



Universidad del Azuay

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

**“Análisis del comportamiento de los conectores de cortante
tipo perno y de disparo X-HVB en losas con placa
colaborante, mediante el ensayo en probetas reales”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:
INGENIERO CIVIL CON ÉNFASIS EN GERENCIA DE
CONSTRUCCIONES

Autores:

MATEO JOSÉ ORELLANA RIVAS
JOSÉ DAVID SANTACRUZ SARMIENTO

Director:

JOSÉ FERNANDO VAZQUEZ CALERO

CUENCA-ECUADOR

2022

Resumen

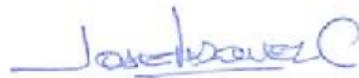
En una construcción que se requiera la implementación de conectores de cortante, los principales enfoques que se toman en cuenta al momento de decidir entre un tipo u otro son el factor económico, la eficiencia al momento de su instalación y la resistencia o comportamiento ante esfuerzos cortantes. La presente investigación tiene como objetivo comparar desde estas distintas perspectivas la implementación del conector de cortante tipo Stud o perno, frente a la innovadora tecnología patrocinada por *Hilti Corporation*, los conectores de disparo X-HVB. Esto se realizará mediante la modelación a escala de 6 probetas reales de una sección compuesta, mismas que serán ensayadas en laboratorio con el uso de una prensa hidráulica adaptada para ejercer esfuerzos cortantes. Por otra parte, se realizará un análisis de precios que nos permita definir las ventajas y desventajas de cada metodología constructiva. Finalmente se podrá comparar los dos dispositivos en base a la eficacia que presentan al momento de su instalación.

Palabras clave: Conector de cortante, Stud, X-HVB



Ing. José Fernando Vásquez Calero, M.S.c.

Director de Trabajo de Titulación

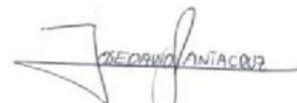


Ing. José Fernando Vásquez Calero, M.S.c.

Director de Escuela de Ingeniería Civil



Mateo José Orellana Rivas



José David Santacruz Sarmiento

Autores

Análisis del comportamiento de los conectores de cortante tipo perno y de disparo X-HVB en losas con placa colaborante, mediante el ensayo en probetas reales

Abstract

In construction that requires the implementation of shear connectors, the main approaches considered when deciding between one type are the economic factor, the efficiency at the time of installation, and the resistance or behavior under shear stresses. The objective of this research was to compare from these different perspectives the implementation of the Stud type shear connector versus the innovative technology sponsored by Hilti Corporation, the X-HVB shot connectors. This was done through the scale modeling of 6 natural specimens of a cross-section, which were tested in the laboratory using a hydraulic press adapted to exert shear forces. On the other hand, a price analysis was carried out to define each construction methodology's advantages and disadvantages. Finally, the two devices were compared based on their efficiency at installation.

Keywords: Shear connector, Stud, X-HVB

 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Ing. José Fernando Vásquez Calero, M.S.c. Director de trabajo de Titulación	 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Ing. José Fernando Vásquez Calero, M.S.c. Director de escuela de Ingeniería Civil
 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Mateo José Orellana Rivas	 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> José David Santacruz Sarmiento

Autores

Translated by

 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> Mateo José Orellana Rivas	 <hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/> José David Santacruz Sarmiento
---	---

Mateo Orellana and José David Santacruz

Agradecimientos y Dedicatoria Mateo José Orellana Rivas

Dedicatoria

El presente trabajo de titulación es dedicado en primer lugar a Dios, por brindarme fortaleza para sobreponerme ante los obstáculos encontrados en esta etapa de mi vida.

A mis padres, hermanos y familiares que me entregaron todo su apoyo, amor y sabiduría en mi carrera universitaria y saber sobrellevarla con humildad, sencillez y entrega.

A mis amigos y compañeros por haber estado siempre presentes con su apoyo moral y de conocimientos que han permitido que esté en el lugar que me encuentro hoy en día.

Agradecimientos

Agradezco a dios por guíame en el camino correcto durante este tiempo y permitirme culminar mis estudios universitarios con éxito.

Agradecer a mi familia y a mis amigos que siempre mantuvieron su confianza en mí y me permitieron seguir adelante a pesar de los momentos duros que se presentaron. A la comunidad perteneciente a la universidad del Azuay, sus representantes estudiantiles y administrativos que brindaron soporte y herramientas para realizar las actividades académicas de la mejor manera.

Un agradecimiento muy especial a los docentes que me brindaron sus conocimientos para convertirme en un mejor profesional y sobre todo en una mejor persona.

A nuestro tutor del trabajo de titulación el Ingeniero José Vasquez, por sus conocimientos, su acompañamiento y su entrega a lo largo de la realización del presente trabajo.

Finalmente agradecer a mi compañero del presente trabajo José David Santacruz; quien con el pasar de los años se ha convertido en un hermano para mí. Desde que éramos niños me ha ayudado a crecer como persona y ahora como profesional.

Agradecimientos y Dedicatoria José David Santacruz Sarmiento

Dedicatoria

Quiero dedicar el presente trabajo de titulación principalmente a mis padres, quienes han sido las personas que me han dado el impulso y ayuda necesaria para lograr alcanzar mis objetivos, siendo mi ejemplo y motivación.

Agradecimientos

Quiero agradecer primeramente a dios por guiarme por el camino del bien, darme la sabiduría, capacidad y todo lo necesario para poder llegar a alcanzar mis metas.

De igual forma a toda mi familia, en especial a mi hermana Daniela y mi cuñado Paul, futuros colegas de esta linda profesión, mismos que han sido mi apoyo y ejemplo a seguir en muchas de las situaciones que se han ido presentando en mi vida universitaria y profesional.

Por otra parte, quiero agradecer al Ingeniero José Fernando Vásquez Calero, quien, a más de ser un excelente docente y profesional, se ha convertido en un amigo, el cual no dudo en compartir sus conocimientos y ser la guía para culminar exitosamente el presente trabajo.

De igual manera al Ingeniero Roberto Gamón y el Ingeniero Rolando Armas, miembros del tribunal, quienes nos han apoyado y ayudado a cumplir nuestros objetivos.

Agradezco a toda la comunidad de la Universidad del Azuay, su personal administrativo, y docentes, en especial a los que conforman la Facultad de Ciencia y Tecnología, sin el esfuerzo y ayuda de todos y cada uno de ellos, nada de esto hubiera sido posible.

Finalmente quiero agradecer a mi amigo de toda la vida, futuro colega y compañero del presente trabajo, Mateo Orellana, con quien he crecido como persona y profesionalmente compartiendo las aulas desde los cinco años. Gracias por apoyarnos y estar en las buenas y malas.

Índice

Introducción	14
Problemática	15
Estado del Arte	16
Justificación	21
Objetivo General	22
Objetivos Específicos	22
Alcances y resultados esperados	22
CAPÍTULO 1	24
MARCO TEÓRICO	24
Losas compuestas	24
Ventajas del sistema de Losas Deck.....	24
Desventajas de losas compuestas	26
Elementos del sistema de losas compuestas y sus funciones	27
Placa colaborante.....	27
Hormigón.....	28
Agregado Fino y Agregado Grueso.....	29
Cemento.....	29
Aditivos	32
Malla electrosoldada.....	33
Viga de acero.....	34
Conectores de cortante	34
Comportamiento de conectores de cortante	35
Conectores de cortante tipo Nelson Stud.....	35
Conectores de cortante tipo X-HVB.....	37
Elementos principales.....	38
Ventajas del uso de conectores Hilti X-HVB.....	40
Probetas con conectores Hilti X-HVB	41
Elección de conector de cortante	41
Selección del fulminante y clavo	42
Resistencia teórica conectores de cortante X-HVB	43

CAPÍTULO 2.....	45
METODOLOGÍA	45
Metodología general aplicada en la práctica de laboratorio	45
Recolección de datos	46
Tipos de investigación.....	46
Investigación Aplicada	46
Investigación experimental	47
Muestra	48
Metodología para la elaboración de hormigón	49
Dosificación del hormigón	50
Toma de muestras para comprobación de resistencia	53
Elaboración de probetas utilizando conectores de cortante de disparo X-HVB	54
Elaboración de probetas utilizando conectores de cortante tipo <i>Nelson Stud</i>	62
Metodología para la ejecución de pruebas de resistencia de la sección compuesta	66
Metodología tiempo de instalación	68
Metodología de Análisis de precios unitarios	69
Normativa a Utilizar	70
CAPÍTULO 3.....	73
RESULTADOS.....	73
Resultados de resistencia probetas con conectores Hilti	73
Ensayo Número 1	73
Ensayo Número 2	74
Ensayo Número 3	76
Análisis de datos obtenidos en el ensayo con probetas Hilti X-HVB	78
Resultados de resistencia probetas con conectores Nelson Stud.....	80
Ensayo Número 1	80
Ensayo Número 2	81
Ensayo Número 3	83
Análisis de datos obtenidos en el ensayo con probetas Nelson Stud o perno	85
Análisis comparativo entre resultados de probetas Hilti X-HVB y probetas Nelson Stud o perno.....	86
Resultados de tiempo de instalación	87
Resultados de Análisis de precios unitarios	92

Análisis de precios unitarios de la instalación de los conectores de cortante tipo perno	92
Análisis de precios unitarios de la instalación de los conectores de cortante tipo disparo.....	95
CAPÍTULO 4.....	99
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
CONCLUSIONES.....	99
Conclusiones análisis de resistencia	99
Conclusiones análisis de costo.....	100
Conclusiones análisis de tiempo de instalación	100
RECOMENDACIONES	102
REFERENCIAS	103
ANEXOS	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Carga vs Deformación	19
Figura 1.2. Losa compuesta y sus partes.....	24
Figura 1.3. Losa Compuesta	26
Figura 1.4. Placa Colaborante	27
Figura 1.5. Vertido de hormigón.....	28
Figura 1.6. Agregado fino y agregado grueso.....	29
Figura 1.7. Cemento Argos tipo I	31
Figura 1.8. Hidratación para fabricación de hormigón	31
Figura 1.9. Aditivo acelerante para hormigón	33
Figura 1.10. Pila de mallas electrosoldadas	33
Figura 1.11. Perfiles de vigas de acero	34
Figura 1.12. Comportamiento de una sección compuesta ante esfuerzos cortantes .	35
Figura 1.13. Proceso de instalación de conectores de cortante tipo Stud mediante pistola	37
Figura 1.14. Características geométricas de los distintos tipos de conectores de cortante X-HVB	38
Figura 1.15. Pistola Hilti DX-76, para instalación de conectores de cortante X-HVB	39
Figura 1.16. Clavos Hilti X-ENP-21-HVB. Características geométricas	39
Figura 1.17. Cartuchos muy fuertes y ultrafuertes, para accionar la pistola DX-76 e instalar conectores de cortante X-HVB.....	40
Figura 1.18. Geometría losa alivianada con conectores Hilti X-HVB.....	41
Figura 1.19. Sentido de la chapa con respecto a la viga	43
Figura 2.1. Aplicación real de losas compuestas	47
Figura 2.2. Muestra de seis probetas de sección compuesta.....	48
Figura 2.3. Muestra de cuatro cilindros de hormigón	49
Figura 2.4. Material triturado y arena proveniente del cantón Paute, utilizado para la elaboración de hormigón.....	49
Figura 2.5. Cemento Hidráulico Atenas. Tipo Gu	50
Figura 2.6. Geometría losa deck de DIPAC.....	50
Figura 2.7. Elaboración de hormigón 210 kg/cm ² en obra con el uso de parihuelas y concretera	52
Figura 2.8. Cofre para toma de muestras de hormigón.....	53
Figura 2.9. Muestras y procedimiento para comprobación la resistencia.....	54
Figura 2.10. Sección longitudinal (plano) de la probeta elaborada utilizando conectores X-HVB	55
Figura 2.11. Características geométricas (mm) del conector de cortante X-HVB 95, utilizado en el ensayo	56
Figura 2.12. Cumplimiento del cortante en función de la geometría de la sección compuesta.....	56
Figura 2.13. Especificaciones para la instalación de un cortante X-HVB 95.....	58
Figura 2.14. Fijación previa a la instalación de los conectores X-HVB.....	59
Figura 2.15. Instalación de los conectores de cortante X-HVB 95 con la pistola Hilti DX-76.....	59

