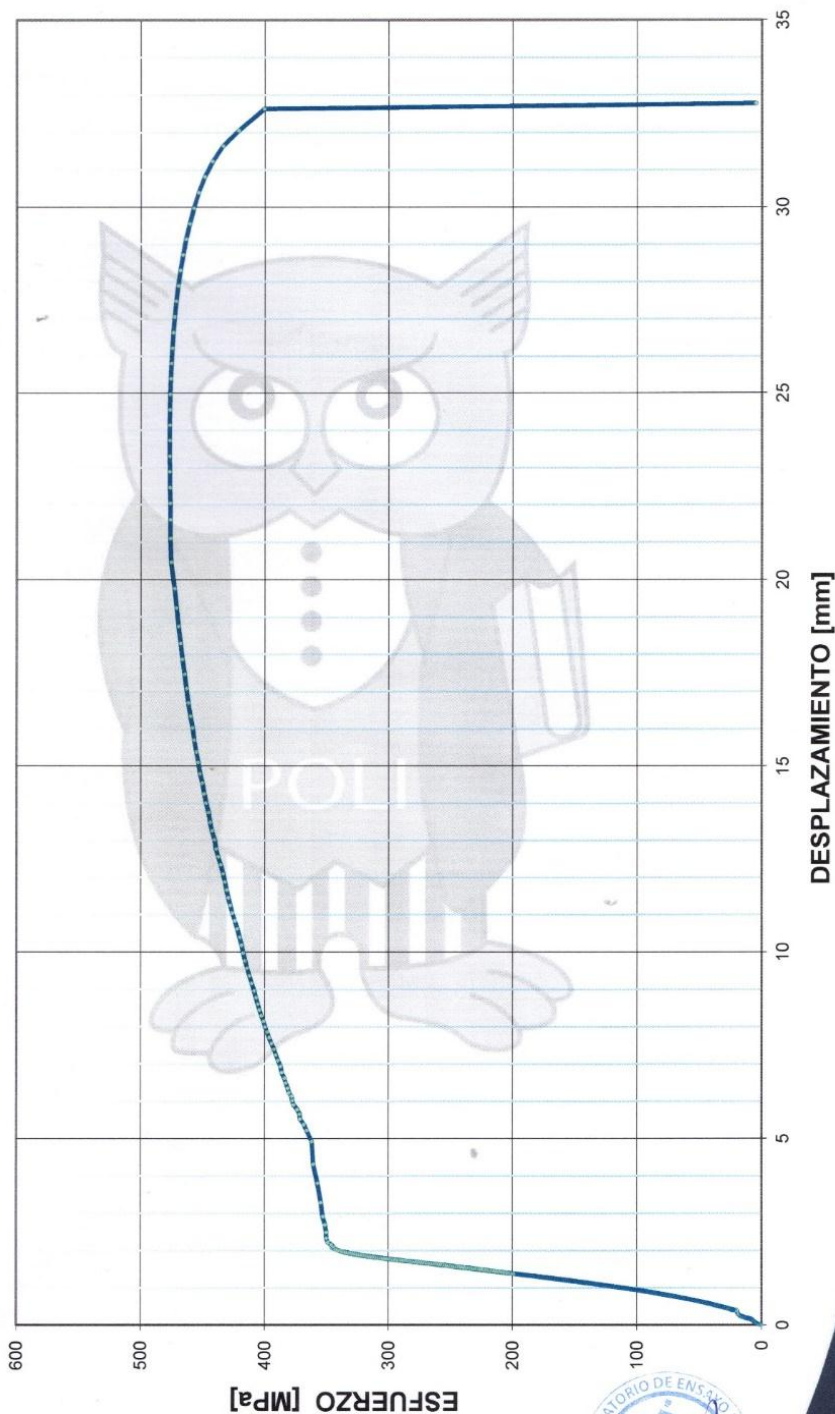
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
 ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

INF N° 18-0146-I
 02 de 02

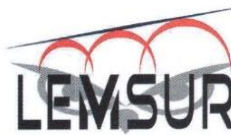


Telf.: 2976300
 Ext.: 1609

PLATEN-18-010-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0146-I
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***
ELEMENTO: PLATE TYPE
MUESTRA: MUESTRA 3
NORMA REFERENCIA: ASTM-A370-17a / ASTM E8 -16a

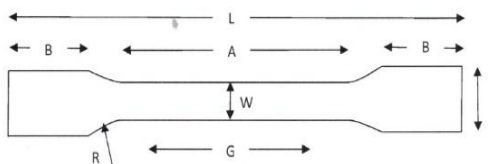
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
0.00	0.000	0.016
8.57	0.639	50.675
25.19	1.172	148.920
46.40	1.678	274.318
52.02	1.811	307.517
56.24	1.939	332.473
59.20	2.335	349.987
59.68	2.920	352.839
60.39	3.805	357.007
60.98	4.313	360.478
63.20	5.777	373.627
64.94	6.616	383.896
68.10	8.295	402.615
70.58	9.974	417.229
73.06	11.872	431.918
74.47	13.017	440.263
76.46	14.802	452.038
78.10	16.696	461.695
79.16	18.294	467.963
79.70	19.246	471.196
80.55	21.105	476.193
80.61	22.467	476.567
80.65	24.139	476.806
80.16	26.639	473.890
78.84	28.723	466.091
77.34	29.973	457.235
76.66	30.390	453.174
75.82	30.807	448.243
74.77	31.223	442.002
73.34	31.640	433.539
71.20	32.058	420.919
67.74	32.634	400.446
0.79	32.770	4.671

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	78.86
Ancho (W)	[mm]	41.72
Espesor (T)	[mm]	4.06
Longitud Total (L)	[mm]	301.75
Longitud sección reducida (A)	[mm]	97.50
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	100.00
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	50.00

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	169.15
Carga Máxima de Tensión	[KN]	80.67
Carga de Fluencia	[KN]	60.90
Carga de Rotura	[KN]	67.74
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	476.88
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	360.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	400.45
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	102.70
Elongación	[%]	30.2%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento , son un resumen de todos los datos primarios, debido a la gran cantidad de datos



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DEL LABORATORIO



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

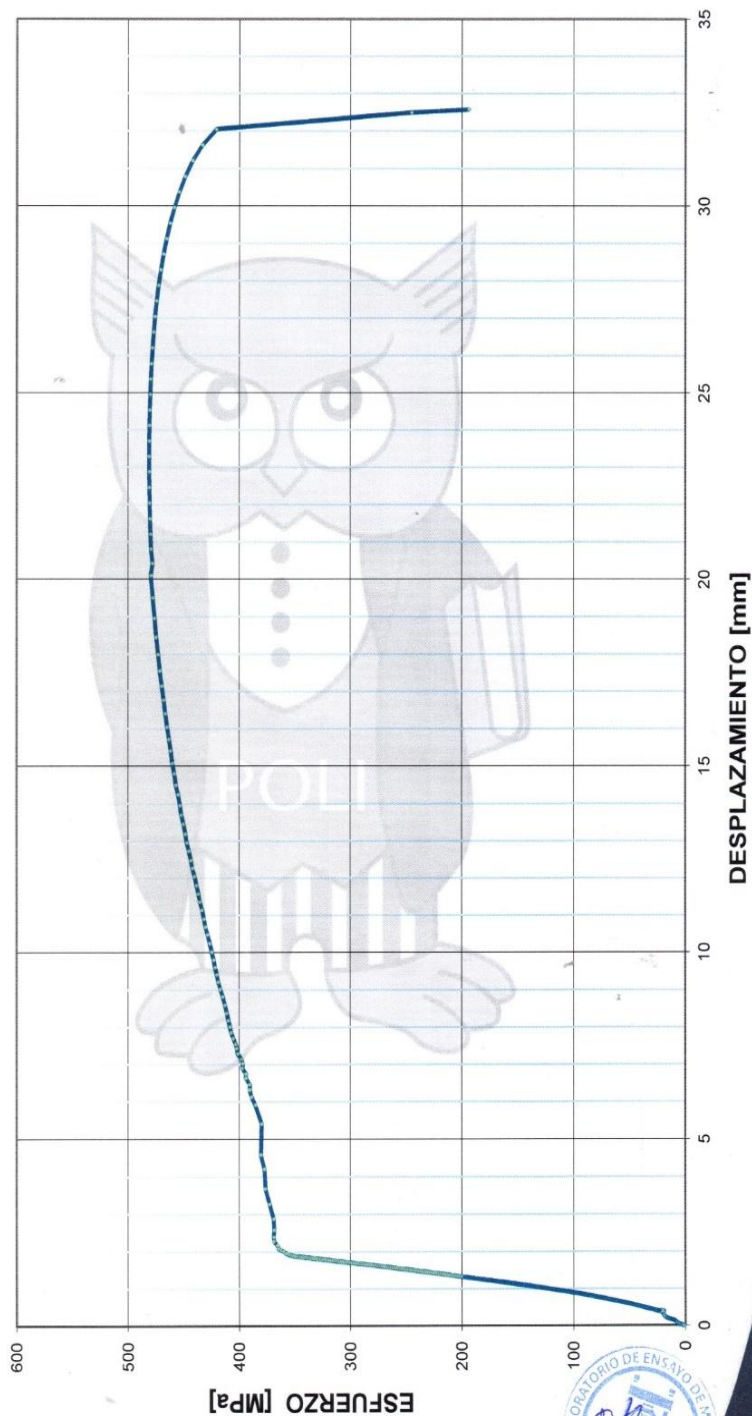


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

INF N° 18-0145-I
02 de 02
PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

PLATEN-18-009-I



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0145-I
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***

FISCALIZADOR: ***

ELEMENTO: PLATE TYPE

MUESTRA: MUESTRA 2

NORMA REFERENCIA: ASTM A370-17a / ASTM E8 -16a

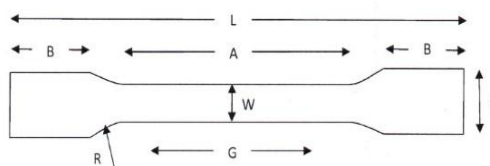
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
-0.01	0.000	-0.056
8.81	0.616	53.660
25.44	1.142	154.911
52.26	1.769	318.235
57.61	1.888	350.833
60.07	2.165	365.803
60.58	2.873	368.924
62.47	4.588	380.433
63.32	5.908	385.623
65.14	7.026	396.677
68.50	9.021	417.179
70.36	10.470	428.500
73.42	12.949	447.149
74.23	13.696	452.062
75.81	15.408	461.679
76.85	16.767	467.992
77.41	17.547	471.424
78.18	18.955	476.129
78.73	20.098	479.938
78.81	21.204	479.938
78.98	22.864	480.994
78.94	24.116	480.766
78.75	25.368	479.565
78.34	26.622	477.056
77.89	27.459	474.356
77.27	28.292	470.593
76.43	29.126	465.446
74.56	30.376	454.052
72.58	31.210	442.029
71.14	31.627	433.243
69.10	32.044	420.843
40.27	32.485	245.270
31.81	32.571	193.748

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	78.90
Ancho (W)	[mm]	40.65
Espesor (T)	[mm]	4.04
Longitud Total (L)	[mm]	300.00
Longitud sección reducida (A)	[mm]	88.50
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	101.00
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	49.00

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	164.21
Carga Máxima de Tensión	[KN]	78.99
Carga de Fluencia	[KN]	61.58
Carga de Rotura	[KN]	69.10
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	481.02
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	375.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	420.84
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	102.69
Elongación	[%]	30.2%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento , son un resumen de todos los datos primarios, debido a la gran cantidad de datos




ING. MERCEDES VILLACIS



Telf.: 2976300
Ext.: 1609

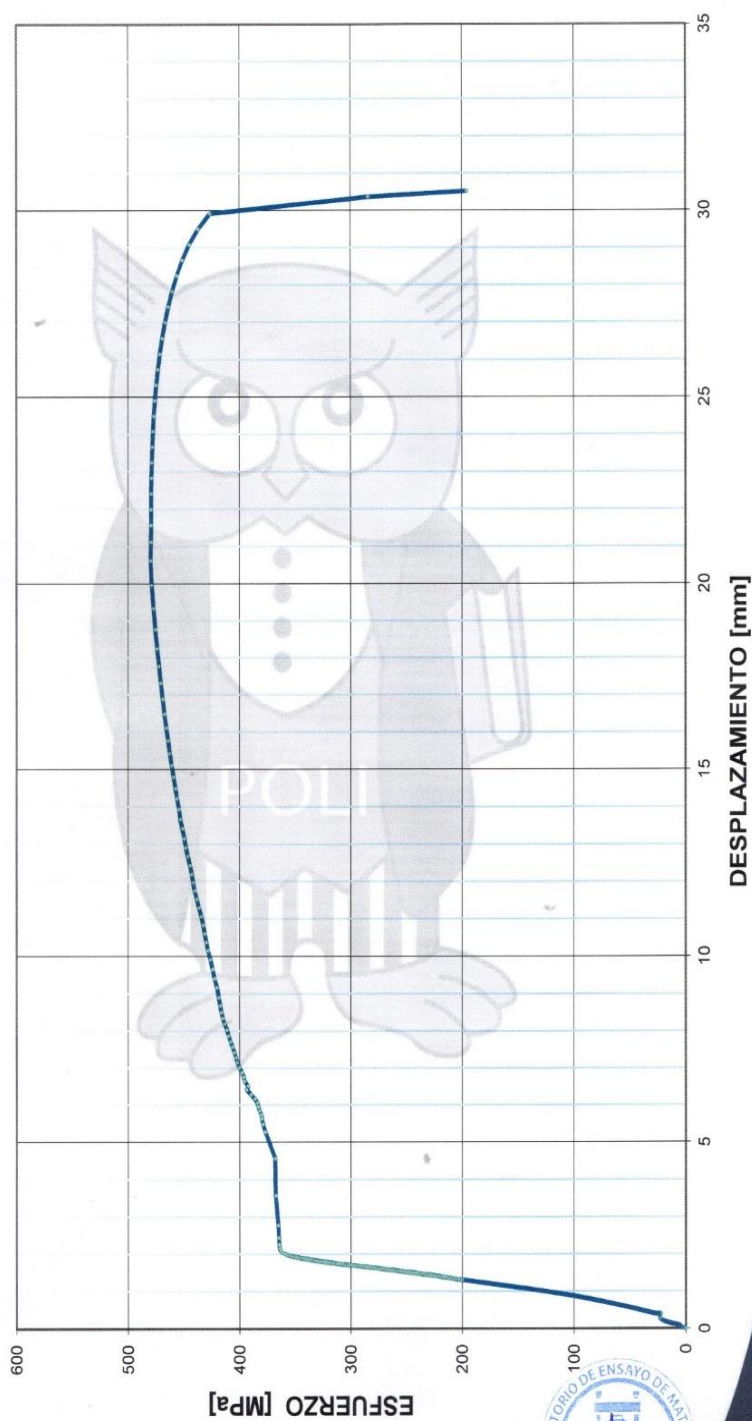


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

INF N° 18-0144-I
02 de 02
PROYECTO DE TITULACIÓN: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO
ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.



Telf.: 2976300
Ext.: 1609



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, MECÁNICA DE SUELOS Y ROCAS



TRACCIÓN EN PLACAS METÁLICAS

INF. No. 18-0144-1
01 de 02

Quito, 26 de junio de 2018

SOLICITA: JUAN CARLOS ROGEL, GABRIEL TENORIO
Atención: Juan Carlos Rogel, Gabriel Tenorio
Dirección: Ladrón de Guevara E11-253 y Andalucía -EPN

PROYECTO: ENSAYO EXPERIMENTAL DE LOS CONECTORES DE CORTE TIPO ANGULO EN LOSAS TIPO DECK SOBRE ESTRUCTURA METÁLICA.

CONTRATISTA: ***
FISCALIZADOR: ***

ELEMENTO: PLATE TYPE
MUESTRA: MUESTRA 1

NORMA REFERENCIA: ASTM A370-17a / ASTM E8 -16a

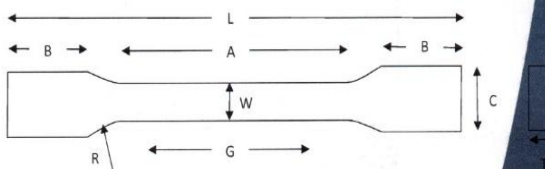
CARGA	DESPLAZAMIENTO	ESFUERZO
[KN]	[mm]	[MPa]
0.006	0.000	0.035
9.003	0.595	55.318
17.321	0.902	106.428
25.626	1.130	157.461
57.411	1.940	352.767
57.910	1.968	355.831
58.439	2.006	359.086
58.991	2.058	362.476
59.211	2.161	363.827
59.354	2.439	364.708
59.822	3.566	367.581
59.900	4.569	368.061
61.851	5.628	380.051
63.819	6.514	392.141
65.638	7.273	403.321
67.936	8.676	417.440
69.035	9.653	424.193
71.015	11.290	436.357
72.073	12.183	442.856
73.435	13.419	451.226
74.233	14.220	456.133
75.827	16.114	465.924
76.623	17.315	470.818
77.152	18.240	474.070
77.951	19.962	478.976
78.017	21.984	479.383
77.917	23.239	478.766
77.745	24.073	477.708
76.728	26.157	471.459
75.480	27.407	463.793
74.228	28.241	456.102
71.091	29.492	436.824
69.357	29.909	426.172
46.300	30.359	284.495

CARACTERÍSTICAS DE LA PROBETA		
Longitud Calibrada (G)	[mm]	71.93
Ancho (W)	[mm]	40.09
Espesor (T)	[mm]	4.06
Longitud Total (L)	[mm]	300.50
Longitud sección reducida (A)	[mm]	90.50
Longitud sección de agarre (B)	[mm]	101.50
Ancho de la sección de agarre (C)	[mm]	48.75

RESUMEN DE RESULTADOS		
Área	[mm ²]	162.75
Carga Máxima de Tensión	[KN]	78.09
Carga de Fluencia	[KN]	59.89
Carga de Rotura	[KN]	69.36
Esfuerzo máximo de Tensión	[MPa]	479.83
Esfuerzo de Fluencia*	[MPa]	368.00
Esfuerzo a la Rotura	[MPa]	426.17
Modulo de Elasticidad	[MPa]	***
Longitud Calibrada después a la falla	[mm]	94.93
Elongación	[%]	32.0%

*El método Para determinar el Esfuerzo de Fluencia fue OFFSET METHOD

*Los datos de Carga y Desplazamiento, son un resumen de todos los datos primarios, debido a la gran cantidad de datos



ING. MERCEDES VILLACÍS
JEFE DEL LABORATORIO

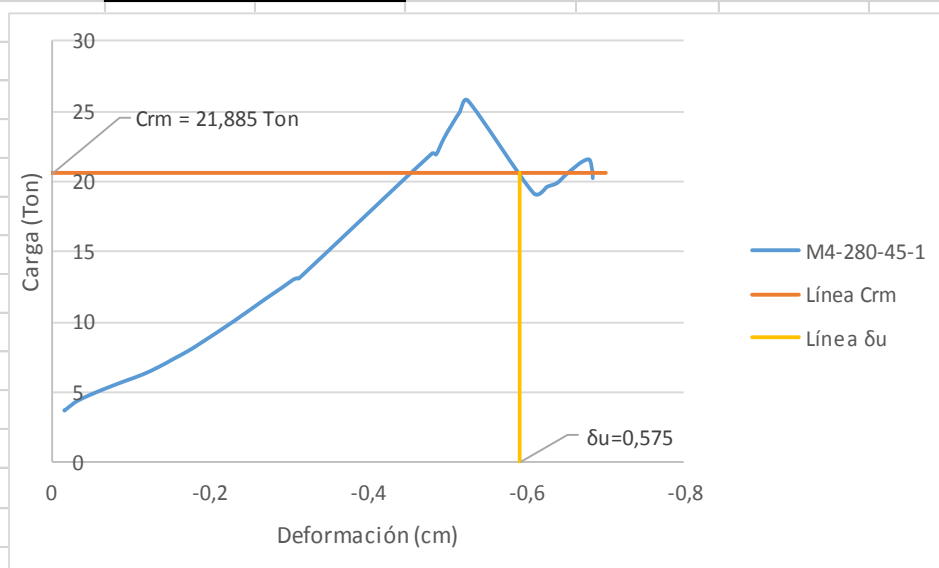


Telf.: 2976300
Ext.: 1609

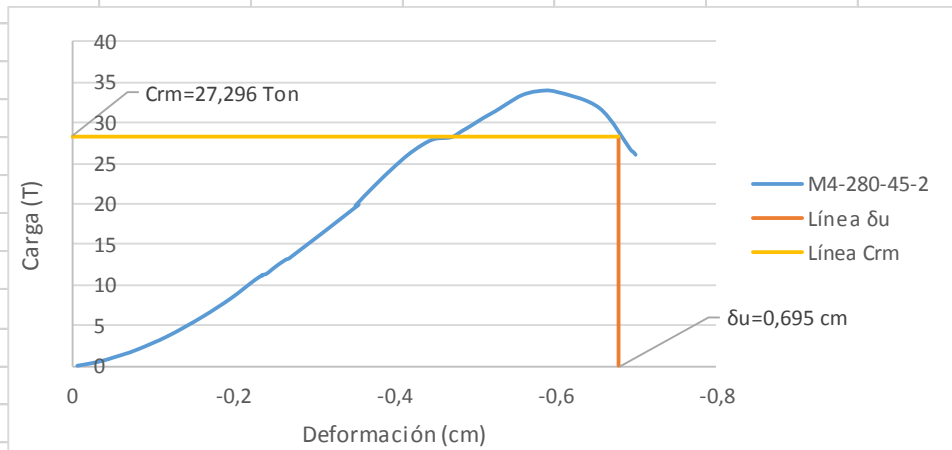
Promedios Fu		
N Probeta	σ Fluencia	σ Rotura
	Mpa	Mpa
1	360	385,72
2	370	415,92
3	371	398,66
4	360	400,45
5	368	426,17
6	375	420,84
Promedio	367,33	407,96