Figura 2.16. Diagrama del proceso de instalación de cada conector de cortante X-HVB	60
Figura 2.17. Colocación de malla electrosoldada y encofrado de las probetas	61
Figura 2.18. Proceso de fundición de los modelos a escala de una sección compuesta que utiliza conectores de cortante X-HVB.....	61
Figura 2.19. Sección longitudinal (plano) de la probeta elaborada utilizando conectores de cortante Nelson Stud.	62
Figura 2.20. Conector de cortante tipo Stud. Marca BA	63
Figura 2.21. Implementación de platinas de 10mm de espesor en la zona de instalación de los conectores cortantes	64
Figura 2.22. Perforación en la losa deck para instalar los conectores de cortante	64
Figura 2.23. Proceso de soldadura de los conectores de cortante tipo Stud o perno en la viga con platinas.....	65
Figura 2.24. Colocación de malla electrosoldada y encofrado de las probetas	65
Figura 2.25. Proceso de fundición de los modelos a escala de una sección compuesta que utiliza conectores de cortante tipo Stud o Perno	65
Figura 2.26. Prensa hidráulica de la Universidad del Azuay	66
Figura 2.27. Marco de acero acoplado en la prensa hidráulica para ejecutar el ensayo de esfuerzos cortantes	67
Figura 2.28. Rectángulo de acero usado como punto de apoyo.....	67
Figura 2.29. Colocación de las probetas en el marco de la prensa con el uso de una grúa.....	68
Figura 2.30. Instalación de los tipos de conectores de perno y de disparo	69
Figura 2.31. Sección con conectores tipo perno	70
Figura 2.32. Sección con conectores tipo disparo.....	70
Figura 2.33. Proceso de instalación de conectores de cortante.....	71
Figura 3.1. Probeta número 1 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada	73
Figura 3.2. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 1 X-HVB.....	74
Figura 3.3. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 1 X-HVB	74
Figura 3.4. Probeta número 2 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada	75
Figura 3.5. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 2 X-HVB.....	75
Figura 3.6. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 2 X-HVB	76
Figura 3.7. Probeta número 3 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada	77
Figura 3.8. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 3 X-HVB.....	77
Figura 3.9. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 3 X-HVB	78
Figura 3.10. Probeta número 1 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA previa a ser ensayada.....	80
Figura 3.11. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Ensayo número 1 Nelson Stud.....	80
Figura 3.12. Mecanismos de falla una vez finalizado el ensayo número 1 Nelson Stud	81

Figura 3.13. Probeta número 2 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA o perno previa a ser ensayada.....	82
Figura 3.14. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo número 2 Nelson Stud	82
Figura 3.15. Mecanismo de falla una vez finalizado el ensayo número 2 Nelson Stud	83
Figura 3.16. Probeta número 3 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA o perno previa a ser ensayada.....	83
Figura 3.17. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo número 3 Nelson Stud	84
Figura 3.18. Punto de instalación del conector de cortante tipo Nelson Stud o perno en donde falló la sección compuesta ante fuerzas cortantes. Ensayo 3 Nelson Stud.	84
Figura 3.19. Losa desprendida de la viga debido a la falla de la soldadura en los puntos de anclaje. Ensayo 3 Nelson Stud	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Espesor mínimo de losa en función del conector X-HVB utilizado	42
Tabla 1.2. Recomendaciones para la elección del dispositivo más adecuado en función de la altura del conector sobre el nervio	42
Tabla 1.3. Resistencia teórica de los conectores X-HVB	43
Tabla 1.4. Factor reductor de resistencia teórica de los conectores X-HVB cuando el nervio o Valle de steel deck se encuentra perpendicular a la viga.....	44
Tabla 1.5. Factor reductor de resistencia teórica de los conectores X-HVB cuando el nervio o Valle de steel deck se encuentra paralelo a la viga.....	44
Tabla 2. 1. Dosificación al volumen para elaborar 1 m ³ de hormigón	51
Tabla 2. 2. Características del conector de cortante X-HVB 95	55
Tabla 2. 3. Características del conector de cortante X-HVB 95	63
Tabla 2. 4. Propiedades mecánicas y del material.....	63
Tabla 2. 5. Propiedades mecánicas requeridas para Studs	71
Tabla 2. 6. Tamaño mínimo de soldadura para montantes	71
Tabla 3.1. Resistencia alcanzada. Probeta número 1 X-HVB.....	73
Tabla 3.2. Resistencia alcanzada. Probeta número 2 X-HVB.....	75
Tabla 3.3. Resistencia alcanzada. Probeta número 3 X-HVB.....	77
Tabla 3.4. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Hilti X-HVB	78
Tabla 3.5. Resistencia alcanzada. Ensayo 1. Conector Nelson Stud BA (perno)	80
Tabla 3.6. Resistencia alcanzada. Ensayo 2. Conector Nelson Stud BA (perno)	82
Tabla 3.7. Resistencia alcanzada. Ensayo 3. Conector Nelson Stud BA (perno)	84
Tabla 3.8. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Nelson Stud o perno	85
Tabla 3.9. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Nelson Stud o perno	86
Tabla 3.10. Tiempo de instalación de conectores de cortante tipo perno	87
Tabla 3.11. Tiempo de instalación de conectores de cortante tipo disparo.....	88
Tabla 3.12. Resumen de los tipos de instalación de los dos tipos de conectores.....	88
Tabla 3.13. Relación de los tiempos de instalación de los dos tipos de conectores.....	88
Tabla 3.14. Tiempos de instalación de conectores tipo perno por m ²	90
Tabla 3.15. Tiempos de instalación de conectores Hilti X-HVB.....	90
Tabla 3.16. Comparación de tiempos de instalación de conectores.....	91
Tabla 3.17. Mano de obra (Instalación de conectores de cortante tipo perno)	92
Tabla 3.18. Equipos (Instalación de conectores de cortante tipo perno).....	93
Tabla 3.19. Materiales (Instalación de conectores de cortante tipo perno).....	93
Tabla 3.20. Rubro de la instalación de conectores tipo perno.....	94
Tabla 3.21. Presupuesto de la instalación de conectores tipo perno	95
Tabla 3.22. Mano de obra (Instalación de conectores de cortante tipo disparo).....	95
Tabla 3.23. Equipos (Instalación de conectores de cortante tipo disparo)	96
Tabla 3.24. Materiales (Instalación de conectores de cortante tipo disparo)	96
Tabla 3.25. Rubro de la instalación de conectores tipo disparo	97
Tabla 3.26. Presupuesto de la instalación de conectores tipo disparo.....	98

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1. Fuerza máxima que resistió cada muestra Hilti X-HVB en KN.....	79
Gráfico 3.2. Ecuación de la recta promedio de resistencia de las 3 muestras Hilti X-HVB analizadas.....	79
Gráfico 3.3. Fuerza máxima que resistió cada muestra Nelson Stud o perno en KN 85	
Gráfico 3.4. Ecuación de la recta promedio de resistencia de las 3 muestras Nelson stud analizadas	86
Gráfico 3.5. Comparación de fuerza máxima que resistió cada muestra en KN.....	86
Gráfico 3.6. Comparación de la ecuación de la recta promedio de resistencia de las 6 muestras analizadas	87
Gráfico 3.7. Costo de Instalación de conectores por cada m ²	89
Gráfico 3.8. Costo de Instalación de conectores por cada probeta	89
Gráfico 3.9. Tiempo de instalación de conectores tipo perno de cada probeta.....	90
Gráfico 3.10. Tiempo de instalación de conectores Hilti X-HVB de cada probeta ..	91
Gráfico 3.11. Comparación de tiempos de instalación de conectores.....	91

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1.4. Ilustración de las dimensiones geométricas de las probetas	105
Anexo 2.4. Ilustración técnica de las probetas.....	106
Anexo 3.4. Resultados de los Laboratorios de Suelos de la resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón.....	107

Introducción

La ingeniería civil ha buscado constantemente distintas alternativas que le permitan facilitar los procesos constructivos y mejorar el comportamiento de los materiales ante distintos fenómenos o esfuerzos; por ello, surge la implementación de secciones compuestas, que utilizan placa colaborante como una alternativa mucho más eficaz que una losa maciza de hormigón.

Las secciones compuestas son estructuras conformadas por una placa colaborante o losa deck, sobre la cual, se vierte hormigón que conformará la losa. Para dar respuesta a esfuerzos de corte y flexión, llevan en su interior una malla electrosoldada y conectores de cortante, que permitirán distribuir las cargas hacia las vigas de la estructura. Esta tecnología a más de ser más liviana y, por ende, mejor desde el enfoque sismorresistente, presenta otras grandes ventajas como no requerir de encofrados, es segura y de fácil instalación; además, genera un ahorro de materiales, mano de obra y tiempo de instalación, lo cual, representa un beneficio económico, entre muchos otros beneficios.

Los conectores de cortante cumplen un papel fundamental para el correcto funcionamiento de una estructura compuesta, ya que son los encargados de distribuir las fuerzas existentes en la losa, hacia las vigas de la estructura; en consecuencia, su implementación debe ser analizada y ejecutada de la manera más óptima y eficaz. Hoy en día existen variadas alternativas al momento de seleccionar un dispositivo de cortante, es por ello que, existe la necesidad de analizar el comportamiento de cada una de ellas para conocer con certeza, cuál presenta un beneficio adicional al momento de relacionar factores como el tiempo de instalación, el valor económico y, obviamente, su comportamiento estructural.

El estudio se encuentra enfocado en dos tipos de conectores de cortante; el tipo Stud o perno, considerado uno de los más utilizados y conocidos en la industria constructiva; y, los nuevos dispositivos de disparo X-HVB de la corporación Hilti, los cuales, surgen como una alternativa mucho más rápida y segura que las existentes en el mercado.

Problemática

Al momento de la construcción de una edificación, los elementos que conforman la estructura se los construyen o instalan de manera independiente, es decir, inicialmente son elementos que no se encuentran trabajando de manera conjunta. Por ello, surge la necesidad de la implementación de dispositivos que permitan enlazarlos, de tal manera, que actúen como un todo y, por ende, su respuesta ante los diferentes fenómenos que afectan a una edificación sea la mejor.

En las losas que poseen placas colaborantes para el trabajo conjunto del acero con el hormigón, es necesaria la utilización de conectores a cortante, dispositivos en los que se enfoca nuestro análisis. Desafortunadamente, la sociedad constructiva que rige dentro del Ecuador no da la importancia suficiente a los elementos anteriormente mencionados, pues, no se reconoce el rol que cumplen los conectores de cortante, en beneficio de la edificación. En la construcción, muy pocos son los que consideran seleccionar e implementar este dispositivo y, al usarse, no se lo realiza de manera correcta.

En Ecuador existe una gran cantidad de conectores a cortante disponibles en el mercado; muchos de ellos, artesanales. Identificar el conector en esta investigación surge de la necesidad de conocer aquel que presentará un mejor desempeño, en relación al fenómeno de esfuerzos cortantes en la interacción del hormigón con el acero en losas mixtas, ya que, en su mayoría, son valorados por su precio dentro del mercado, mas no por su forma de trabajar estructuralmente o por su facilidad de instalación.

Estado del arte

Análisis de la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo en losas de hormigón armado sobre estructura metálica

En la ciudad de Quito-Ecuador, Jonathan Franco & Miguel Martínez (2020), realizaron el análisis de la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo en losas de hormigón armado sobre estructura metálica, utilizando como referencia la metodología empleada por el Eurocódigo, para obtener resultados de las deformaciones y las capacidades últimas de los conectores tipo ángulo. En el caso del experimento que se realizó, se utilizaron vigas tipo I y los conectores tipo ángulo se los colocaron en una posición de 90 grados y 45 grados en relación a la vista en planta. Además, se utilizó para la realización de la losa, un hormigón con resistencia a la compresión de 24 MPa. Una vez finalizada la etapa de experimentación, se observaron comportamientos buenos por parte de los conectores. A pesar de que los anclajes fallaron, no se produjo el desprendimiento entre hormigón y conector, debido a la malla electrosoldada que es utilizada para la realización de secciones mixtas. Al analizar las propiedades mecánicas que poseen los conectores, se observó que, si bien el conector a 90 grados se ve favorecido al comparar los porcentajes obtenidos con el conector que se encontraba en una posición de 45 grados, el conector de 90 grados tuvo una falla frágil; por lo que, el conector con posición de 40 grados presentó un desempeño más parecido a la comparación teórico-experimental. Además, al utilizar una metodología no perteneciente a este tipo de conectores, los resultados que se obtuvieron de las probetas sometidas a fuerzas de corte, fueron satisfactorios (Franco & Martínez, 2020).

Análisis comparativo de resultados entre el modelo computacional propuesto por Lam (2005) para ensayos Push Out y las formulaciones de diseño de conectores de cortante del reglamento NSR-10

En Colombia, José García (2020), realizó un análisis comparativo de resultados entre el modelo computacional propuesto por LAM (2005) para ensayos *push-out* y las formulaciones de diseño de conectores de cortante del reglamento nsr-10, mediante un software llamado *Abqus* de métodos numéricos basados en elementos finitos. Los resultados fueron que la modelación computacional permite una reducción de costos físicos y económicos y varía en un 6% a los resultados obtenidos con estudios de *push-*

out. Al concluir con la investigación, se apreció que, realizando un modelo computacional, aumenta significativamente la eficiencia del estudio en el desempeño de conectores de corte y de ensayos *push out*; es decir, mientras aumenta la resistencia del hormigón, la resistencia de los conectores de cortante también aumenta. Conjuntamente con el análisis económico, el modelo realizado de manera computacional presentó resultados que dan confiabilidad al comportamiento del material bilineal, refiriéndose a los conectores de corte tipo espigo, utilizándolo como anclaje para vigas y losas (García, 2020).

Análisis del comportamiento de placas de concreto fundidas sobre tablero metálico en sección compuesta con perfiles de acero formados en frío usando conectores de cortante tipo canal

La ingeniera civil, Mónica Pérez (2020), realizó en Bogotá-Colombia un análisis del comportamiento de placas de concreto fundidas sobre tablero metálico, en sección compuesta con perfiles de acero formados en frío, usando conectores de cortante tipo canal, utilizando ensayos de probetas de corte directo con la finalidad de presentar la capacidad de los conectores de cortante y compararlos con la capacidad planteada en el reglamento nsr-10.