ANEXO NO. 4:
RESPALDO ENSAYOS DE LABORATORIO

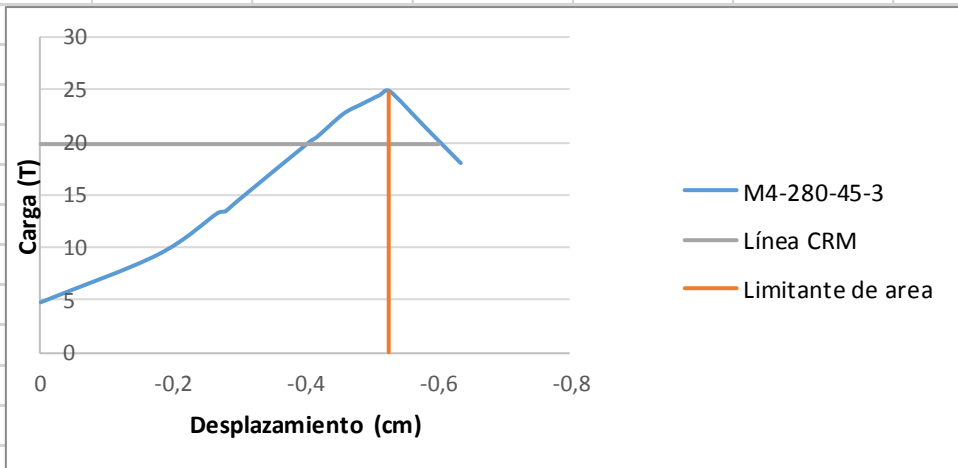
M4-280-45-1		Calculo de energía		
Def.	Carga	Promedio	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-0,017	3,644	3,6318	0,0003	0,0011
-0,017	3,620	3,7162	0,0041	0,0151
-0,021	3,813	3,9334	0,0056	0,0220
-0,027	4,054	4,1747	0,0060	0,0252
-0,050	4,754	4,5246	0,0171	0,0772
-0,072	5,261	5,0072	0,0219	0,1096
-0,116	6,190	5,5019	0,0225	0,1237
-0,137	6,745	5,9665	0,0214	0,1279
-0,174	7,891	6,4672	0,0210	0,1357
-0,190	8,470	7,0343	0,0189	0,1327
-0,232	10,002	7,6074	0,0184	0,1401
-0,269	11,474	8,1805	0,0163	0,1333
-0,293	12,403	9,2362	0,0411	0,3792
-0,306	12,946	10,7384	0,0370	0,3971
-0,311	13,055	11,9389	0,0241	0,2883
-0,314	13,054	12,6750	0,0136	0,1722
-0,482	21,937	13,0007	0,0048	0,0628
-0,487	21,863	13,0545	0,0027	0,0354
-0,497	23,010	17,4955	0,1677	2,9348
-0,517	24,916	21,9002	0,0053	0,1156
-0,527	25,712	22,4366	0,0098	0,2201
-0,610	19,112	23,5105	0,0103	0,2413
-0,627	19,571	24,4637	0,0101	0,2474
-0,640	19,836	25,3143	0,0101	0,2560
-0,661	20,910	Energía Disipada		6,39382447
-0,671	21,345			
-0,684	20,753			
-0,685	20,464			
-0,685	20,295			



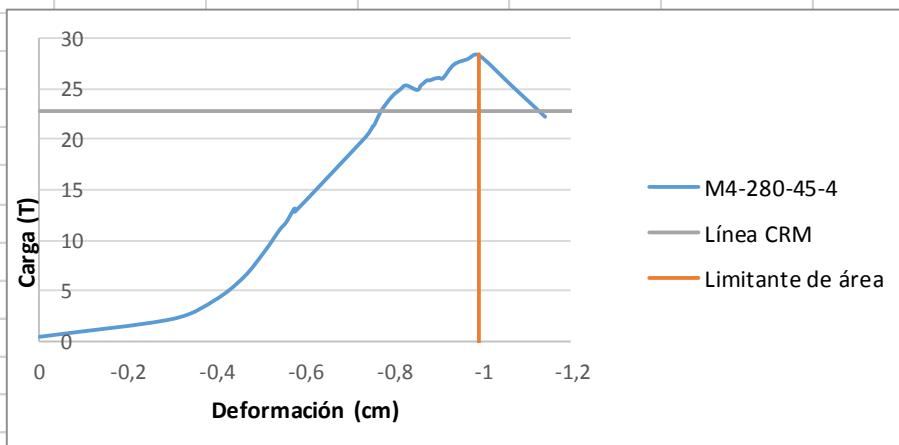
M4-280-45-2		Calculo de energía		
Def.	Carga	Promedio	Despl.	Energía
cm	T	T	cm	T-cm
-0,006	0,097	0,25342	0,01781	0,00451
-0,024	0,410	0,58528	0,01555	0,00910
-0,040	0,760	0,94731	0,01223	0,01158
-0,052	1,134	2,93244	0,03698	0,10846
-0,064	1,496	4,90551	0,04227	0,20735
-0,082	2,124	7,24061	0,03653	0,26451
-0,119	3,741	9,47916	0,02808	0,26616
-0,161	6,070	10,88504	0,01027	0,11174
-0,198	8,411	11,20484	0,00045	0,00507
-0,226	10,547	11,22294	0,00030	0,00340
-0,236	11,223	11,42205	0,00272	0,03104
-0,240	11,356	11,99527	0,00392	0,04708
-0,243	11,488	12,38143	0,00619	0,07663
-0,251	12,152	12,87018	0,00785	0,10103
-0,265	13,130	13,16583	0,00106	0,01391
-0,266	13,202	13,27444	0,00408	0,05410
-0,270	13,347	16,62274	0,08588	1,42755
-0,356	19,899	19,85664	0,00377	0,07495
-0,352	19,815	21,06965	0,02430	0,51206
-0,377	22,325	23,33832	0,02128	0,49673
-0,398	24,352	26,65685	0,01842	0,49091
-0,417	26,017	27,66448	0,01555	0,43012
-0,435	27,296	28,61177	0,01313	0,37575
-0,451	28,033	29,32978	0,01177	0,34533
-0,496	29,674	30,15036	0,01525	0,45967
-0,512	30,627	31,04334	0,01494	0,46392
-0,579	33,897	31,93633	0,01525	0,48690
-0,602	33,837	33,65593	0,01917	0,64521
-0,695	26,717	32,82932	0,05389	1,76915
-0,698	26,428	29,26944	0,03849	1,12665
-0,700	26,222	26,32500	0,00196	0,05166
-0,701	26,078	Energía Disipada		13,1577



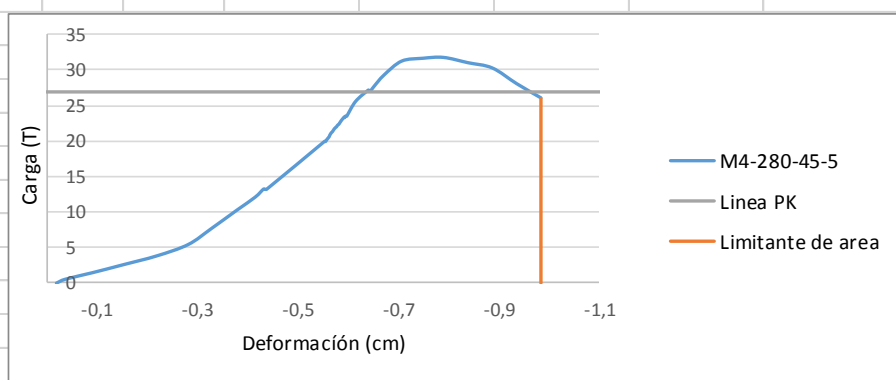
M4-280-45-3		Calculo de energía		
Def.	Carga	Promedio	Despl.	Energia
cm	T	T	cm	T-cm
0,000	4,727	6,994	0,176	1,233
-0,176	9,261	13,305	0,012	0,165
-0,266	13,214	13,854	0,017	0,230
-0,279	13,396	17,110	0,108	1,843
-0,295	14,313	20,203	0,014	0,277
-0,403	19,907	21,586	0,039	0,845
-0,417	20,498	23,121	0,026	0,612
-0,456	22,674	23,804	0,015	0,353
-0,482	23,568	24,263	0,014	0,348
-0,497	24,040	24,674	0,015	0,358
-0,512	24,487	Energia Disipada		6,265
-0,526	24,862			
-0,580	21,429			
-0,633	17,997			
-0,526	24,862			



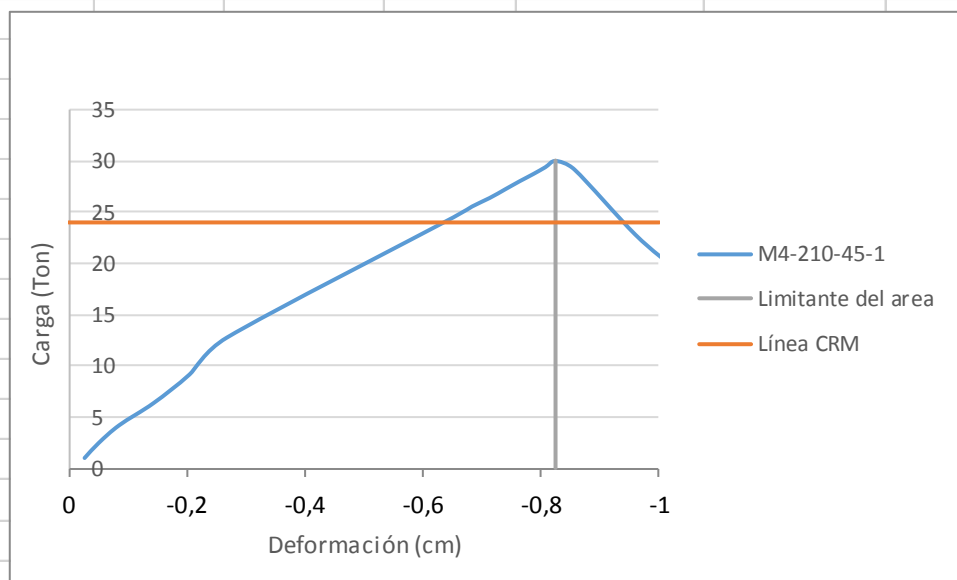
M4-280-45-4		Calculo de energía		
Def.	Carga	Promedio	Despl.	Energia
cm	Ton	T	cm	T-cm
0	0,5311828	1,4064	0,2980	0,4190
-0,29795272	2,28167188	3,2112	0,0957	0,3075
-0,39369626	4,14081152	5,2877	0,0660	0,3490
-0,45968986	6,43455518	7,7082	0,0470	0,3620
-0,50665555	8,98181836	10,0261	0,0331	0,3316
-0,53972783	11,070333	11,4385	0,0146	0,1676
-0,55437632	11,8067461	13,2071	0,0021	0,0279
-0,56298418	12,4345068	13,0743	0,0003	0,0039
-0,57280011	13,1829922	16,6040	0,1588	2,6360
-0,57491431	13,2312803	20,6105	0,0107	0,2210
-0,57521639	12,9174014	21,0149	0,0024	0,0508
-0,73397427	20,2906602	21,1778	0,0021	0,0448
-0,74469471	20,9304004	21,3707	0,0007	0,0157
-0,74922457	21,2563066	21,4308	0,0015	0,0326
-0,75028148	21,3287285	21,5153	0,0023	0,0487
-0,75101461	21,412707	21,7446	0,0035	0,0755
-0,75480022	21,5816914	22,4568	0,0127	0,2848
-0,75827303	21,9075879	23,6759	0,0233	0,5505
-0,77095623	23,0059863	24,6898	0,0184	0,4548
-0,79420877	24,3457891	25,2330	0,0130	0,3277
-0,82561474	25,4321152	25,2028	0,0248	0,6241
-0,85037708	24,9734453	25,5347	0,0068	0,1735
-0,85868158	25,4079766	25,7882	0,0069	0,1791
-0,87242174	25,9149277	25,9270	0,0079	0,2036
-0,88691673	26,0597715	25,9994	0,0066	0,1727
-0,90865936	26,120123	26,1020	0,0074	0,1931
-0,93327084	27,4840645	26,1563	0,0066	0,1738
-0,96437473	28,0272305	26,1443	0,0077	0,2013
-0,99004307	28,4014082	26,8021	0,0246	0,6596
-1,06463232	25,3596934	27,7556	0,0311	0,8633
-1,13922157	22,3179785	28,2143	0,0257	0,7242
			Energía Disipada	11,3414