Al existir una limitación en recursos económicos, no se logró realizar la comprobación del experimento con perfiles que posean diferentes espesores en su sección. Se pudo observar que hay problemas con los perfiles y no pueden ser utilizados en entrepisos, debido a que tendrá una capacidad menor; ya que, al existir poco espacio entre conectores, se puede producir una falla debido a la soldadura y, de esta forma, la sección en conjunto. Al someter a esfuerzos de flexión a la sección, se apreció que los conectores que sufren gran cantidad de deformación, son los que se encuentran en los extremos de la probeta; es aquí donde la placa se fisura, al ser este el punto donde el esfuerzo de corte es mayor. Una vez terminado el proceso de experimentación en laboratorio, se realizó un análisis con un modelo de elementos finitos, el cual, expuso que las fallas existentes por la deformación elástica en los perfiles metálicos utilizados, no posee gran diferencia a las realizadas en el laboratorio (Pérez, 2020).

Estudio experimental de conectores de corte en la unión losa deck – viga acero

Esteban Álava (2021) realizó un estudio experimental de conectores de corte en la unión losa deck – viga acero en la ciudad de Ambato- Ecuador. La metodología usada fue el realizar ensayos con diferentes tipos de conectores, su colocación en la placa para obtener las fallas que se producen en los conectores y la carga máxima que resistirá cada uno y sus deflexiones. Una vez concluida la etapa de pruebas en laboratorio de los prototipos en donde se utilizaron conectores de corte, vigas metálicas y losas deck, se presentaron fallas en los extremos de las probetas, provocado por la fuerza concentrada en el centro. La probeta que tuvo un mejor desempeño dentro de las pruebas realizadas, fue el que poseía seis conectores, al soportar la mayor cantidad de carga aplicada. Además, no existe una pérdida significativa de adherencia entre los elementos que componen la sección compuesta, a excepción de los conectores tipo tornillo. Existieron diferentes factores que afectaron la funcionalidad de los conectores como: dimensiones, cantidad de conectores utilizados o la calidad de los materiales; los anclajes tipo tornillo no tuvieron una adherencia favorable (Alva, 2021).

Influencia de los conectores de cortante en la unión viga de hormigón y losa compuesta

En la ciudad de Ambato, Ecuador, el grupo de investigadores conformado por Barroso et al. (2017) pretendió analizar la influencia de los conectores a cortante, en la resistencia de la unión viga de hormigón y losa compuesta. El estudio fue realizado mediante el uso de prototipos de sección compuesta elaborados con diferentes conectores de cortante, tipo arco de varilla corrugada, tornillo, espigo y tipo estribo, los cuales, fueron sometidos a ensayos de flexión de acuerdo a la norma (ASTM-C293-79,2016).

Para la investigación, se realizaron 7 probetas con la misma sección transversal: 2 con cada tipo de conector, con la diferencia de la cantidad o el número de conectores, 4 o 6 respectivamente, y una en la que se utilizan los estribos de la viga de hormigón como dispositivos de corte. Se utilizó la metodología de comparar los resultados experimentales respecto a los obtenidos teóricamente.

Las primeras falencias se presentaron en la viga, en donde surgieron fallas de corte y flexión en todas las muestras, debido a que se aplicó una carga puntual en el

centro del claro, generando además fisuras próximas a los dispositivos de cortante y desprendimiento de la placa deck de la viga. Por otra parte, los conectores tipo tornillo, arco y espigo, impidieron el desprendimiento vertical de la sección, pero no el desplazamiento horizontal entre viga-losa. El resultado fue que el desempeño de los elementos compuestos no solo depende del tipo de conector sino también del número y espaciado de los conectores, a más de contar con una sección compuesta monolítica, en donde todos los elementos que la componen actúen como uno solo para tener una mejor respuesta ante diferentes fenómenos estructurales (Barroso, et al., 2017).

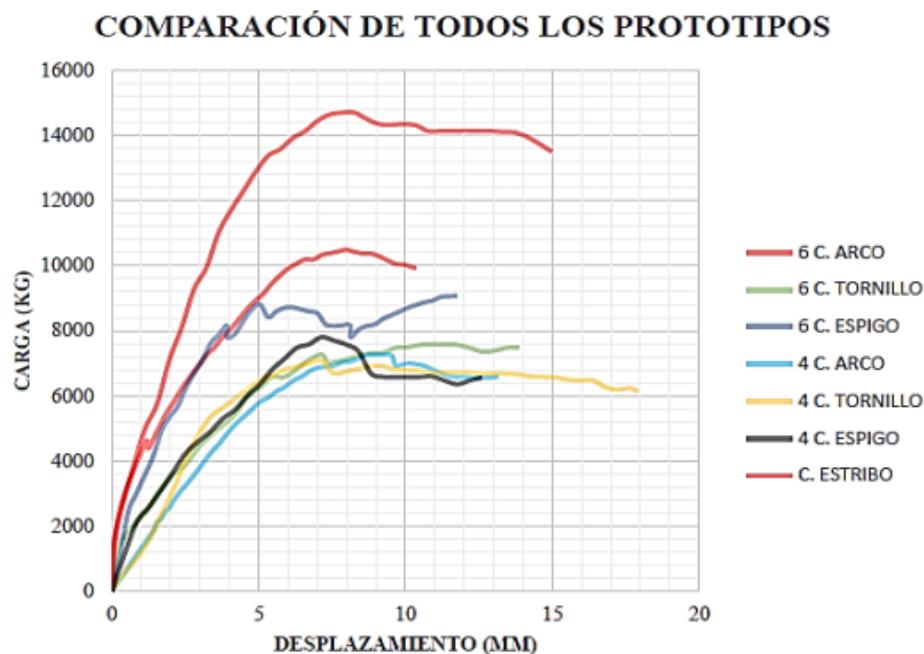


Figura 1.1. Carga vs Deformación
Fuente: Barroso (2017).

Análisis del desprendimiento del concreto en conectores de cortante tipo tornillo sometidos a tracción

Con el objetivo de analizar el comportamiento de los conectores de cortante tipo tornillo ante esfuerzos de tensión y, por ende, conocer el comportamiento de las secciones compuestas, Gustavo Fuentes Parra (2919) realiza una investigación en la ciudad de Bogotá- Colombia, mediante ensayos experimentales tipo *Pull Out*, en prototipos elaborados a base de un tornillo grado dos, incrustado en un cubo de hormigón. Por otra parte, utilizó el programa ANSYS para la modelación en elementos finitos de dichos elementos, a fin de comparar lo teórico con lo experimental o

práctico; todo, bajo los lineamientos existentes en el reglamento colombiano de construcción Sismo Resistente NSR-10.

Un total de 27 elementos fueron estudiados, 3 de cada tipo de combinación, basados en variables como la profundidad de instalación (2,3 y 4 pulgadas) y el diámetro de cada conector de corte (1/2, 5/8, 3/4 de pulgada). Los resultados fueron que la profundidad de instalación de los conectores de cortante es directamente proporcional a la resistencia ante esfuerzos de tracción, pero, inversamente a los desplazamientos. En caso de los conectores con mayor diámetro y mayor longitud, proporcionan mayor rigidez a la estructura, aunque surgen fallas como descascaramiento de bloque, deslizamiento del tornillo y su alargamiento (ductilidad). Por otro lado, es de suma relevancia revisar la soldadura en la conexión tornillo – perfil, puesto que la falla de soldadura es frágil y es la única relación que mantiene unido el tornillo con el resto de elementos (Parra, 2019).

Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta

En la ciudad de Bogotá, Colombia año, Hurtado et al. (2008) desarrollaron un estudio, en el cual, analizaron los diversos efectos producidos en las secciones compuestas cuando se emplean tornillos como conectores de cortante. Cada modelo fue ensayado usando pruebas de corte directo *Push Out*. El resultado fue que, según se incrementa el diámetro de un conector de cortante, disminuirá la deformación y el desplazamiento generado. Cuando se tiene un diámetro pequeño, puede presentarse una rotura en la soldadura considerada como falla dúctil; por otra parte, cuando el diámetro disponible es amplio, se genera una fractura en el hormigón. Además, la cantidad de conectores existentes en cada probeta, afectan en su rigidez; es decir, a menor número de dispositivos cortantes, mayor ductilidad del elemento compuesto (Hurtado, Molina, & Linero, 2008).

Evaluación del comportamiento mecánico de diferentes tipos de conectores de cortante en vigas compuestas con losas sobre Steel deck

William Gómez (2020), en la ciudad de Barranquilla-Colombia, realizó la evaluación del comportamiento estructural de distintas clases de conectores de cortante (tipo canal y espigo), en vigas compuestas con losas sobre *Steel deck*. Para la

investigación se utilizó la modelación basada en elementos finitos, lo que, posteriormente, se ejemplificó en pruebas de laboratorio usando ensayos *push-out* a los distintos prototipos estudiados. Se concluyó que la resistencia de los conectores tipo canal, es superior respecto a los conectores tipo espigo frente a fenómenos cortantes. Se ratificó que la soldadura cumple un papel fundamental para el correcto desempeño del dispositivo, ya que uno de los principales mecanismos de falla observados, fueron por la suelda aplicada. Por otra parte, los resultados obtenidos en el estudio analítico numérico correspondieron a lo sucedido en los ensayos, con cierto porcentaje de error por debajo del 10% (Gómez, 2020).

Justificación

El campo de la construcción, Ecuador presenta muchas falencias respecto al análisis y ciertos elementos que forman parte del diseño estructural de las edificaciones, por lo que existe la necesidad de buscar alternativas factibles, considerando el nivel económico y social que nos rodea. En este contexto, la investigación está enfocada en los conectores de cortante utilizados al momento del ensamblaje de una losa deck sobre viguetas de una estructura, los cuales, cumplen la función de soportar las cargas horizontales o cortantes producidas en la interface de la sección compuesta y, a su vez, redistribuirlas a las vigas de la edificación. Los dispositivos de cortante a estudiarse son los tipos perno o STUD, mismos que serán comparados con la tecnología nueva e innovadora de disparo X-HVB implementada por HILTI Corporation.

Al concluir el trabajo de titulación y de investigación referente a los conectores de cortante en losas mixtas, se contará con resultados que respalden y recomienden el uso de conectores optimizando: desempeño, costo y tiempo de instalación. Se plantea obtener las curvas que expongan el comportamiento de cada dispositivo y determinar la mejor solución constructiva en función de su comportamiento. Esto ayudará a la implementación de nuevas tecnologías que garanticen una mejora en las futuras estructuras del país.

Objetivo general

Analizar el comportamiento de los conectores de corte tipo perno y de disparo X-HVB en losas mixtas, mediante el uso de probetas reales ensayadas en laboratorio.

Objetivos específicos

- Realizar prototipos de secciones compuestas enlazadas por conectores de cortante tipo perno y de disparo X-HVB.
- Comparar la resistencia de los dispositivos a analizar frente a fenómenos que provoquen esfuerzos de corte.
- Identificar el tipo de conector de cortante que presente los mejores beneficios frente a los parámetros pertenecientes al tiempo de instalación del mismo.
- Comparar el valor económico de cada elemento a ser analizado que se encuentra disponible en el mercado.
- Elaborar gráficas de esfuerzo deformación de cada uno de los conectores.
- Sugerir el uso del dispositivo ligador que presente un mayor beneficio relacionando los parámetros de resistencia, costo y tiempo de instalación.

Alcances y resultados esperados

Al terminar con la experimentación que se planteó en el trabajo de titulación, se pretende alcanzar los siguientes resultados.

- Al realizar las probetas, se pretende estandarizar las dimensiones y la resistencia del hormigón a utilizarse para obtener un diseño apropiado de una losa de hormigón armado a escala acorde a las necesidades de la realidad. Se pretende que las muestras tengan las mismas características, para que la única diferencia sea el tipo de conector empleado.
- Mediante la obtención de datos de resistencia de cada sección compuesta frente a esfuerzos cortantes aplicados con el uso de una prensa hidráulica, se desea compararlas para conocer su similitud con la resistencia planteada de manera teórica.
- Al instalar los mecanismos de conexión de corte, se determinará el tiempo implementado para la sujeción de cada dispositivo, para destacar el que presente mayor beneficio respecto a la optimización de tiempo dentro del ámbito laboral.

- Realizando una recolección de datos acerca de los precios de cada uno de los elementos de conexión, se compararán sus valores unitarios en obra para identificar el conector de corte que presente un mayor beneficio económico.
- Posteriormente al ensayo práctico y con la base de datos referente a resistencia de cada probeta analizada, se realizarán gráficas en donde se presenten los esfuerzos provocados y resistidos por cada tipo de dispositivo de cortante.
- Al conocer cada una de las características que presenten los conectores de corte con respecto a su resistencia, costo y duración de instalación dentro de una obra, se obtendrán las ventajas y desventajas de cada uno de ellos, permitiendo identificar el mecanismo que presente los mayores beneficios.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

Losas compuestas

Una losa compuesta es un tipo de sistema constructivo en donde podemos encontrar elementos como: hormigón, malla electrosoldada, una placa de acero y conectores de cortante. Los conectores son de suma importancia dentro de este sistema, porque permite el anclaje de la losa con las vigas pertenecientes a la estructura. Para realizar una correcta realización de una losa compuesta se debe armar, en primera instancia, un apuntalamiento adecuado y la parte perteneciente al acero; es decir, colocar la placa metálica, la malla electrosoldada y la conexión entre la placa y la viga. Posteriormente, se realiza el encofrado de la losa y se prepara el hormigón, que posea una dosificación que permita alcanzar la resistencia que se requiera. Para finalizar, se vierte el hormigón preparado con aditivos, en caso de ser necesario; se lo vibra y empieza su proceso de curado. A decir de Luis et al., (2015), una vez fraguado el hormigón, se retira el encofrado y el apuntalamiento para continuar con la construcción.