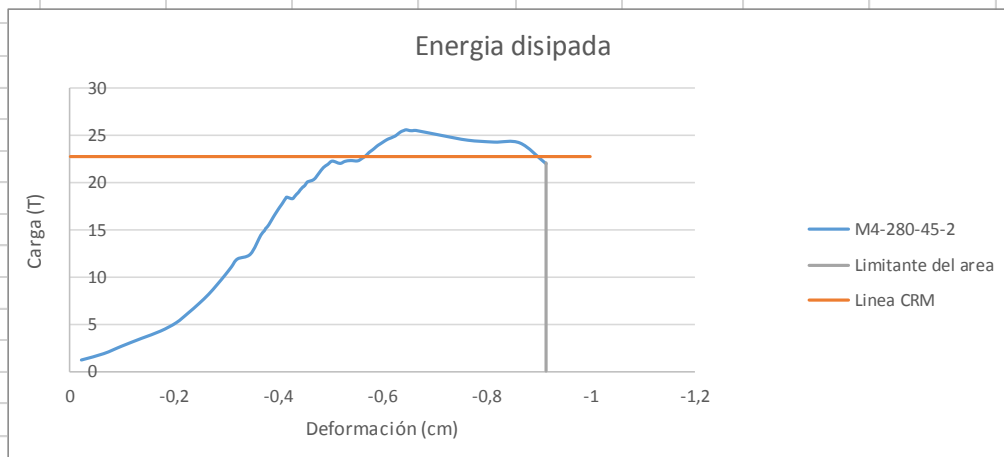
M4-280-45-5				Calculo de energía					
Def.	Carga	Def.	Carga	Promedio	Despl.	Energía	Promedio	Despl.	Energía
cm	T	cm	T	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,02	0,04	-0,58	22,17	0,3019	0,0168	0,0051	22,2959	0,0009	0,0202
-0,04	0,57	-0,58	22,27	1,033	0,055	0,056	22,332	0,000	0,007
-0,09	1,50	-0,58	22,33	2,065	0,062	0,129	22,568	0,004	0,095
-0,15	2,63	-0,58	22,34	3,249	0,066	0,215	22,948	0,003	0,080
-0,22	3,86	-0,59	22,80	4,656	0,062	0,289	23,214	0,003	0,067
-0,28	5,45	-0,59	23,10	6,570	0,046	0,305	23,316	0,000	0,011
-0,33	7,69	-0,59	23,33	9,004	0,052	0,464	23,274	0,000	0,004
-0,38	10,31	-0,59	23,30	11,202	0,036	0,398	23,328	0,001	0,032
-0,42	12,09	-0,59	23,24	12,669	0,017	0,218	23,431	0,002	0,039
-0,43	13,25	-0,59	23,41	13,231	0,006	0,078	23,419	0,001	0,018
-0,44	13,21	-0,59	23,44	16,568	0,115	1,908	24,457	0,018	0,432
-0,55	19,92	-0,60	23,42	19,899	0,002	0,030	26,293	0,025	0,663
-0,55	19,87	-0,60	23,41	20,014	0,003	0,054	27,017	0,002	0,053
-0,56	20,15	-0,61	25,50	20,249	0,002	0,046	26,951	0,002	0,041
-0,56	20,35	-0,64	27,08	20,454	0,002	0,049	27,029	0,003	0,069
-0,56	20,56	-0,64	26,95	20,666	0,001	0,025	27,319	0,005	0,124
-0,56	20,77	-0,64	26,95	20,931	0,003	0,060	28,363	0,021	0,587
-0,57	21,09	-0,65	27,11	21,179	0,002	0,051	30,175	0,035	1,062
-0,57	21,26	-0,65	27,53	21,451	0,003	0,075	31,352	0,042	1,326
-0,57	21,64	-0,67	29,20	21,704	0,002	0,039	31,611	0,041	1,294
-0,57	21,77	-0,71	31,15	21,837	0,002	0,040	31,304	0,048	1,518
-0,58	21,90	-0,75	31,55	21,922	0,001	0,020	30,567	0,048	1,482
-0,58	21,94	-0,79	31,67	22,054	0,002	0,050	29,099	0,048	1,411
				22,2173916	0,00166154	0,03691506	Energía Disipada		16,390



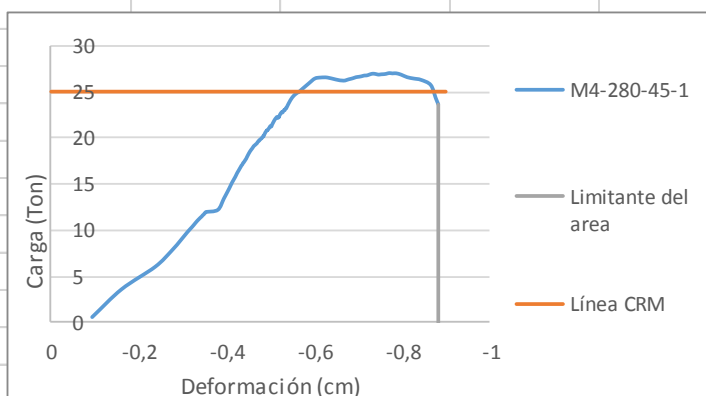
M4-210-45-1				Calculo de energía		
Deformación		Carga		Promedio	Despl.	Energía
mm	cm	Kg	T	T	cm	T-cm
-0,278	-0,028	893,0	0,893	1,629	0,024	0,039
-0,516	-0,052	2365,3	2,365	3,240	0,035	0,113
-0,867	-0,087	4115,1	4,115	5,195	0,058	0,300
-1,445	-0,144	6275,2	6,275	7,675	0,061	0,467
-2,053	-0,205	9074,9	9,075	10,879	0,063	0,685
-2,683	-0,268	12683,1	12,683	18,578	0,383	7,123
-6,517	-0,652	24473,2	24,473	25,004	0,032	0,789
-6,832	-0,683	25535,2	25,535	25,952	0,030	0,772
-7,130	-0,713	26367,9	26,368	26,802	0,027	0,720
-7,398	-0,740	27236,7	27,237	27,629	0,024	0,671
-7,641	-0,764	28021,1	28,021	28,377	0,023	0,660
-7,874	-0,787	28733,1	28,733	29,059	0,020	0,575
-8,072	-0,807	29384,8	29,385	29,693	0,018	0,533
-8,251	-0,825	30000,2	30,000	Energía Disipada		13,448
-8,568	-0,857	29143,4	29,143			
-9,596	-0,960	22771,7	22,772			
-10,268	-1,027	19441,0	19,441			
-10,289	-1,029	19187,6	19,188			
-10,298	-1,030	19054,9	19,055			
-10,304	-1,030	18970,4	18,970			