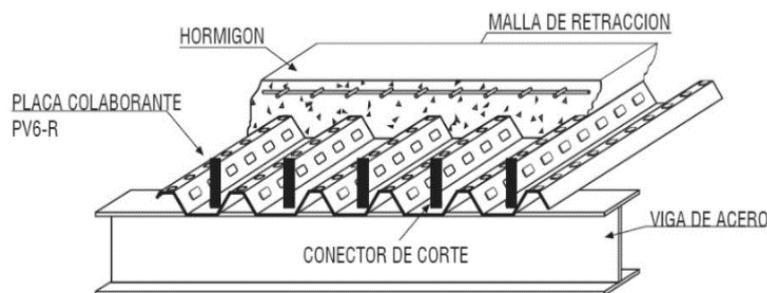


Figura 1.2. Losa compuesta y sus partes
Fuente: Arquitectura en acero (s.f.)

Ventajas del sistema de Losas Deck

Al utilizar el sistema de losas compuestas, podemos encontrar una serie de ventajas en comparación a otros sistemas utilizados dentro de la construcción:

- Utilizar el hormigón en conjunto con el acero, permite contar con elementos constructivos más resistentes y, de esta manera, las dimensiones en proporción de los elementos constructivos disminuyen. Por esta razón, es que se puede permitir una optimización significativa de recursos al momento de construir losas compuestas. Al ser menor el dimensionamiento de las secciones y al optimizar los materiales, de igual manera, va a afectar directamente a la parte económica, disminuyendo el costo en sí de la construcción.
- Debido a las propiedades que posee el acero en cuanto a su resistencia en relación con su peso, brinda la posibilidad de realizar construcciones con mayor espaciamiento entre elementos o lo que es conocido como “luz libre”. Si comparamos este sistema constructivo con sistemas en donde solo se utilice hormigón y otras en donde se utilice solo acero, es más efectivo el realizar losas compuestas.
- Al realizar secciones compuestas como las losas, se puede exponer que existe una disminución de la corrosión de los materiales. Si bien, el acero al enfrentarse a diferentes fenómenos climáticos tiende a corroerse, el hormigón al recubrirlo brinda la protección necesaria para que no se produzca corrosión.
- Cuando una estructura se encuentra en peligro debido a incendios, el acero, por las propiedades que posee, tiende a deformarse y, por ende, la estructura va a fallar. Al realizar losas compuestas, el hormigón que recubre el acero permite que el fuego que se presente se aisle, por ende, que el calor se disipe, aumentando la resistencia de la losa ante los accidentes producidos por el fuego.
- Una estructura siempre se ve afectada por diferentes fenómenos naturales, ya sea por el clima o por los sismos. Al tener losas con recubrimiento de hormigón y por su parte inferior acero, las deformaciones producidas por las vibraciones van a ser menores a las que poseen las estructuras hechas o solo de acero o solo de hormigón.

Desventajas de losas compuestas

- Una de las principales desventajas de trabajar con losas compuestas es el cálculo para la determinación de su rigidez, ya que al comportarse de manera distinta el hormigón y el acero, el resultado de la rigidez de la sección, en general, va a tener cierto grado de dificultad.
- Al momento de la ejecución de la obra se debe tener presente, manejar bien el tiempo y el espacio de trabajo, debido a que se tienen que realizar trabajos por separado para cada material y esto puede causar dificultades al momento de coordinar cada actividad.
- Una desventaja que se encuentra al momento de construir una losa compuesta, es el flujo plástico del hormigón y el fenómeno de contracción que se produce durante su fraguado. Estas dos características aumentan cuando existe una sección compuesta, a diferencia de las que están hechas tan solo por hormigón (Navarro, 2012).

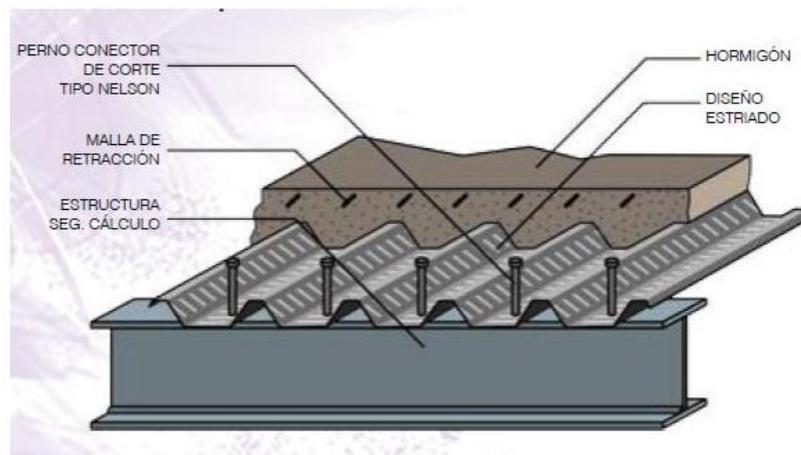


Figura 1.3. Losa Compuesta
Fuente: Especificar CDT (s.f.)

Elementos del sistema de losas compuestas y sus funciones

Al hablar de losas compuestas, se debe considerar que cada uno de los elementos que se ven involucrados, cumplen una función específica dentro de la estructura. Entre los elementos que conforman las losas compuestas tenemos: placa colaborante, hormigón, aditivos, viga de acero, malla electrosoldada y conectores de cortante.

Placa colaborante

La placa colaborante es un elemento compuesto de acero estructural y conformada en frío. La forma que se le da a la placa, conjuntamente con las propiedades que posea material, brindarán la rigidez y la fuerza de este tipo de elemento estructural. Al colocarse para la conformación de losas compuestas, las placas colaborantes suelen ser ancladas a perfiles de acero estructural mediante el uso de conectores de cortante. Los conectores pueden colocarse en los valles que posee la placa colaborante mediante soldadura, agujeros realizados en la plancha de acero o directamente a través de disparos que permitan un anclaje del perfil estructural y la plancha de acero. Dependiendo de la empresa que lo fabrique, las planchas de acero o placa colaborantes tendrán un espesor diferente y una forma característica para el uso que se le vaya a dar. La placa colaborante posee acabados galvanizados, es decir, recubiertos de zinc o fosfatado. Por lo general, se instalan las placas, de tal manera, que no exceda los perfiles que se encuentran como o apoyo en los extremos de una estructura (*Steel Deck Institute, 2006*).

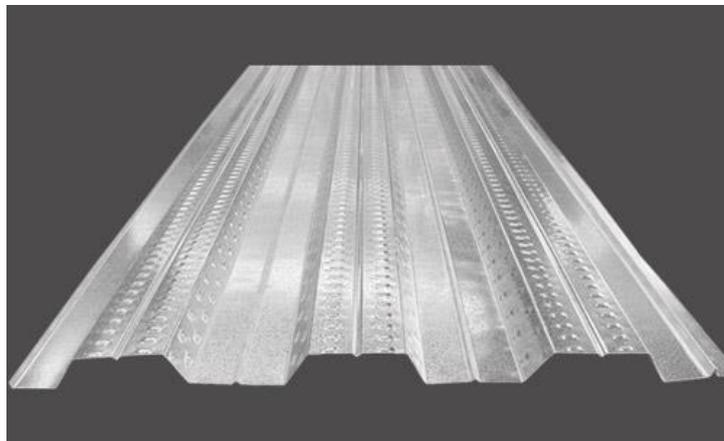


Figura 1.4. Placa Colaborante

Fuente: DIPAC (s.f.).

Hormigón

Para hablar del concreto se debe tener clara su definición y sus componentes. El concreto es una mezcla de cemento, agregado grueso, agregado fino y agua. Los materiales como: cemento, agregado fino y agua, permiten que se forme un material llamado “mortero”, que permite enlazar a los agregados gruesos por medio de los vacíos que se encuentren en la mezcla. El tipo de hormigón que se desee obtener va a depender del tipo de materiales que se usen, su dosificación, el vaciado del concreto y el fraguado. Además, se suelen utilizar ciertos aditivos para que las propiedades del hormigón mejoren.

De acuerdo a (Harmsen, 2002), los aditivos tienen la función de:

- Mejorar la trabajabilidad del concreto.
- Reducir el agrietamiento por el calor de hidratación
- Mejorar la durabilidad del concreto a los ataques químicos
- Reducir su potencial de corrosión
- Producir concretos de alta resistencia

Para conocer la resistencia del concreto se requiere hacer pruebas o ensayos de laboratorio mediante la modelación de cilindros que serán puestos a prueba 28 días después del colado del hormigón. La resistencia a compresión, que es la que más posee el hormigón, se definirá mediante el promedio de tres probetas realizadas.

Dentro de los elementos que conforman el concreto tenemos: agregados finos, agregados gruesos, cemento, agua y aditivos.



Figura 1.5. Vertido de hormigón
Fuente: Pateta (s.f.)

Agregado Fino y Agregado Grueso

Para la elaboración del hormigón están presentes los agregados que se van a colocar en la mezcla, tanto finos como gruesos. El agregado fino y el agregado grueso son definidos en dependencia del tamaño que posean. Por lo general, se utiliza grava como suelo de grano grueso y arena como suelo de grano fino. Todo material que vaya a ser incorporado a la mezcla de hormigón debería ser lavado y secado; también, deberá estar libre de impurezas de forma que no se vea afectada, posteriormente, la resistencia en dependencia de la dosificación a utilizar.

Para conocer si el material que se va a utilizar es fino o grueso, se debe realizar un estudio de granulometría, en donde el material que pase el tamiz número cuatro, va a ser un agregado fino (Nilson, 1999). Al realizar ensayos de laboratorio, se toman muestras de los agregados finos y gruesos; luego, se los prepara con su respectivo lavado y secado; mientras que, en obra in situ, se procede a colocar la dosificación sin un previo tratamiento de los materiales, por lo que la resistencia final del hormigón puede variar. La dosificación de los agregados finos y gruesos en el hormigón, son de suma importancia, ya que, basado en la necesidad o el tipo de obra que se vaya a construir, la resistencia a compresión del hormigón cambiará y, por ende, la cantidad de material fino o grueso va a variar.

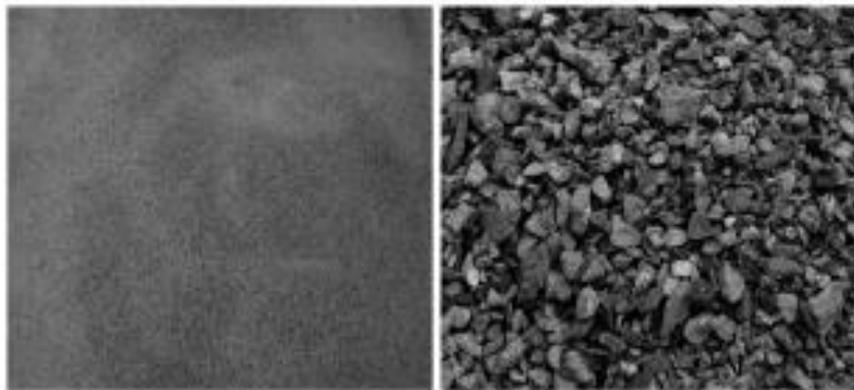


Figura 1.6. Agregado fino y agregado grueso
Fuente: Matthey, et al. (2014)

Cemento

Al realizar diferentes tipos de estructuras o elementos de hormigón, se utiliza el tipo de cemento hidráulico; es decir, que, mediante la colocación de agua, adquiere sus propiedades para endurecer. El tipo de cemento hidráulico más utilizado es el

Portland, resultado del proceso de la mezcla entra arcilla, caliza, pizarra y yeso. De acuerdo con Proaño (2008), dentro del campo de la construcción existen varias clases de Cemento Portland, entre ellas están:

Tipo I: Este tipo de cemento es al que se le da la mayor cantidad de uso en la construcción. Se lo puede utilizar en lugares que no se vean sometidos a sulfatos en el lugar que se lo vaya a trabajar.

Tipo II: Un diferenciador que posee este tipo de cemento a comparación con el tipo I, es que, la producción de calor en el proceso de fraguado es menor y presenta un mejor comportamiento ante los diferentes agentes ambientales que posean sulfatos. Se lo suele utilizar en estructuras rodeadas por agua salada o bajo la superficie terrestre.

Tipo III: En este caso, se utiliza el Cemento Portland tipo III para la realización de obras civiles que vayan a verse afectadas por la presencia de agua o por agentes que produzcan inestabilidad en la estructura durante el proceso de construcción. Se lo utiliza en este tipo de obras debido a su capacidad de aumentar su velocidad en el ciclo de fraguado del hormigón. Se debe tener mayor cautela en el proceso de curado del hormigón realizado con este tipo de cemento, ya que emite gran cantidad de calor en su fraguado.