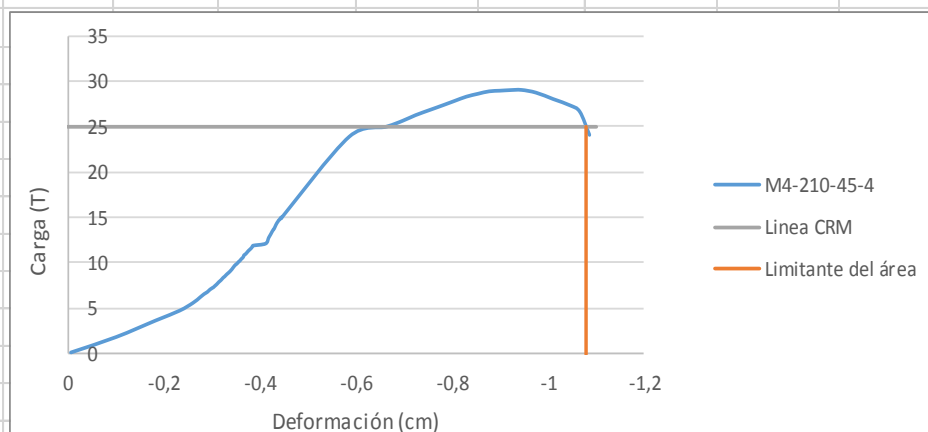
M4-210-45-2				Calculo de energia					
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despla	Energia	Prom.	Despla.	Energia
cm	T	cm	T	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,022	1,146	-0,451	19,745	1,484	0,043	0,064	20,0524	0,0012	0,0242
-0,064	1,822	-0,453	19,889	2,221	0,035	0,077	20,2093	0,0121	0,2441
-0,099	2,619	-0,455	20,022	3,029	0,038	0,114	20,6679	0,0097	0,1997
-0,137	3,439	-0,456	20,083	3,832	0,037	0,142	21,2955	0,0085	0,1800
-0,174	4,224	-0,468	20,336	4,664	0,030	0,139	21,7601	0,0085	0,1839
-0,204	5,105	-0,478	21,000	5,612	0,023	0,127	22,1041	0,0088	0,1936
-0,226	6,118	-0,486	21,591	6,619	0,021	0,137	22,1584	0,0146	0,3245
-0,247	7,120	-0,495	21,929	7,627	0,019	0,145	22,1463	0,0097	0,2140
-0,266	8,134	-0,503	22,279	8,641	0,016	0,140	22,2972	0,0109	0,2424
-0,282	9,148	-0,518	22,038	9,624	0,014	0,138	22,3213	0,0133	0,2966
-0,296	10,101	-0,528	22,255	10,566	0,013	0,139	22,4360	0,0086	0,1931
-0,310	11,030	-0,539	22,339	11,453	0,011	0,131	22,7136	0,0074	0,1680
-0,321	11,875	-0,552	22,303	12,135	0,025	0,304	23,0273	0,0060	0,1391
-0,346	12,395	-0,561	22,569	13,402	0,020	0,267	23,3170	0,0059	0,1373
-0,366	14,410	-0,568	22,858	14,621	0,006	0,091	23,5463	0,0048	0,1138
-0,372	14,833	-0,574	23,196	14,857	0,001	0,011	23,7817	0,0053	0,1257
-0,373	14,881	-0,580	23,438	15,014	0,003	0,041	23,9929	0,0047	0,1123
-0,376	15,146	-0,585	23,655	15,171	0,001	0,016	24,1558	0,0044	0,1058
-0,377	15,195	-0,590	23,908	15,358	0,005	0,072	24,3066	0,0039	0,0954
-0,382	15,521	-0,595	24,077	15,925	0,009	0,137	24,4334	0,0032	0,0775
-0,390	16,329	-0,599	24,234	16,607	0,006	0,105	24,5480	0,0039	0,0964
-0,396	16,884	-0,603	24,379	17,120	0,006	0,096	24,6506	0,0036	0,0893
-0,402	17,355	-0,606	24,488	17,542	0,005	0,085	24,7291	0,0035	0,0859
-0,407	17,729	-0,610	24,608	17,874	0,003	0,059	24,8135	0,0036	0,0899
-0,410	18,019	-0,614	24,693	18,109	0,002	0,038	24,9161	0,0042	0,1053
-0,412	18,200	-0,617	24,765	18,278	0,002	0,039	25,0972	0,0057	0,1440
-0,414	18,357	-0,621	24,862	18,405	0,001	0,025	25,3204	0,0050	0,1261
-0,416	18,453	-0,625	24,970	18,369	0,011	0,197	25,4713	0,0050	0,1269
-0,426	18,284	-0,631	25,224	18,411	0,005	0,089	25,5678	0,0047	0,1197
-0,431	18,538	-0,636	25,417	18,640	0,003	0,059	25,5678	0,0063	0,1621
-0,434	18,743	-0,641	25,526	18,815	0,003	0,051	25,5196	0,0063	0,1618
-0,437	18,888	-0,645	25,610	18,966	0,002	0,046	25,5256	0,0059	0,1503
-0,440	19,045	-0,652	25,526	19,129	0,002	0,040	25,2688	0,0582	1,4715
-0,442	19,214	-0,658	25,514	19,286	0,002	0,047	24,7500	0,0486	1,2034
-0,444	19,358	-0,664	25,538	19,413	0,002	0,032	24,4000	0,0499	1,2169
-0,446	19,467	-0,714	25,465	19,503	0,002	0,029	24,2500	0,0568	1,3770
-0,447	19,539	-0,764	24,534	19,545	0,001	0,015	23,1000	0,0487	1,1255
-0,448	19,552	-0,814	24,323	19,588	0,001	0,021	Energía Disipada		14,841
-0,449	19,624	-0,864	24,256	19,642	0,001	0,021			
-0,450	19,660	-0,914	22,564	19,702	0,001	0,024			



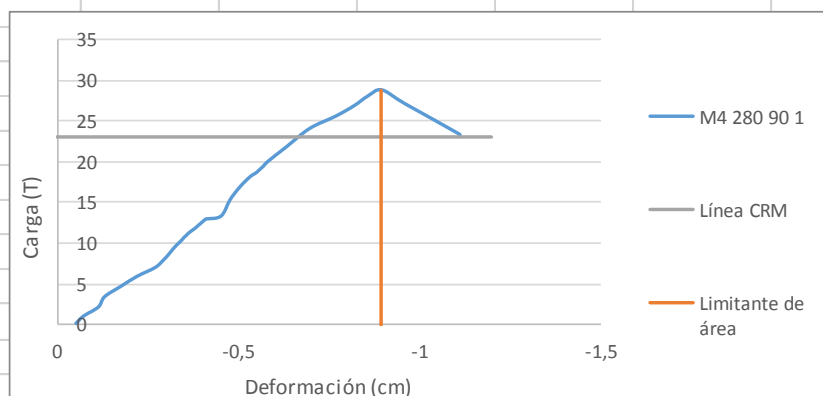
M4-210-45-3				Calculo de energía		
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energia
cm	Ton	cm	Ton	Ton	cm	Ton-cm
-0,092	0,519	-0,713	26,712	2,0296	0,0673	0,1365
-0,159	3,540	-0,719	26,724	4,7538	0,0765	0,3635
-0,236	5,968	-0,724	26,809	6,8196	0,0369	0,2515
-0,272	7,671	-0,730	26,894	8,2753	0,0221	0,1826
-0,295	8,879	-0,736	26,906	9,3083	0,0148	0,1379
-0,309	9,737	-0,742	26,845	10,0210	0,0109	0,1090
-0,320	10,305	-0,746	26,809	10,4982	0,0068	0,0714
-0,327	10,692	-0,752	26,845	10,8244	0,0048	0,0523
-0,332	10,957	-0,757	26,857	11,0418	0,0035	0,0384
-0,335	11,126	-0,763	26,894	11,1929	0,0027	0,0304
-0,338	11,259	-0,770	26,978	11,2955	0,0017	0,0188
-0,340	11,332	-0,778	26,942	11,3620	0,0014	0,0155
-0,341	11,392	-0,786	26,954	11,4224	0,0014	0,0155
-0,342	11,453	-0,797	26,809	11,4888	0,0012	0,0139
-0,344	11,525	-0,811	26,531	11,5613	0,0015	0,0175
-0,345	11,598	-0,826	26,386	11,6217	0,0014	0,0158
-0,347	11,646	-0,843	26,241	11,6882	0,0014	0,0159
-0,348	11,730	-0,865	25,685	11,7607	0,0009	0,0107
-0,349	11,791	-0,876	24,297	11,8029	0,0011	0,0125
-0,350	11,815	-0,879	23,923	11,8331	0,0006	0,0072
-0,350	11,851	-0,881	23,730	11,8633	0,0006	0,0072
-0,351	11,875	-0,882	23,585	11,8996	0,0008	0,0090
-0,352	11,924			12,0362	0,0271	0,3256
-0,379	12,149			12,7524	0,0136	0,1734
-0,392	13,356			15,6325	0,0027	0,0425
-0,401	14,153			26,8815	0,0113	0,3046
-0,407	14,685			26,6701	0,0139	0,3707
-0,411	15,071			26,4588	0,0150	0,3957
-0,414	15,337			26,3139	0,0168	0,4412
-0,416	15,518			25,9631	0,0222	0,5762
-0,419	15,747			24,9909	0,0112	0,2794
-0,423	16,146			24,1100	0,0032	0,0765
-0,426	16,411			23,8262	0,0017	0,0396
-0,429	16,641			23,6571	0,0012	0,0286
-0,431	16,810			Energía Disipada		13,8360177
-0,433	16,955					
-0,434	17,039					
-0,436	17,136					
-0,437	17,233					
-0,438	17,269					
-0,439	17,341					
-0,440	17,450					
-0,441	17,522					
-0,442	17,595					
-0,443	17,667					
-0,447	18,006					
-0,452	18,489					



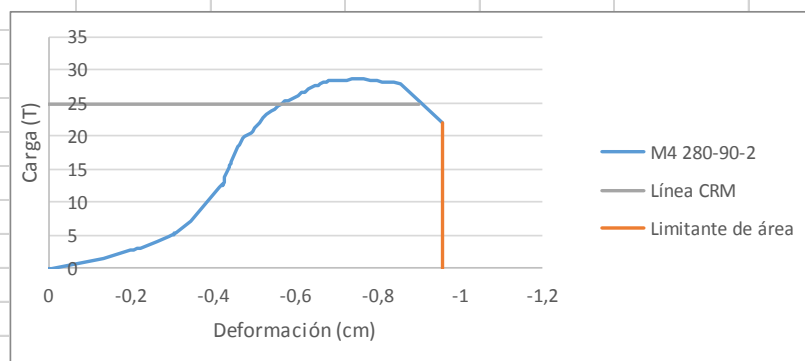
M4-210-45-4				Calculo de energía					
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía	Prom.	Despl.	Energía
cm	T	cm	T	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,005	0,217	-0,428	13,725	1,062	0,094	0,100	11,076	0,003	0,033
-0,099	1,907	-0,428	13,737	2,807	0,082	0,230	11,239	0,002	0,027
-0,181	3,706	-0,429	13,786	4,249	0,050	0,214	11,365	0,002	0,024
-0,232	4,792	-0,438	14,631	5,215	0,028	0,145	11,824	0,002	0,027
-0,259	5,637	-0,438	14,679	5,933	0,014	0,085	12,434	0,006	0,079
-0,289	6,820	-0,439	14,715	6,416	0,009	0,056	13,176	0,002	0,028
-0,294	7,074	-0,440	14,763	6,712	0,007	0,045	13,544	0,001	0,008
-0,298	7,206	-0,440	14,812	6,947	0,005	0,036	13,586	0,000	0,006
-0,302	7,339	-0,442	14,884	7,140	0,004	0,026	13,701	0,000	0,006
-0,307	7,581	-0,442	14,872	7,249	0,002	0,018	13,731	0,000	0,006
-0,309	7,689	-0,442	14,860	7,315	0,002	0,012	14,570	0,001	0,020
-0,322	8,377	-0,442	14,848	7,400	0,002	0,018	14,739	0,001	0,011
-0,325	8,522	-0,442	14,872	7,520	0,003	0,019	14,866	0,000	0,002
-0,330	8,788	-0,443	14,944	7,635	0,002	0,017	14,860	0,000	0,002
-0,337	9,114	-0,444	14,993	7,804	0,004	0,032	14,969	0,001	0,011
-0,339	9,222	-0,444	14,932	8,027	0,005	0,038	14,951	0,000	0,002
-0,341	9,319	-0,444	14,932	8,257	0,004	0,034	14,932	0,000	0,002
-0,347	9,729	-0,444	14,920	8,450	0,003	0,028	14,926	0,000	0,002
-0,353	10,055	-0,444	14,932	8,589	0,002	0,021	24,360	0,077	1,883
-0,355	10,152	-0,585	23,817	8,721	0,003	0,022	25,223	0,034	0,849
-0,357	10,248	-0,663	24,903	8,842	0,002	0,021	25,851	0,027	0,695
-0,361	10,478	-0,696	25,543	8,951	0,002	0,020	26,461	0,032	0,835
-0,363	10,550	-0,723	26,159	9,168	0,002	0,017	27,022	0,027	0,743
-0,366	10,840	-0,755	26,762	9,271	0,002	0,015	27,505	0,023	0,631
-0,369	10,985	-0,782	27,282	9,524	0,006	0,056	27,958	0,024	0,675
-0,377	11,420	-0,805	27,728	9,808	0,004	0,036	28,344	0,024	0,685
-0,379	11,528	-0,829	28,187	9,971	0,003	0,032	28,634	0,023	0,666
-0,383	11,746	-0,877	28,766	10,200	0,002	0,023	28,803	0,023	0,648
-0,385	11,902	-0,899	28,839	10,309	0,002	0,019	28,869	0,021	0,606
-0,411	12,120	-0,920	28,899	10,423	0,002	0,020	28,911	0,024	0,685
-0,417	12,747	-0,944	28,923	10,514	0,002	0,016	28,772	0,031	0,882
-0,423	13,279	-0,975	28,621	10,623	0,002	0,022	28,271	0,036	1,008
-0,427	13,677	-1,010	27,921	10,768	0,001	0,010	Energía Disipada		16,756