Tipo IV: Al existir estructuras que cubren áreas extensas como son las hidroeléctricas o los muros de contención, se necesita de un tipo de cemento que permita un proceso de fraguado con velocidad reducida. Debido a su lento proceso de fraguado, el tiempo en el que el hormigón alcanzará su resistencia final será mucho mayor al de los otros tipos que serán realizados con cementos diferentes.

Tipo V: En espacios en los que se ven presentes sulfatos, ya sea en el medio en el que esté construida una estructura o en los otros elementos que componen al hormigón, se requiere un tipo de cemento que contrarreste los efectos que causan los sulfatos dentro de la roca artificial.

Dentro de los tipos de cemento tipo I, II y III, existen subclasificaciones que le son nombrados con una letra A, antecediendo el número y son utilizados para la introducción de burbujas de aire.



Figura 1.7. *Cemento Argos tipo I*
Fuente: Argos (s.f.)

Agua

Cuando se quiere realizar un hormigón que posea las características que se requieran, el agua es uno de sus elementos más importantes, ya que, su dosificación va a influir en su proceso de fraguado y, por ende, en su resistencia. El agua, de no ser potable, debe tener características de claridad y que se encuentre libre de impurezas que puedan afectar al hormigón o al acero estructural con el que va a trabajar en conjunto. Además, el agua que se rehúse dentro de una obra civil, debe someterse a control para evitar que se introduzca algún tipo de sustancia o material que produzca daño en la trabajabilidad o calidad del hormigón. El agua también es importante posterior a la realización del concreto, debido a su utilidad en el proceso de curado que presenta el hormigón antes de alcanzar su resistencia requerida (INEN, 2016).



Figura 1.8. *Hidratación para fabricación de hormigón*
Fuente: IStock (s.f.)

Aditivos

Existen ciertos tipos de materiales que permiten modificar las propiedades del concreto, en dependencia del tipo de obra que se vaya a ejecutar. Los aditivos se pueden colocar antes o durante la fabricación del hormigón. Según los autores McCormac & Brown (2017), existen diferentes tipos de aditivos como:

Aditivos inclusivos de aire: Materiales utilizados para que el hormigón aumente su resistencia frente a los agentes congelantes y a ciertas sales que provocan descongelamientos. Al colocar este tipo de aditivos, se forman burbujas de aire que permiten la disminución de presión del concreto cuando se congelan y una salida de las burbujas cuando el hormigón se descongela.

Aditivos acelerantes: En obras civiles en las que se necesita acelerar el proceso de fraguado del hormigón y, por ende, disminuir el tiempo para que el concreto obtenga la resistencia requerida, se utilizan los aditivos acelerantes. Aunque en ciertas ocasiones son de gran ayuda, los aditivos acelerantes poseen cloruro de calcio que provoca corrosión en ciertos metales.

Aditivos retardantes: Cuando el hormigón está en su proceso de fraguado libera temperatura, por lo que los aditivos retardantes, retrasan el proceso de fraguado y disminuyen la temperatura. Los aditivos retardantes se utilizan para la construcción de obras civiles con volúmenes bastante grandes y no es posible un colado homogéneo del hormigón.

Aditivos superplastificantes: Usados para disminuir la cantidad de agua que se coloca al concreto y para tener una continua proporción de agua-cemento, utilizando menores cantidades de cemento. Además, aumenta la resistencia del hormigón sin la necesidad de la colocación de más cemento.

Aditivos impermeables al agua: Brindan apoyo para que no ingrese agua en algunos hormigones que posean poros; aunque, para evitar el uso de aditivos impermeables al agua y evitar la presencia de poros, se debe curar de manera adecuada al concreto.



Figura 1.9. Aditivo acelerante para hormigón
Fuente: Sika (s.f.)

Malla electrosoldada

Las mallas electrosoldadas o mallas de retracción, son elementos estructurales compuestos por barras de acero lisas o corrugadas, unidas mediante soldadura para formar cuadriláteros entre ellas. Se usan mallas electrosoldadas para la construcción de losas, cimentaciones, muros, elementos prefabricados, entre otros. Se utilizan elementos como la malla electrosoldada, debido a la capacidad para evitar fisuras en el concreto mediante su adherencia. Depende del tipo de obra civil que se vaya a realizar para elegir el tipo de malla, ya sea, por sus dimensiones en una superficie o por el diámetro de las barras para el aumento de la resistencia de la malla (Disensa, 2022).



Figura 1.10. Pila de mallas electrosoldadas
Fuente: Acero Center (s.f.)

Viga de acero

Los perfiles realizados con acero estructural pueden moldearse de varias formas sin verse afectadas las propiedades que posea. En la mayoría de casos, se deben utilizar perfiles que posean momentos de inercia que superen en gran forma a su área. Debido a las condiciones en las que se encuentre el lugar en donde se va a ubicar la obra o en dependencia al uso que se le vaya a dar, se debe seleccionar un perfil que vaya a proveer el mayor beneficio en cuanto a resistencia y trabajabilidad. Los perfiles más utilizados son los I, T, C, T y, en general, los que posean ángulos. Entre las ventajas que más resaltan los perfiles de acero está su elevada resistencia con un peso no muy alto en relación al área que va a ocupar. Además, propiedades como la elasticidad, uniformidad, ductilidad, durabilidad y tenacidad hacen de los perfiles de acero, elementos estructurales propicios para el uso en obras civiles (McCormac & Csernak, 2012).

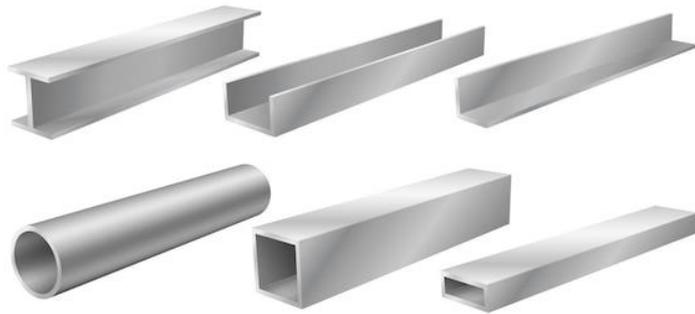


Figura 1.11. Perfiles de vigas de acero
Fuente: Freepik (s.f.)

Conectores de cortante

Los conectores de cortante son dispositivos de acero que están diseñados para resistir y actuar ante la presencia de esfuerzos de corte o fuerzas horizontales existentes en una estructura compuesta (*Steel deck* y hormigón [losa] y una viga de acero), provenientes generalmente de fenómenos como los sismos o cargas de viento. Estos dispositivos, a más de permitir que la estructura trabaje como un solo cuerpo, ayuda a distribuir las cargas de manera óptima a las vigas, generando menores deformaciones y bloqueando la separación vertical entre la viga y la losa.

Comportamiento de conectores de cortante

En una sección compuesta, existen dos principales métodos de reacción ante la presencia de fuerzas cortantes. Principalmente, las cargas son transmitidas hacia las vigas por rozamiento entre los dos elementos, ya que el peso de la losa junto con el coeficiente de rugosidad de la viga y la placa colaborante, generan cierta resistencia al movimiento hasta el límite cuando la fuerza supera a la adherencia o rozamiento. A partir de este momento, los esfuerzos son absorbidos por los conectores de cortante los cuales evitarán desplazamientos en ambas direcciones (vertical y horizontal), hasta el punto donde se generen fallas en la estructura de hormigón o la integridad del dispositivo de cortante.

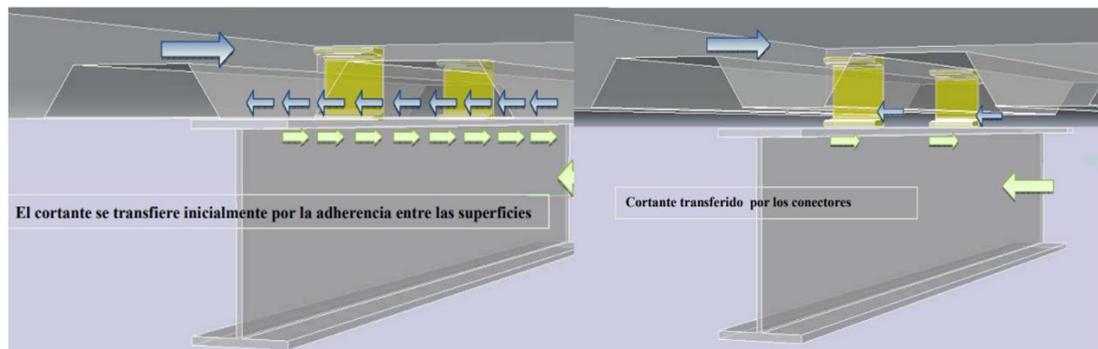


Figura 1.12. Comportamiento de una sección compuesta ante esfuerzos cortantes
Fuente: Muñoz (2013)

Tipos de conectores

Dentro del campo de la construcción son varias las opciones al momento de elegir un conector de cortante, los cuales varían en función de sus características geométricas, el material y la resistencia. Si bien, no hay ningún método que nos permita determinar qué elemento representará el mejor desempeño para la sección compuesta, es necesario realizar los estudios necesarios para asegurar que actúen distribuyendo y resistiendo los esfuerzos cortantes; todo esto, de acuerdo a la normativa vigente. Entre algunos de los conectores que podemos destacar son:

Conectores de cortante tipo Nelson Stud

Los conectores de cortante tipo *Nelson Stud* son dispositivos de acero con cabeza redonda, similar a un perno, pero sin hilos o roscas, es decir, completamente

liso. Generalmente, los diámetros más comerciales son de 1/2, 5/8, 3/4 y una longitud de 3 hasta 7 pulgadas según sea el caso o solicitud.

Su relevancia en el campo de la construcción es la innovadora manera de instalación en donde son considerados dispositivos autosoldables, generando así una velocidad 3 o 4 veces superior a la metodología tradicional realizada a mano, aunque muchas de las veces, este método eficaz no se encuentra disponible por lo que son soldadas uno por uno sobre la viga y la losa deck.

Este tipo de conector de corte, evita el deterioro de las estructuras secundarias o próximas a la zona de instalación, como es el caso de la losa deck, ya que comúnmente las temperaturas generadas al momento de implementar soldadura la perforan o destruyen, debilitándola y perjudicando su resistencia; es por ello que, a más de requerir un menor tiempo para su instalación, evitan fallas que podrían verse reflejadas en pérdidas económicas dentro de un proyecto ingenieril.

El proceso de instalación consiste en utilizar el conector como electrodo al momento de generar la soldadura de arco eléctrico rectificado. Es necesario la implementación de herramientas especiales como una máquina de electrofusión, que consiste en una pistola de instalación para colocar el perno junto con un elemento de cerámica denominado ferrul, el cual, protege la estructura cercana de las altas temperaturas y evita que la suelta o material ligante se esparza por zonas innecesarias para una correcta unión. Al momento de ejecutar el disparo se deberá ejercer cierta presión sobre el dispositivo para que el arco eléctrico derrita el metal y permita la unión entre el conector y la viga, ya que el proceso de solidificación posterior toma menos de un segundo.

Existen ocasiones en las que la tecnología de instalación no se encuentra disponible o al alcance dependiendo de un sin número de factores en obra, es por ello que este tipo de conector de cortante también puede ser instalado de la manera tradicional mediante suelda. Si bien, el tiempo de instalación se incrementa, las excelentes características respecto a la forma, material y resistencia del perno se mantienen, respondiendo positivamente ante esfuerzos cortante.

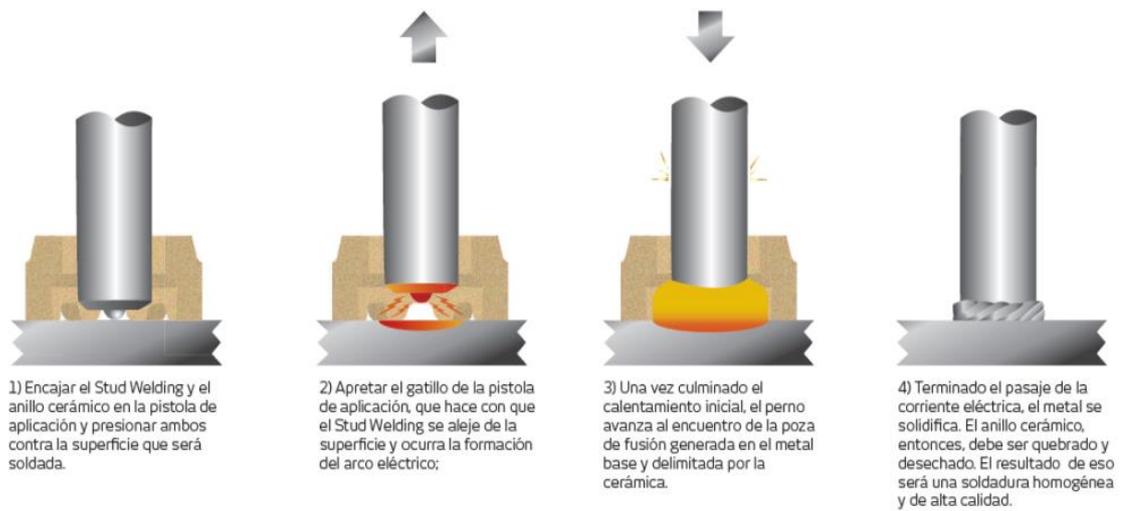


Figura 1.13. Proceso de instalación de conectores de cortante tipo Stud mediante pistola

Conectores de cortante tipo X-HVB

HILTI Corporation es una multinacional dedicada a la innovación y comercialización de herramientas utilizadas en el campo de la construcción, siendo la tecnología su mayor arma para estar siempre a la vanguardia.

Su principal objetivo es dar soluciones más eficientes a distintas problemáticas presentadas en ciertas actividades constructivas. Es aquí donde se diseñan los conectores de cortante tipo X-HVB, los cuales, surgen como una alternativa mucho más rápida, segura, económica y eficiente respecto a su desempeño estructural.

Su instalación es realizada utilizando una pistola DX-76 accionada con cartuchos de pólvora que dispara dos clavos Hilti X-ENP- 21 HVB. La estructura vertical de este dispositivo es capaz de resistir esfuerzos cortantes; mientras que, el cabezal, junto con los clavos instalados, actúan ante la presencia de fuerzas verticales generadas por el levantamiento de la losa de hormigón respecto a la viga de acero.

Elementos principales

Conectores X-HVB: Son dispositivos de acero conformados en frío, los cuales tienen forma de *L* y están disponibles en distintas versiones que varían en función de sus dimensiones. Resistencia a tracción mín. = 295 N/mm²

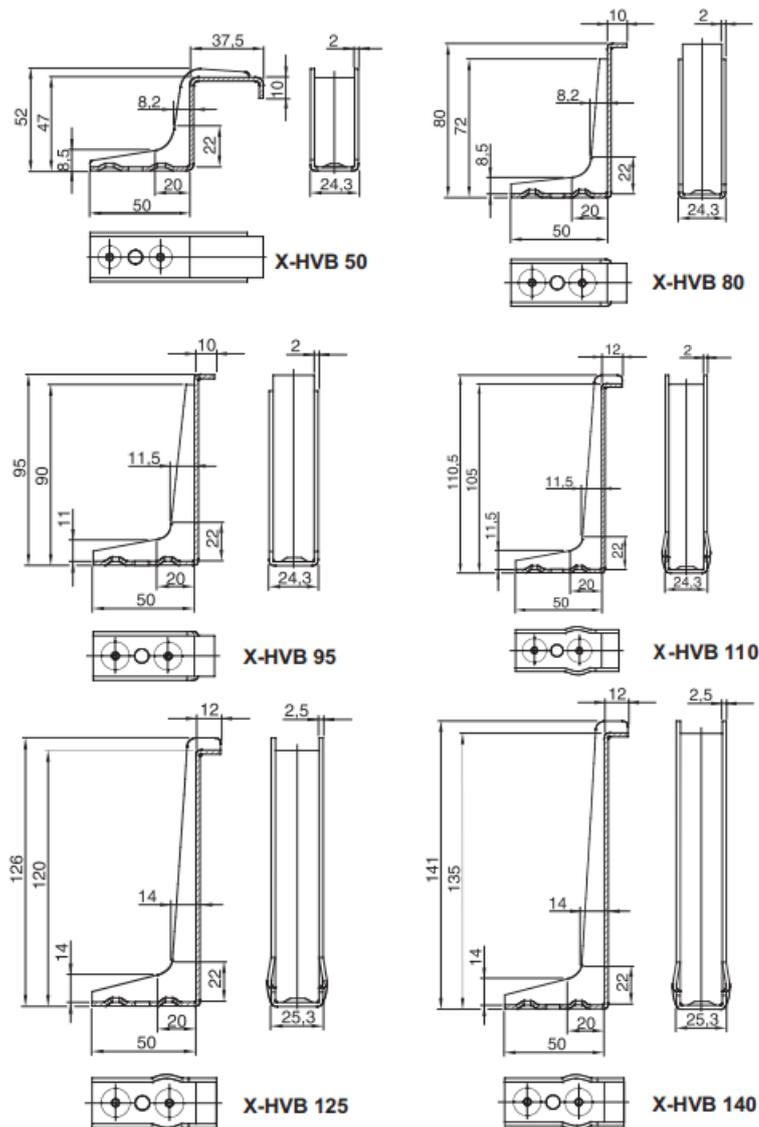


Figura 1.14. Características geométricas de los distintos tipos de conectores de cortante X-HVB
Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Pistola DX-76: Herramienta clavadora de fijación con pólvora semiautomática utilizada en la instalación de dispositivos de anclaje sobre estructuras metálicas. Tiene un peso de 4.35 kg y un diseño ergonómico que genera confort al momento de su utilización. Cuenta con un mecanismo de seguridad que permite evitar accidentes de trabajo o riesgos potenciales, debido a la gran potencia generada al momento de una

descarga, que consiste en aplicar una presión previa en la zona donde se realizará el anclaje; esta acción desbloqueará los seguros y permitirá accionar el gatillo. Además, dispone de silenciador y regulador de potencia, para mejorar las características de anclaje en función de la dureza o resistencia del acero y sus espesores (Material base).



Figura 1.15. Pistola Hilti DX-76, para instalación de conectores de cortante X-HVB
Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Clavos Hilti X-ENP-21 HVB: Clavo de acero revestido con zinc galvanizado para evitar la corrosión, utilizado para la fijación del conector X-HVB utilizando la pistola DX-76 accionada con cartuchos de pólvora. Su resistencia a tracción mínima es 2.200 N/mm².

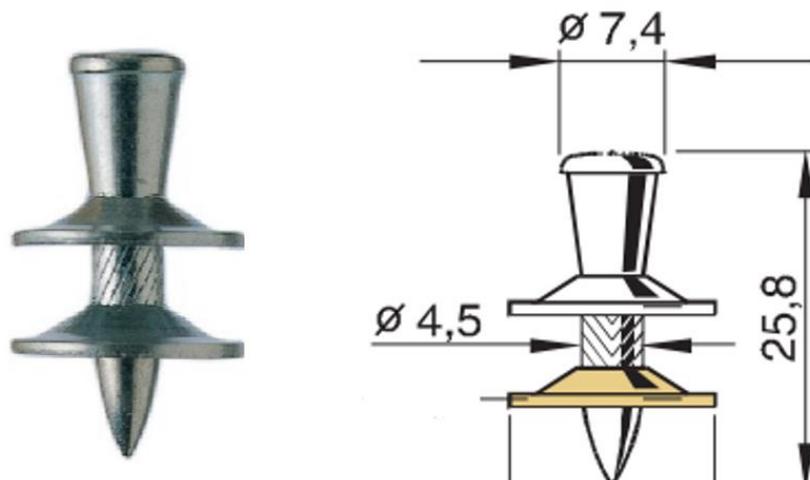


Figura 1.16. Clavos Hilti X-ENP-21-HVB. Características geométricas
Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Cartuchos de pólvora: Disponibles en tiras de 10 unidades calibre 0.27, utilizados para el funcionamiento o accionar de la pistola Hilti DX 76, herramienta de fijación directa. Están diseñados con tecnología Clean-Tec, la cual, garantiza dispositivos sin plomo ni metales pesados; los residuos después de ser utilizados pueden ser desechados en la basura común.

Se encuentran disponibles en varias versiones diferenciadas por el color de la tira; estas dependen de la cantidad de pólvora que contiene cada cartucho. La pólvora es la variable que definirá la potencia que tendrá la detonación al momento de realizar el anclaje. Los cartuchos utilizados para la instalación de conectores de cortante tipo cizalla son los de color negro o rojo, considerados ultra fuertes o muy fuertes, respectivamente.

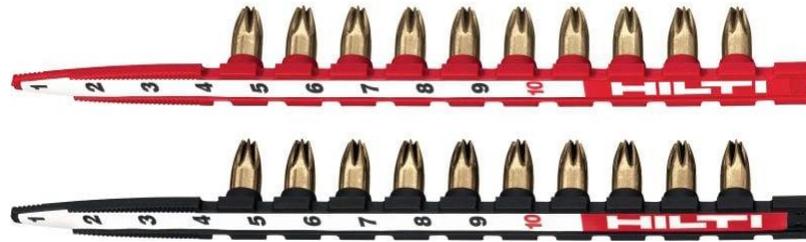


Figura 1.17. Cartuchos muy fuertes y ultrafuertes, para accionar la pistola DX-76 e instalar conectores de cortante X-HVB

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Ventajas del uso de conectores Hilti X-HVB

Esta tecnología difiere con otras debido ciertas ventajas al momento de su implementación, tales como:

- El equipo es sencillo de utilizar, manual, liviano y económico, lo que posibilita a cualquier trabajador con una capacitación rápida, instalarlos con seguridad y confiabilidad.
- No se requiere de energía eléctrica, ya que las herramientas utilizadas llevan baterías recargables de larga duración.
- Las condiciones climáticas no representan un problema, ya que al no utilizar suelda, elementos como la temperatura, la humedad o el agua no son relevantes, como es el caso de trabajos en caliente.
- El tiempo de instalación es mucho más rápido respecto a otros métodos, mejorando los rendimientos y alcanzando o superando los plazos de entrega.

Probetas con conectores Hilti X-HVB

Elección de conector de cortante

La corporación Hilti dispone de seis conectores de cortante X-HVB que difieren únicamente en sus características geométricas; es por ello, que la elección del tipo de conector más adecuado estará en función de las dimensiones (espesor) que tendrá la sección compuesta.

Las condiciones ambientales tienen cierta importancia al momento de la elección, debido a que los dispositivos, que pueden ser susceptibles a corrosión, deberán estar más protegidos, aumentando la chapa de hormigón de la losa.

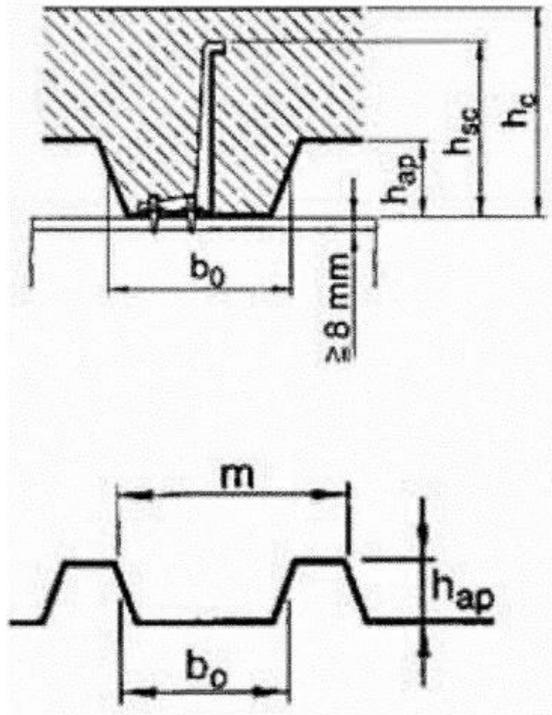


Figura 1.18. Geometría losa alivianada con conectores Hilti X-HVB

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Por otra parte, la geometría de la sección compuesta influye en la elección del dispositivo cortante, debido a que debe cumplir condiciones mínimas para su correcto funcionamiento (Tabla 1).

Tabla 1.1. Espesor mínimo de losa en función del conector X-HVB utilizado

Conector	Espesor mínimo losa (cm)	
	Ambiente <i>con</i> riesgo de corrosión	Ambiente <i>sin</i> riesgo de corrosión
X-HVB 50	7.0	6.0
X-HVB 80	10.0	9.0
X-HVB 95	11.5	9.5
X-HVB 110	13.0	11.0
X-HVB 125	14.5	12.5
X-HVB 140	16.0	14.0

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Se debe especificar que, generalmente, hay dos modelos de chapas.

Tabla 1.2. Recomendaciones para la elección del dispositivo más adecuado en función de la altura del conector sobre el nervio

Relación bo/hap	Altura del conector sobre el nervio hsc - hap
bo/hap > 1.8	hsc - hap > 3.5 cm
1.0 > bo/hap > 1.8	hsc - hap > 3.5 cm y hsc > 1.7*hap
bo/hap < 1.0	hsc - hap > 5 cm y hsc > 1.7*hap

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Selección del fulminante y clavo

El espesor del material base y la calidad del acero son los factores decisivos al momento de seleccionar el clavo y el fulminante a implementarse. Los clavos utilizados para instalar este tipo de conector de cortante son los denominados X-ENP-21 HVB que interactúan muy bien con aceros tipo S235 y S275, sin considerar el espesor del material un problema; sin embargo, para un acero S355 se recomienda no superar espesores de 14mm. (Hilti Española S.A, 2007).

De la misma forma, el tipo de cartucho, rojo o negro, dependen de los mismos factores mencionados anteriormente. Para aceros S235 se permite utilizar el fulminante color rojo para espesores entre 8 y 10 mm; a partir de este valor, únicamente

se admite el cartucho color negro. Para un acero S355 se recomienda solo la utilización del tipo ultra fuerte, es decir, el color negro.

Resistencia teórica conectores de cortante X-HVB

Las resistencias proporcionadas en el manual del *Hilti Corporation* se realizaron basado en la normativa del EUROCODIGO 4 y utilizan un factor de seguridad $\gamma_v = 1,25$. La Tabla 3 hace referencia a la implementación de los conectores de cortante en una losa maciza (Hilti Española S.A, 2007).