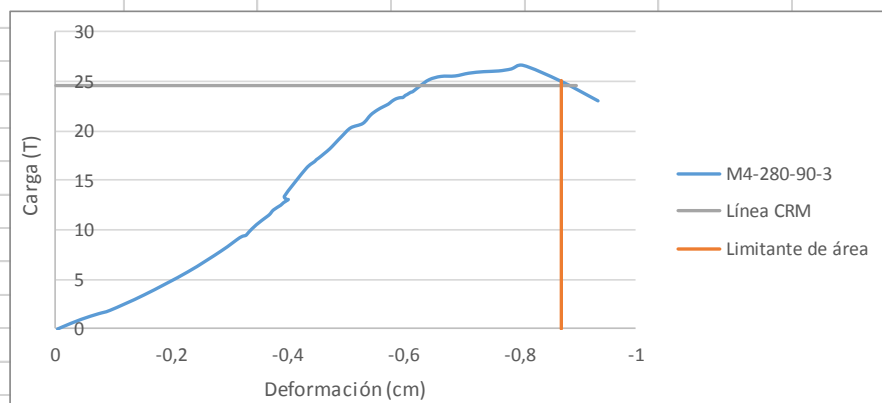
M4-280-90-1		Calculo de energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-0,052	0,072	0,5249	0,0208	0,0109
-0,073	0,977	1,5385	0,0410	0,0631
-0,114	2,100	2,7391	0,0173	0,0473
-0,131	3,379	4,0302	0,0458	0,1847
-0,177	4,682	5,2851	0,0437	0,2309
-0,221	5,888	6,4314	0,0497	0,3197
-0,294	7,904	7,4390	0,0229	0,1707
-0,307	8,567	8,8568	0,0104	0,0922
-0,328	9,665	9,4058	0,0104	0,0980
-0,344	10,377	10,2083	0,0075	0,0770
-0,350	10,691	10,7995	0,0054	0,0587
-0,360	11,113	11,0107	0,0045	0,0499
-0,365	11,294	11,3787	0,0050	0,0567
-0,370	11,463	11,5477	0,0053	0,0610
-0,375	11,632	11,6985	0,0041	0,0477
-0,387	12,079	11,8433	0,0042	0,0501
-0,390	12,211	12,2596	0,0029	0,0352
-0,393	12,308	12,3621	0,0029	0,0355
-0,399	12,537	12,4768	0,0026	0,0320
-0,401	12,610	12,6578	0,0021	0,0267
-0,403	12,706	12,7422	0,0021	0,0269
-0,407	12,851	12,8146	0,0018	0,0232
-0,409	12,911	12,9353	0,0012	0,0156
-0,452	13,309	13,1344	0,0416	0,5470
-0,477	15,349	16,1450	0,0273	0,4411
-0,533	18,184	17,5628	0,0281	0,4931
-0,548	18,619	18,7634	0,0074	0,1388
-0,570	19,524	19,0591	0,0074	0,1410
-0,581	20,030	20,9233	0,0506	1,0580
-0,631	21,816	22,9686	0,0654	1,5011
-0,696	24,121	24,8751	0,0712	1,7722
-0,768	25,629	26,2688	0,0506	1,3283
-0,818	26,908	27,5056	0,0379	1,0421
-0,856	28,103	28,4890	0,0388	1,1051
-0,895	28,875	Energía Disipada		12,83
-0,959	27,162			
-1,109	23,421			
-1,111	23,131			



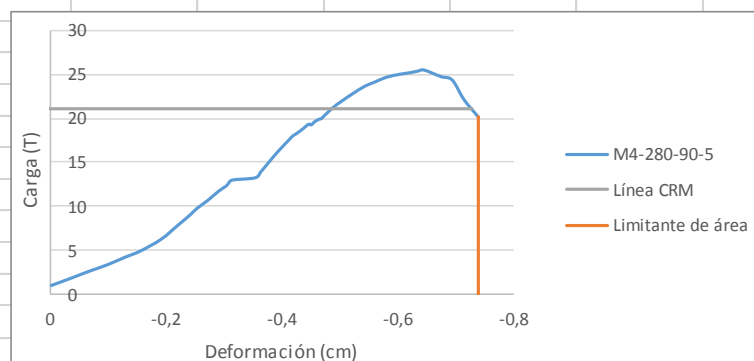
M4 280-90-2		Calculo energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-0,0005	0,0000	0,04227	0,00453	0,00019
-0,1325	1,6546	2,82012	0,01163	0,03281
-0,1976	2,7416	2,92278	0,00544	0,01590
-0,2092	2,8986	2,96505	0,00212	0,00627
-0,2147	2,9469	3,00128	0,00181	0,00544
-0,2168	2,9832	3,01940	0,00151	0,00456
-0,2186	3,0194	3,03147	0,00106	0,00321
-0,2201	3,0194	3,04959	0,00121	0,00369
-0,2644	4,1064	4,98804	0,00650	0,03240
-0,2938	4,8914	5,12090	0,00317	0,01625
-0,3463	7,1741	12,43387	0,00740	0,09205
-0,4223	12,6694	12,82036	0,00408	0,05229
-0,4223	12,6211	13,04983	0,00106	0,01380
-0,4263	13,0196	13,44035	0,00079	0,01058
-0,4321	14,3440	15,04431	0,00332	0,04999
-0,4362	14,8391	15,36427	0,00166	0,02553
-0,4395	15,2496	15,53331	0,00076	0,01173
-0,4412	15,4790	15,67216	0,00091	0,01420
-0,4419	15,5876	15,80498	0,00045	0,00716
-0,4451	16,0948	18,63032	0,00347	0,06472
-0,4608	18,4613	18,99254	0,00529	0,10040
-0,5025	21,1160	21,71971	0,00589	0,12794
-0,5064	21,4420	22,34752	0,00906	0,20251
-0,5123	21,9974	22,97532	0,00921	0,21167
-0,5214	22,6976	23,49447	0,01103	0,25904
-0,5507	24,1826	24,76819	0,00831	0,20575
-0,5763	25,2209	25,55899	0,00785	0,20073
-0,5920	25,6676	25,98759	0,00740	0,19232
-0,6132	26,3075	26,63954	0,00740	0,19715
-0,6176	26,5490	26,90515	0,00816	0,21943
-0,6410	27,3458	27,66576	0,00710	0,19639
-0,6482	27,5752	27,82875	0,00695	0,19334
-0,6553	27,7563	27,98570	0,00649	0,18175
-0,6949	28,3841	28,48071	0,00619	0,17636
-0,7820	28,5169	28,27546	0,01525	0,43133
-0,7978	28,3358	28,17284	0,01450	0,40848
-0,8275	28,1306	28,04607	0,01571	0,44053
-0,8414	28,1064	26,48570	0,05000	1,32429
-0,8571	27,9857	23,48570	0,05000	1,17429
-0,9071	24,9857	Energía Disipada		15,15207



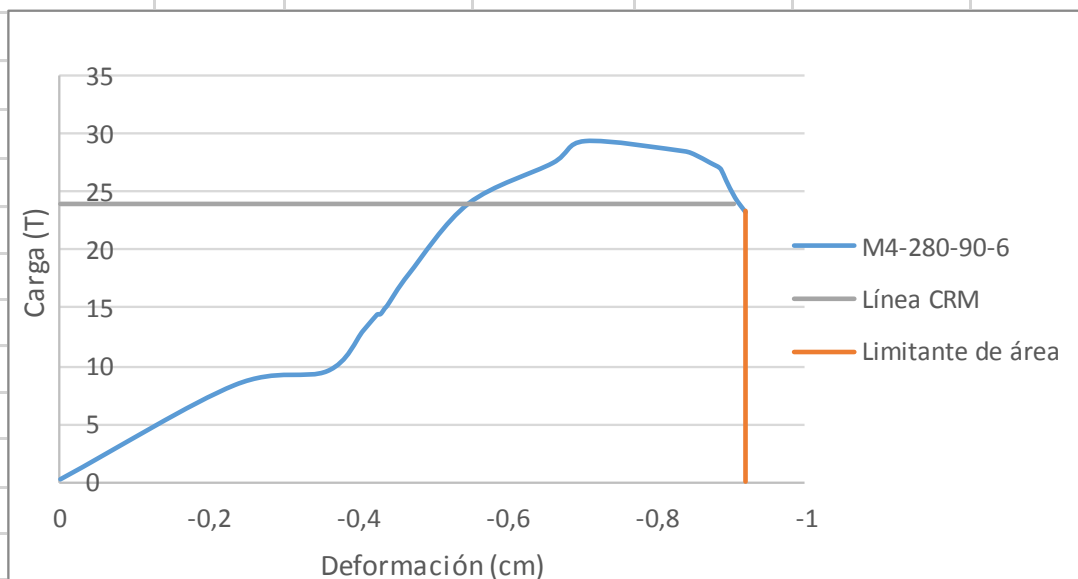
M4-280-90-3		Calculo energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-0,045	0,977	0,1086	0,0083	0,0009
-0,076	1,557	1,7255	0,0195	0,0336
-0,095	1,894	2,6788	0,0590	0,1581
-0,154	3,463	4,6154	0,0746	0,3442
-0,229	5,768	6,8296	0,0578	0,3948
-0,287	7,891	8,5733	0,0325	0,2782
-0,319	9,255	9,3395	0,0068	0,0634
-0,334	9,798	9,4601	0,0041	0,0386
-0,371	11,608	10,9443	0,0171	0,1867
-0,377	12,054	12,2897	0,0124	0,1521
-0,394	12,778	12,6517	0,0047	0,0592
-0,403	13,092	13,1042	0,0024	0,0316
-0,400	13,116	13,2792	0,0041	0,0544
-0,434	16,278	14,8599	0,0379	0,5630
-0,448	16,941	17,0379	0,0032	0,0540
-0,451	17,134	17,2189	0,0041	0,0702
-0,455	17,303	17,5206	0,0091	0,1587
-0,474	18,232	17,9851	0,0100	0,1792
-0,483	18,775	19,1496	0,0122	0,2341
-0,495	19,524	19,9399	0,0149	0,2980
-0,510	20,356	20,5794	0,0210	0,4318
-0,556	22,154	21,2310	0,0134	0,2852
-0,566	22,480	22,6187	0,0092	0,2083
-0,575	22,757	22,8902	0,0056	0,1278
-0,581	23,023	23,1315	0,0057	0,1327
-0,598	23,421	23,2944	0,0047	0,1090
-0,604	23,626	23,5297	0,0036	0,0852
-0,608	23,723	23,7891	0,0035	0,0826
-0,614	23,964	23,9098	0,0035	0,0830
-0,617	24,024	24,2899	0,0115	0,2786
-0,690	25,605	24,8932	0,0168	0,4171
-0,765	26,111	25,9602	0,0258	0,6700
-0,787	26,316	26,4974	0,0201	0,5319
-0,808	26,678	25,8820	0,0648	1,6759
-0,937	23,086	25,3029	0,0365	0,9242
-0,909	25,520	13,6590	0,0011	0,0144
-0,814	13,611	13,6952	0,0011	0,0145
-0,815	13,707	13,7072	0,0005	0,0062
-0,816	13,683	Energía Disipada		16,0063
-0,816	13,731			



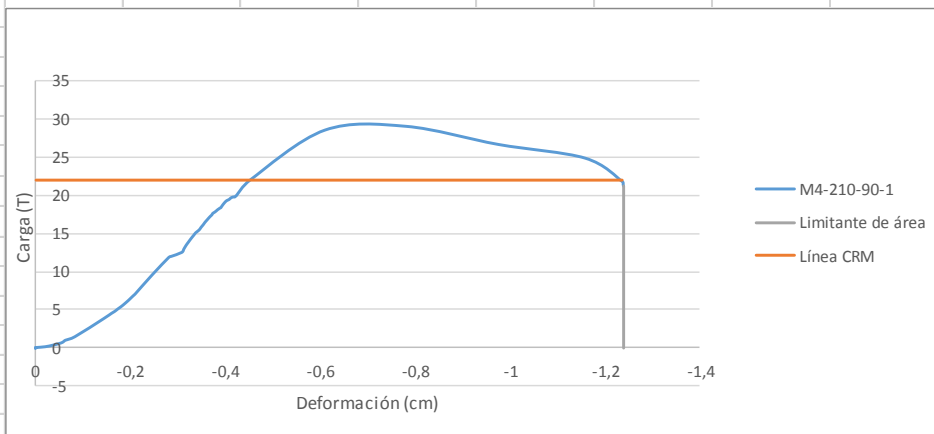
M4-280-90-5		Calculo de energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-0,002	1,015	1,4137	0,0328	0,0464
-0,035	1,812	2,2052	0,0311	0,0687
-0,066	2,598	2,9906	0,0334	0,0999
-0,192	6,295	3,7760	0,0278	0,1050
-0,221	7,866	8,4642	0,0215	0,1817
-0,253	9,763	9,4128	0,0110	0,1039
-0,291	11,733	11,2071	0,0187	0,2100
-0,308	12,603	12,4698	0,0033	0,0415
-0,315	13,014	13,1452	0,0400	0,5255
-0,355	13,277	13,6151	0,0092	0,1255
-0,364	13,953	14,0922	0,0038	0,0532
-0,368	14,231	14,6359	0,0101	0,1482
-0,378	15,041	15,6748	0,0165	0,2582
-0,417	17,892	16,8890	0,0168	0,2833
-0,420	18,085	18,1689	0,0042	0,0766
-0,448	19,376	18,3675	0,0050	0,0916
-0,450	19,304	19,2977	0,0011	0,0204
-0,466	19,968	19,3279	0,0018	0,0350
-0,467	19,968	19,9862	0,0015	0,0302
-0,469	20,004	20,5721	0,0178	0,3668
-0,523	22,843	21,5687	0,0174	0,3748
-0,604	25,052	23,9105	0,0156	0,3721
-0,621	25,221	25,3116	0,0141	0,3557
-0,635	25,402	25,4687	0,0109	0,2771
-0,693	25,245	25,1607	0,0295	0,7413
-0,703	25,571	25,6982	0,0104	0,2679
-0,714	25,825	26,0001	0,0109	0,2829
-0,783	26,852	26,2659	0,0097	0,2540
-0,789	26,948	26,9725	0,0060	0,1630
-0,795	26,997	27,0148	0,0060	0,1633
-0,811	27,142	27,0873	0,0039	0,1064
-0,820	27,202	27,2262	0,0073	0,1975
-0,827	27,250	27,2745	0,0073	0,1978
-0,850	27,347	27,3228	0,0079	0,2147
-0,854	27,359	27,3228	0,0076	0,2064
-0,862	27,287	27,2926	0,0082	0,2227
-0,870	27,299	27,2986	0,0071	0,1939
-0,877	27,299	27,3047	0,0071	0,1939
-0,884	27,311	27,0993	0,0106	0,2866
-0,895	26,888	Energía Disipada		15,0924
-0,695	24,388			
-0,715	22,188			
-0,740	20,188			



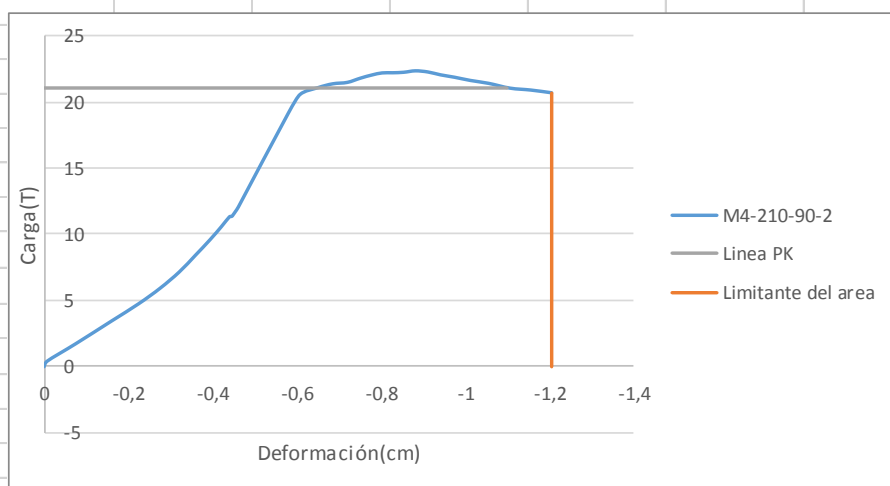
M4-280-90-6		Calculo energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	T	cm	T-cm
-2,6E-10	0,181	4,259	0,234	0,995
-0,234	8,338	8,941	0,124	1,109
-0,358	9,544	11,306	0,048	0,548
-0,406	13,068	13,743	0,018	0,247
-0,424	14,419	14,437	0,004	0,061
-0,428	14,455	14,558	0,003	0,044
-0,431	14,660	14,829	0,004	0,054
-0,435	14,998	15,113	0,003	0,048
-0,438	15,228	16,585	0,029	0,476
-0,467	17,942	21,001	0,080	1,686
-0,547	24,060	25,810	0,113	2,910
-0,660	27,559	28,506	0,043	1,235
-0,703	29,454	29,013	0,133	3,858
-0,836	28,573	28,428	0,014	0,395
-0,850	28,283	27,927	0,021	0,586
-0,871	27,571	27,354	0,012	0,339
-0,883	27,137	26,920	0,004	0,114
-0,888	26,703	26,552	0,002	0,056
-0,890	26,401	26,304	0,001	0,036
-0,891	26,208	26,129	0,001	0,028
-0,892	26,051	25,301	0,012	0,304
-0,904	24,551	23,926	0,014	0,335
-0,918	23,301	Energía Disipada		15,46



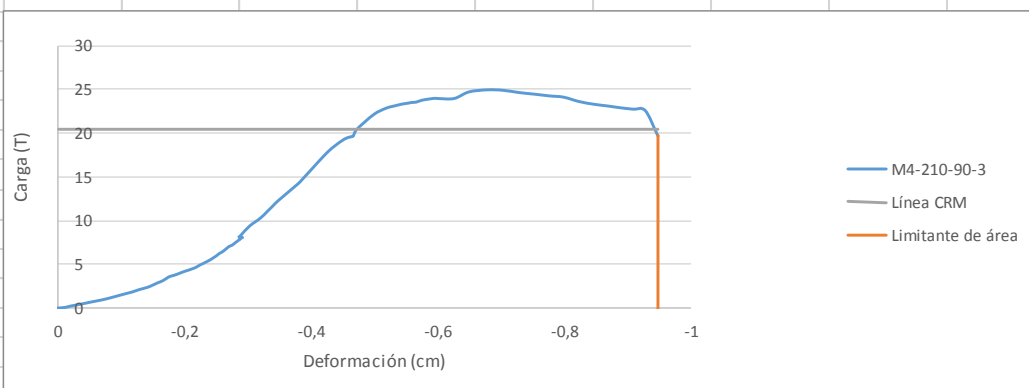
M4-210-90-1				Calculo de energía					
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	cm	Ton	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,04	0,36	-0,35	15,83	0,501	0,016	0,008	16,002	0,005	0,075
-0,05	0,64	-0,35	16,18	0,718	0,005	0,003	16,328	0,003	0,057
-0,06	0,80	-0,36	16,48	0,857	0,002	0,002	16,642	0,005	0,075
-0,06	0,92	-0,36	16,80	0,959	0,002	0,002	17,016	0,006	0,103
-0,06	1,00	-0,37	17,48	1,231	0,020	0,024	17,354	0,004	0,073
-0,08	1,46	-0,37	17,66	2,649	0,061	0,161	17,572	0,002	0,029
-0,14	3,84	-0,38	17,82	4,182	0,016	0,068	17,742	0,004	0,070
-0,16	4,53	-0,38	17,99	4,658	0,007	0,032	18,225	0,003	0,050
-0,17	4,79	-0,38	18,17	4,924	0,005	0,027	18,315	0,001	0,025
-0,17	5,06	-0,39	18,28	5,171	0,005	0,027	18,375	0,002	0,031
-0,18	5,29	-0,39	18,35	5,395	0,005	0,025	18,418	0,001	0,017
-0,18	5,50	-0,39	18,40	5,624	0,005	0,026	18,629	0,004	0,079
-0,19	5,74	-0,39	18,44	5,847	0,004	0,022	19,420	0,002	0,041
-0,19	5,95	-0,40	19,39	6,040	0,003	0,020	19,486	0,002	0,038
-0,19	6,13	-0,41	19,45	6,239	0,004	0,024	19,583	0,002	0,041
-0,20	6,35	-0,41	19,64	6,481	0,004	0,028	19,758	0,001	0,027
-0,20	6,61	-0,41	19,74	6,740	0,004	0,028	19,812	0,001	0,021
-0,21	6,87	-0,42	19,80	6,976	0,004	0,026	19,830	0,001	0,021
-0,21	7,08	-0,42	19,82	8,333	0,036	0,297	19,830	0,001	0,012
-0,25	9,58	-0,42	19,84	10,741	0,035	0,379	19,824	0,000	0,009
-0,28	11,90	-0,42	19,82	11,954	0,004	0,052	19,830	0,001	0,012
-0,29	12,01	-0,42	19,84	12,276	0,023	0,279	19,860	0,001	0,021
-0,31	12,54	-0,42	19,98	12,772	0,005	0,058	19,993	0,001	0,012
-0,31	13,00	-0,42	20,01	13,243	0,005	0,062	21,044	0,029	0,620
-0,32	13,48	-0,45	22,08	13,678	0,005	0,062	25,348	0,157	3,978
-0,32	13,87	-0,78	29,11	14,058	0,004	0,062	27,920	0,194	5,419
-0,33	14,25	-0,98	26,73	14,414	0,004	0,061	25,831	0,183	4,724
-0,33	14,58	-1,16	24,93	14,722	0,004	0,053	23,386	0,079	1,837
-0,33	14,86	-1,24	21,84	15,000	0,004	0,054	21,654	0,002	0,033
-0,34	15,14	-1,24	21,47	15,314	0,007	0,107	21,370	0,001	0,013
-0,35	15,49	-1,24	21,27	15,658	0,004	0,061	Energía Disipada		25,070