Tabla 1.3. Resistencia teórica de los conectores X-HVB

Modelo X-HVB	Resistencia Teórica (kn)			
	Régimen Elástico		Régimen Plástico	
	Hormigón Normal	Hormigón Ligero	Hormigón Normal	Hormigón Ligero
X-HVB 50	14	12	18	16
X-HVB 80	14	12	18	16
X-HVB 95	22	20	28	25
X-HVB 110	22	20	28	25
X-HVB 125	24	20	30	25
X-HVB 140	24	20	30	25

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Para el caso de losas alivianadas es necesario multiplicar los valores de la tabla número 3 por un factor reductor obtenido de la siguiente manera, dependiendo del sentido de la chapa con respecto a la viga.

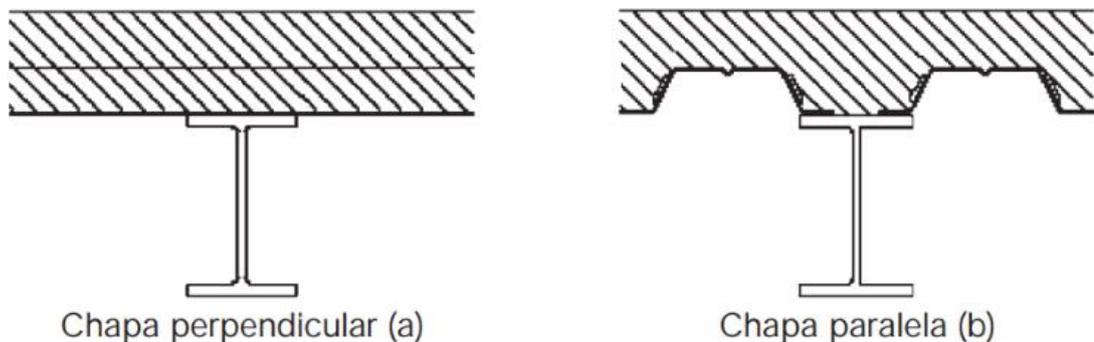


Figura 1.19. Sentido de la chapa con respecto a la viga

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Tabla 1.4. Factor reductor de resistencia teórica de los conectores X-HVB cuando el nervio o Valle de steel deck se encuentra perpendicular a la viga

<i>Nervio o Valle de steel deck perpendiculares a la viga</i>		
Relacion bo/hap	Altura del conector sobre el nervio hsc-hap	Factor K
Mayor a 1.8	Mayor a 3.5cm	$K = \frac{0.7}{\sqrt{N}} * \frac{bo}{hap} * \frac{hsc - hap}{hap}$
Mayor a 1.0 y menor a 1.8	Mayor a 3.5cm hsc > 1.7 hap	
Menor a 1.0	Mayor a 5 cm	$K = 0.6 * \frac{bo}{hap}$
	hsc > 1.7 hap	

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

Nota: (N hace referencia al número de conectores por valle, siempre menor o igual a 3).

Tabla 1.5. Factor reductor de resistencia teórica de los conectores X-HVB cuando el nervio o Valle de steel deck se encuentra paralelo a la viga

<i>Nervio o Valle de steel deck paralelo a la viga</i>		
Relacion bo/hap	Altura del conector sobre el nervio hsc-hap	Factor K
Mayor a 1.8	Mayor a 3.5cm	$K = 0.6 * \frac{bo}{hap} * \frac{hsc - hap}{hap}$
Mayor a 1.0 y menor a 1.8	Mayor a 3.5cm hsc > 1.7 hap	
Menor a 1.0	Mayor a 5 cm	$K = 0.6 * \frac{bo}{hap}$
	hsc > 1.7 hap	

Fuente: Hilti Española S.A. (2007)

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA

Metodología general aplicada en la práctica de laboratorio

La fundamentación teoría es la base de todo estudio a realizarse, es por ello que primero se elaboró una investigación bibliográfica que proporciona las especificaciones de cada tipo de conector de cortante analizado, lo que nos permitirá obtener los resultados más óptimos al momento de ejecutar cada prueba, ya que cada tipo de conector se instala de manera diferente y utiliza materiales distintos.

La ejecución de la etapa de experimentación es realizada utilizando 6 modelos a escala de una sección compuesta; 3 elaborados con conectores de cortante tipo Stud o perno y 3 con dispositivos cortantes de disparo X-HVB. Se plantean un mínimo de 3 modelos de cada tipo con la finalidad de obtener un resultado promedio y las estadísticas obtenidas se encuentren más apegadas a la realidad constructiva.

Las probetas que fueron ensayadas en el laboratorio son de 100 cm por 33 cm, conformadas por una losa deck que dispone de 3 valles y 3 crestas, 3 conectores de cortante situados en cada valle respectivamente, una malla electrosoldada y hormigón de resistencia 210 kg/cm² el cual fue fundido y conformo la losa. Todo esto fue instalado sobre una viga de acero tipo caja de 3mm de espesor, en la cual, se encontraba soldado una platina de 1 cm en cada lugar donde se realizó la instalación de los conectores; esto se ejecutó debido a que se requería satisfacer ciertas necesidades y especificaciones referentes al espesor del material base solicitadas para la instalación de los conectores de corte X-HVB.

Como se mencionó previamente, el objetivo de esta investigación es analizar el comportamiento de la sección compuesta dependiendo de tipo de conector utilizado, ante la presencia de esfuerzos cortantes. Para ello, se adaptó una prensa hidráulica utilizando un marco de acero, permitiendo que la fuerza aplicada por este equipo sobre la probeta sea de tipo cortante. Es decir, el marco permitía posicionar al modelo a escala, de tal manera, que si bien la prensa hidráulica únicamente se movía en sentido

vertical (teóricamente generando esfuerzos de compresión), se transformaba en una fuerza cortante al ser aplicada lateralmente en la probeta.

Recolección de datos

La recolección de datos se obtendrá una vez hechas las pruebas de laboratorio, en donde se aplicará carga de corte a las probetas que poseen conectores. El ensayo de laboratorio con las probetas, el tiempo de instalación y el costo de los conectores de cortante, permitirá obtener información sobre la ventaja o desventaja de un tipo de conector con otro. Una vez obtenidos los datos requeridos, se plasmarán en resultados y en gráficos que permitan la comparación de los conectores y encontrar cuál de ellos es el más factible de utilizar en dependencia de las variables que se ven involucradas.

Tipos de investigación

Para la realización del trabajo expuesto, es necesario utilizar herramientas que permitan una metodología correcta para lograr los resultados propuestos. Dentro de estas herramientas tenemos la investigación aplicada y la investigación experimental.

Investigación Aplicada

Este tipo de investigación permite obtener un cierto valor agregado proveniente de las bases de una investigación. Lo que busca la investigación aplicada es adquirir conocimientos que ayuden a encontrar una utilidad y aporten a la resolución de problemas a favor de la sociedad. Además, la oportunidad de empleo a trabajadores y el estilo de vida de las personas se verán afectadas indirectamente mediante el uso de la investigación aplicada. Es decir, la propuesta que brinda este tipo de investigación es el generar una teoría científica a partir de investigaciones fundamentales.

El proceso de la investigación aplicada se basa en tres principales fases. La primera fase, es la búsqueda de los tipos de aplicaciones que se pueden realizar con la investigación y su capacidad de adaptarse. La segunda fase, es la búsqueda de implementación de la investigación dentro de la sociedad, cubriendo los problemas y satisfaciendo las necesidades por parte de la población. Para culminar, la investigación

aplicada busca la creación de diferentes mecanismos que permitan plasmar el concepto expuesto en algo material (Lozada, 2014).



Figura 2.1. Aplicación real de losas compuestas
Fuente: Constructora Polykret (s.f.).

Investigación experimental

La investigación experimental es de suma importancia, ya que, sirve de apoyo para las fundamentaciones teóricas propuestas en cualquier tipo de investigación. Además, mediante la experimentación, podemos encontrar soluciones a problemas y dar una explicación del motivo que cause las adversidades y los fenómenos que los provoca. Al realizar una investigación experimental, es de suma importancia el conocimiento teórico del tema a tratar para tener una base sólida de conocimientos y aplicarlos para su comprobación práctica. Se le suele atribuir mayor prioridad a los valores teóricos que son basados en estudios empíricos, por lo que un sustento experimental, puede dar una mejor perspectiva del tema abordado (López & Tamayo, 2012).

Si bien, se debe seguir la normativa planteada para la fabricación o construcción de losas compuestas, dentro de la parte práctica de la investigación se pueden encontrar diferentes factores que afecten, las condiciones o las reglas de la normativa. El estudio experimental será aplicado para la realización de 6 probetas con

2 tipos de conectores de cortante diferentes y, posteriormente, probado en una prensa hidráulica que aplicará fuerza cortante y se comprobarán los objetivos planteados.

Muestra

Al realizar una investigación que tiene de por medio el estudio experimental de un tema específico, se debe tener en consideración un número determinado de elementos que van a ser probados para encontrar resultados objetivos después de las pruebas en laboratorio.

En el caso del presente trabajo de titulación, al presentar un análisis de los conectores de cortante en secciones compuestas, se toma una muestra de 3 elementos constructivos con cada conector de cortante. En total, se realizan 6 probetas; 3 de ellas poseen 3 conectores de cortante tipo perno cada una; mientras que, en las otras 3 probetas fueron colocados 3 conectores tipo disparo en cada una.

El hormigón que se coló en las secciones, también tiene que ser probado en laboratorio y, para ello, se tomaron 4 muestras que serán probadas en una prensa hidráulica a compresión para comprobar su resistencia.

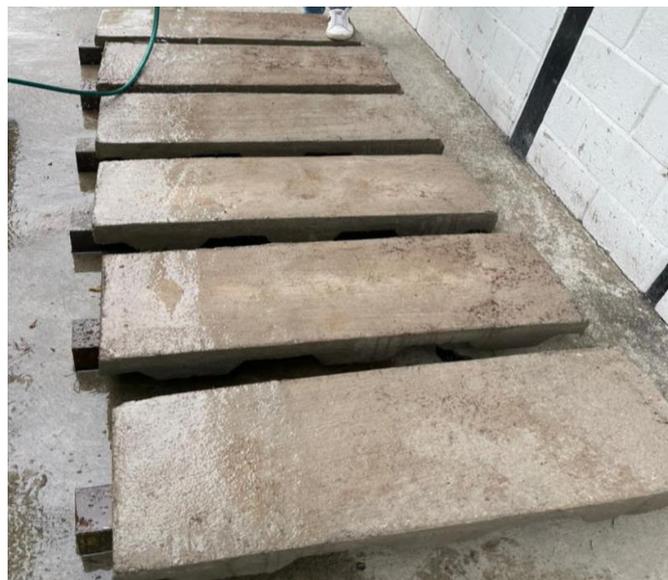


Figura 2.2. Muestra de seis probetas de sección compuesta



Figura 2.3. Muestra de cuatro cilindros de hormigón

Metodología para la elaboración de hormigón

Hoy en día, el hormigón más utilizado en la industria de la construcción al momento de realizar la fundición de una losa es el de resistencia 210 kg/cm²; por ello, fue el seleccionado para la elaboración de nuestros modelos de sección compuesta a escala. Cabe señalar que para obtener este tipo de hormigón fue necesaria la utilización de áridos provenientes del cantón Paute, ubicado en la provincia del Azuay, conocidos por sus muy buenas características y correcto desempeño.



Figura 2.4. Material triturado y arena proveniente del cantón Paute, utilizado para la elaboración de hormigón

El material ligante utilizado fue el cemento hidráulico Atenas tipo Gu (Uso General), óptimo para cualquier construcción. Este material presenta excelentes características de resistencia, durabilidad y calidad, cumpliendo los estándares de la norma NTE INEN2380 (Atenas, 2021).



Figura 2.5. Cemento Hidráulico Atenas. Tipo Gu
Fuente: Atenas, (2021)

Dosificación del hormigón

La dosificación utilizada que aseguró la resistencia deseada fue una relación 1:2:2; es decir, 1 parte de cemento, 2 de arena y 2 de grava.

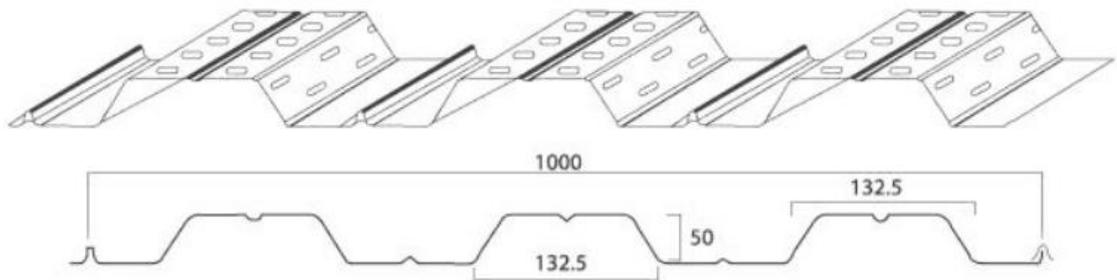


Figura 2.6. Geometría losa deck de DIPAC
Fuente: DIPAC (s.f.)