M4-210-90-2		Calculo de energía		
Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energia
cm	Ton	T	cm	T-cm
0,000	0,012	0,0121	0,0002	0,0000
0,000	0,012	0,2173	0,0071	0,0015
-0,007	0,423	1,0864	0,0684	0,0743
-0,076	1,750	2,5954	0,0838	0,2175
-0,159	3,440	4,0922	0,0645	0,2639
-0,224	4,744	5,3356	0,0515	0,2747
-0,275	5,927	6,5367	0,0452	0,2951
-0,321	7,146	7,7680	0,0379	0,2944
-0,358	8,390	8,9812	0,0350	0,3146
-0,394	9,573	10,0676	0,0270	0,2721
-0,421	10,563	10,9307	0,0190	0,2080
-0,440	11,299	11,3170	0,0056	0,0632
-0,445	11,335	11,4015	0,0035	0,0396
-0,449	11,468	11,6007	0,0059	0,0683
-0,455	11,733	11,8904	0,0063	0,0754
-0,461	12,047	15,5766	0,1183	1,8426
-0,579	19,106	19,8120	0,0278	0,5501
-0,607	20,518	20,7775	0,0427	0,8878
-0,650	21,037	21,1818	0,0350	0,7419
-0,685	21,327	21,3810	0,0347	0,7425
-0,719	21,435	21,5922	0,0305	0,6585
-0,750	21,749	21,8698	0,0275	0,6009
-0,777	21,990	22,0689	0,0243	0,5364
-0,802	22,147	22,1534	0,0246	0,5452
-0,826	22,159	22,1776	0,0266	0,5893
-0,853	22,196	22,2500	0,0278	0,6181
-0,881	22,304	22,2620	0,0296	0,6588
-0,910	22,220	22,1112	0,0302	0,6677
-0,940	22,003	21,9120	0,0332	0,7278
-0,974	21,822	21,7008	0,0374	0,8125
-1,011	21,580	21,4715	0,0432	0,9271
-1,054	21,363	21,1818	0,0510	1,0809
-1,105	21,001	20,9284	0,0492	1,0301
-1,155	20,856	20,7534	0,0494	1,0246
-1,204	20,651	Energia Disipada		17,706



M4-210-90-3				Calculo de energía					
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	cm	Ton	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,020	0,314	-0,303	9,477	1,602	0,012	0,019	19,605	0,001	0,021
-0,037	0,544	-0,320	10,335	1,825	0,011	0,021	19,629	0,000	0,009
-0,053	0,786	-0,340	11,762	2,061	0,010	0,021	19,641	0,000	0,009
-0,068	0,991	-0,348	12,354	2,581	0,008	0,021	19,641	0,001	0,012
-0,082	1,233	-0,380	14,294	3,064	0,006	0,019	19,647	0,000	0,009
-0,095	1,487	-0,418	17,255	3,759	0,008	0,031	19,665	0,001	0,012
-0,106	1,717	-0,429	18,101	3,947	0,008	0,030	19,671	0,000	0,006
-0,118	1,934	-0,438	18,596	4,152	0,007	0,031	19,683	0,001	0,015
-0,128	2,188	-0,451	19,273	5,422	0,005	0,026	19,744	0,000	0,006
-0,142	2,454	-0,453	19,393	5,790	0,004	0,023	20,136	0,005	0,109
-0,150	2,708	-0,455	19,454	6,334	0,003	0,021	21,344	0,026	0,565
-0,158	2,974	-0,459	19,587	6,479	0,003	0,022	22,546	0,019	0,440
-0,164	3,155	-0,460	19,587	7,011	0,003	0,022	23,054	0,015	0,341
-0,199	4,255	-0,461	19,623	7,180	0,005	0,034	23,295	0,011	0,264
-0,206	4,412	-0,464	19,635	7,634	0,003	0,020	23,440	0,009	0,205
-0,213	4,593	-0,464	19,659	7,767	0,002	0,019	23,531	0,006	0,149
-0,219	4,775	-0,465	19,671	8,081	0,001	0,011	23,591	0,006	0,153
-0,229	5,162	-0,467	19,768	8,129	0,001	0,009	23,700	0,007	0,176
-0,239	5,512	-0,473	20,504	8,166	0,005	0,044	23,851	0,008	0,195
-0,247	5,887	-0,499	22,184	8,232	0,001	0,007	23,948	0,007	0,170
-0,254	6,262	-0,519	22,909	9,906	0,016	0,162	24,014	0,007	0,163
-0,257	6,407	-0,545	23,392	11,429	0,009	0,105	24,987	0,025	0,627
-0,261	6,552	-0,574	23,791	14,451	0,004	0,061	24,830	0,026	0,642
-0,264	6,733	-0,596	24,044	15,243	0,016	0,246	24,606	0,024	0,595
-0,267	6,914	-0,601	24,020	17,678	0,012	0,206	24,250	0,023	0,546
-0,270	7,108	-0,626	24,020	18,348	0,008	0,153	23,929	0,024	0,579
-0,278	7,410	-0,650	24,769	18,753	0,006	0,105	23,525	0,024	0,555
-0,281	7,567	-0,704	24,963	19,013	0,004	0,078	23,265	0,023	0,527
-0,286	7,833	-0,729	24,697	19,194	0,003	0,064	23,054	0,021	0,491
-0,288	7,930	-0,777	24,322	19,333	0,002	0,047	22,872	0,018	0,422
-0,291	8,111	-0,799	24,177	19,424	0,002	0,044	22,715	0,019	0,436
-0,292	8,147	-0,824	23,682	19,490	0,002	0,035	21,181	0,020	0,424
-0,287	8,280	-0,847	23,368	19,538	0,001	0,021	19,707	0,020	0,394
-0,289	8,365	-0,891	22,945	19,569	0,001	0,027	19,682	0,020	0,394
-0,290	8,510	-0,910	22,800	19,587	0,001	0,018	Energía disipada		14,490



M4-210-90-4				Calculo energía					
Def.	Carga	Def.	Carga	Prom.	Despl.	Energía	Prom.	Despl.	Energía
cm	Ton	cm	Ton	T	cm	T-cm	T	cm	T-cm
-0,098	2,306	-0,507	20,065	1,256	0,114	0,144	21,562	0,008	0,176
-0,167	4,033	-0,512	20,342	3,169	0,069	0,220	21,749	0,009	0,200
-0,212	4,987	-0,515	20,451	4,510	0,045	0,203	21,912	0,008	0,169
-0,240	5,554	-0,520	20,656	5,270	0,028	0,146	22,057	0,007	0,160
-0,252	5,928	-0,522	20,753	5,741	0,012	0,069	22,171	0,007	0,147
-0,259	6,194	-0,528	20,946	6,061	0,007	0,044	22,286	0,006	0,145
-0,264	6,363	-0,532	21,055	7,371	0,024	0,180	22,389	0,007	0,159
-0,267	6,472	-0,572	21,453	9,768	0,069	0,670	22,467	0,007	0,156
-0,272	6,605	-0,589	21,827	12,671	0,033	0,415	22,521	0,008	0,177
-0,275	6,749	-0,617	22,346	14,590	0,019	0,280	22,593	0,010	0,229
-0,300	7,993	-0,645	22,623	15,610	0,010	0,156	22,539	0,008	0,191
-0,368	11,543	-0,655	22,563	15,979	0,004	0,063	22,520	0,009	0,197
-0,401	13,800	-0,663	22,514	16,232	0,003	0,051	22,508	0,009	0,204
-0,420	15,381	-0,672	22,526	16,449	0,008	0,129	22,472	0,009	0,193
-0,430	15,840	-0,681	22,490	16,649	0,003	0,048	22,472	0,007	0,163
-0,434	16,117	-0,697	22,490	18,296	0,002	0,030	22,388	0,007	0,149
-0,437	16,347	-0,704	22,285	18,483	0,004	0,070	22,297	0,006	0,131
-0,445	16,552	-0,709	22,297	18,749	0,004	0,079	22,213	0,008	0,168
-0,451	16,914	-0,723	22,128	18,996	0,004	0,080	22,219	0,010	0,221
-0,453	17,059	-0,733	22,309	19,244	0,004	0,076	22,406	0,011	0,237
-0,456	17,180	-0,743	22,502	19,455	0,004	0,079	22,563	0,010	0,235
-0,457	17,300	-0,754	22,623	19,642	0,004	0,071	22,641	0,011	0,253
-0,459	17,409	-0,789	22,708	19,823	0,003	0,069	22,677	0,011	0,260
-0,461	17,518	-0,804	22,514	19,986	0,003	0,057	22,701	0,012	0,281
-0,463	17,590	-0,819	22,418	20,397	0,003	0,059	22,611	0,015	0,348
-0,462	17,686	-0,832	22,406	20,499	0,002	0,046	22,466	0,015	0,329
-0,465	17,747	-0,861	22,152	20,602	0,002	0,044	22,412	0,013	0,298
-0,467	17,819	-0,878	22,019	20,705	0,002	0,050	22,339	0,014	0,310
-0,474	18,206	-0,896	21,862	20,795	0,002	0,050	22,213	0,015	0,339
-0,475	18,254	-0,916	21,826	20,862	0,002	0,047	22,086	0,016	0,364
-0,481	18,628	-0,921	21,271	21,139	0,002	0,035	21,941	0,019	0,408
-0,489	19,123	-0,923	21,078	21,175	0,002	0,035	21,844	0,019	0,422
-0,497	19,546	-0,924	20,969	21,320	0,034	0,730	Energía Disipada		13,257