Para determinar la cantidad exacta de hormigón y, posteriormente, su dosificación al volumen que se necesita para la fundición de las 6 probetas de sección compuesta, se procedió a calcular de la siguiente manera:

$$\text{Area Valle} = \frac{(0.1325 + 0.1925)}{2} * 0.05$$

$$\text{Area Valle} = 0.008125m^2$$

$$\text{Area chapa de compresión} = 1 * (0.12 - 0.05)$$

$$\text{Area chapa de compresión} = 0.07m^2$$

$$\text{Area Transversal Total} = \text{Area chapa} + 3 * \text{Area Valle}$$

$$\text{Area Transversal Total} = 0.07 + 3 * 0.008125$$

$$\text{Area Transversal Total} = 0.07 + 0.024375$$

$$\text{Area Transversal Total} = 0.094375 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen Probetas} = \text{Area Transversal Total} * \text{Profundidad} * \text{N}^\circ \text{ Probetas}$$

$$\text{Volumen Probetas} = 0.094375 \text{ m}^2 * 0.35 \text{ m} * 6$$

$$\text{Volumen Probetas} = 0.1982 \text{ m}^3$$

$$\text{Volumen cilindros} = 3 * (\pi * \text{radio}^2 * h)$$

$$\text{Volumen cilindros} = 3 * (\pi * 0.075^2 * 0.3)$$

$$\text{Volumen cilindros} = 0.016$$

$$\text{Volumen de hormigón} = \% \text{Desperdicios} * (\text{Volumen probetas} + \text{Volumen cilindros})$$

$$\text{Volumen de hormigón} = 1.05 * (0.1982 + 0.016)$$

$$\text{Volumen de hormigón Total} = 0.2249 \text{ m}^3$$

Los valores presentados en la siguiente tabla, son tomados del libro “Costos y presupuestos en edificaciones”, elaborado por CAPECO, con datos referentes a la dosificación por volumen para la elaboración de 1 metro cúbico de hormigón.

Tabla 2. 1. Dosificación al volumen para elaborar 1 m³ de hormigón

$f'c$ (kg/ cm ²)	a/c	Slump (pulgas)	Tamaño agregado (pulgas)	Dosificación en volumen	Materiales por m ³			
					Cemento (bolsas)	Arena (m ³)	Piedra (m ³)	Agua (m ³)
140	0,61	4	¾	1 : 2,5 : 3,5	7,01	0,51	0,64	0,184
175	0,51	3	½	1 : 2,5 : 2,5	8,43	0,54	0,55	0,185
210	0,45	3	½	1 : 2 : 2	9,73	0,52	0,53	0,186
245	0,38	3	½	1 : 1,5 : 1,5	11,50	0,50	0,51	0,187
280	0,38	3	½	1 : 1 : 1,5	13,34	0,45	0,51	0,189

Fuente: Zegarra (2003)

En base a estas proporciones, se procede a realizar un recálculo para este caso en particular, obteniendo la siguiente dosificación:

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Volumen de hormigón} * 9.73}{1} = 2.19$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.52}{1} = 0.117$$

$$\text{grava} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.53}{1} = 0.1192$$

$$\text{agua} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.186}{1} = 0.0418$$

Con la finalidad de tener cierta exactitud al momento de realizar la dosificación en una mezcla de hormigón en campo, se utilizan herramientas como las parihuelas, que son básicamente un cubo de 0.3 x 0.3 x 0.3, con un volumen de 0.027 metros cúbicos. Ayuda a que el personal encargado de elaborar la mezcla pueda colocar la cantidad exacta de cada material de manera más sencilla y entendible. Es por ello que se procedió a calcular el número de parihuelas de cada agregado en base a nuestras necesidades y de igual forma los litros de agua.

$$\text{Cemento} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 9.73}{1} = 2.19 \text{ sacos}$$

$$\text{Arena} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.52}{0.027} = 4.33 \text{ parihuelas}$$

$$\text{grava} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.53}{0.027} = 4.415 \text{ parihuelas}$$

$$\text{agua} = \frac{\text{Volumen de hormigon} * 0.186}{1} * 1000 = 41.8 \text{ litros}$$

Para que el hormigón alcance las mejores características, es de gran importancia mezclar muy bien todos los agregados junto con el cemento y el agua, para tener una mezcla lo más homogénea posible; para ello, se utilizó una concretera.



Figura 2.7. Elaboración de hormigón 210 kg/cm² en obra con el uso de parihuelas y concretera

Toma de muestras para comprobación de resistencia

Con el objetivo de comprobar la resistencia del hormigón elaborado, se procedió a tomar las muestras para someterlas a un ensayo de compresión de probetas cilíndricas, el cual, consiste en determinar la carga axial que resiste un elemento de hormigón en función del área de aplicación de la fuerza.

De acuerdo a la normativa vigente, los cilindros para este tipo de ensayos tienen dimensiones estandarizadas que son 15 cm de radio por 30 cm de altura, lo cuales, serán puestos a prueba a partir de los 28 días desde que se realizó la fundición de los modelos a escala y la toma de muestras. Como se conoce, el hormigón alcanza su resistencia máxima a partir de los 28 días.

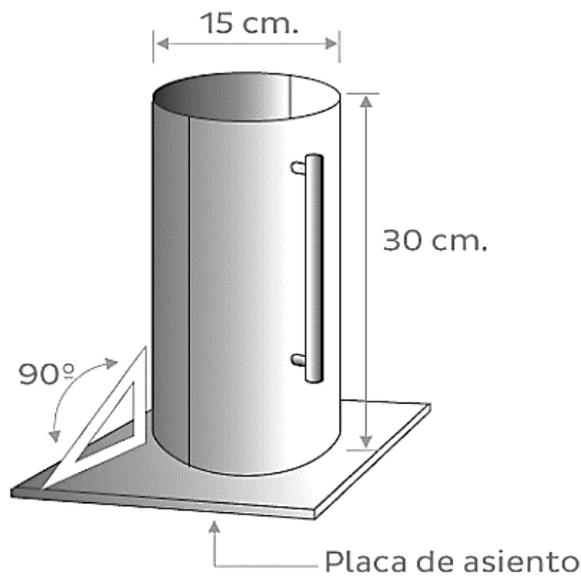


Figura 2.8. Cofre para toma de muestras de hormigón

Fuente: Aceros Arequipa S.A. Corporation (s.f.).

Para el procedimiento de toma de muestras, se vierte el hormigón en capas de 10cm. Cada capa debe ser varillada 25 veces y golpeada 10 veces con un martillo de goma; esto permite tener unas probetas uniformes, evitando presencia de vacíos en su interior. Se debe mencionar que, al momento de varillar cada capa, la varilla no debe sobrepasar más de 1 pulgada entre una capa y otra.

Previo al vertido del hormigón, se debe verificar que los cofres se encuentren correctamente cerrados y engrasados, para que el proceso de desencofrado resulte sencillo y las muestras tengan un buen terminado.

Posterior a la elaboración de los cilindros, se debe dejar fraguar por un tiempo de 24 horas previo a desencofrar, para después curarlos sumergiéndolos totalmente en agua, hasta que llegue el día de ponerlos a prueba.



Varillado de la muestra



Rasado de muestra



Golpes al cofre con martillo



Proceso de curado de las muestras



Muestras del hormigón utilizado en los ensayos de laboratorio

Figura 2.9. Muestras y procedimiento para comprobación la resistencia

Elaboración de probetas utilizando conectores de cortante de disparo X-HVB

Se elaboraron un total de 3 modelos a escala de sección compuesta, en cuyo interior disponen de conectores de cortante X-HVB de disparo. Como se mencionó previamente, esta es una tecnología relativamente nueva implementada por la

corporación Hilti, empresa líder en innovación y desarrollo tecnológico dentro del campo de la construcción.

Cada probeta tiene las dimensiones establecidas inicialmente, 1 metro de longitud distribuidas en 3 crestas y 3 valles donde son instalados los conectores, por 0.035 metros de profundidad. La losa establecida tiene un espesor de 12 cm divididos en 5 cm de valle y 7 cm de chapa de compresión.

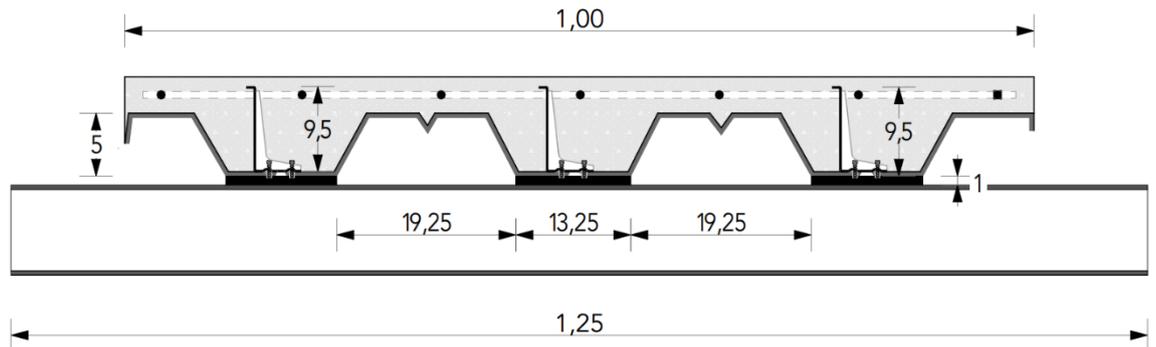


Figura 2.10. Sección longitudinal (plano) de la probeta elaborada utilizando conectores X-HVB

Los conectores de cortante X-HVB se encuentran disponibles en distintas presentaciones y difieren únicamente en sus dimensiones, por lo que la elección del conector más adecuado estará en función del espesor de la losa y las condiciones atmosféricas del sitio de instalación; tal es el caso de los agentes corrosivos presentes en el medioambiente, debido a que los dispositivos son de acero y pueden correr riesgo de presentar procesos de oxidación.

De acuerdo a las recomendaciones proporcionadas por el manual técnico de este tipo de conectores de cortante, para una losa de 12 cm de espesor y un ambiente donde pueden existir agentes corrosivos, se elige el dispositivo X-HVB 95 que tiene las siguientes dimensiones.

Tabla 2. 2. Características del conector de cortante X-HVB 95

Conector	Espesor mínimo losa (cm)	
	Ambiente <i>con</i> riesgo de corrosión	Ambiente <i>sin</i> riesgo de corrosión
X-HVB 95	11.5	9.5

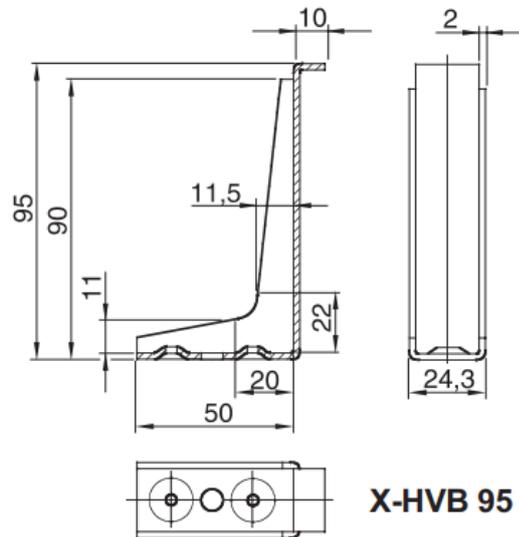


Figura 2.11. Características geométricas (mm) del conector de cortante X-HVB 95, utilizado en el ensayo

De igual manera, se procede a realizar la comprobación del cumplimiento de las condiciones mínimas para el óptimo funcionamiento del dispositivo cortante, que estarán en función de la geometría de la sección compuesta como se menciona en la tabla.

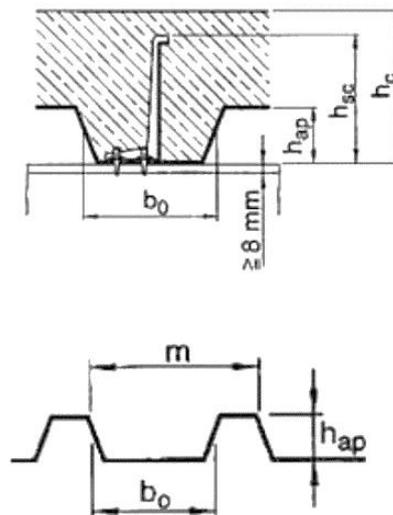


Figura 2.12. Cumplimiento del cortante en función de la geometría de la sección compuesta

$$\frac{b_0}{h_{ap}} = \frac{13.25}{5} = 2.65$$

Relación bo/hap	Altura del conector sobre el nervio hsc - hap
bo/hap > 1.8	hsc - hap > 3.5 cm

$$hsc - hap = 9.5 - 5 = 4.5$$

CUMPLE

Para la instalación se utilizaron Clavos Hilti X-ENP-21 HVB, disparados implementando cartuchos o fulminantes **rojos** debido a que el espesor del material base es de 10 mm, valor máximo permitido para este tipo de fulminante. Además, en la actualidad, los cartuchos de color negro se encuentran escasos por las fuertes restricciones que tienen los controles aduaneros al momento de ingresar al país. La pólvora existente en estos cartuchos puede ser utilizada en la detonación de un arma de fuego artesanal, por lo que resulta un peligro para la seguridad interna del país. En caso de requerir este tipo de fulminante, es necesario pedir autorizaciones para la importación de este producto, demostrando que serán utilizados en una obra en específico.

Las especificaciones de este tipo de conectores indican que, para poder realizar una correcta instalación, es necesario contar con un espesor mínimo de 8 mm en el material base. Es por ello que se vio la necesidad de soldar platinas de 10 mm de grosor en los 3 valles, donde serán colocados los dispositivos ya que la viga utilizada no cumplía con el requisito mínimo.



Proceso de soldadura de platinas de 110 mm sobre la viga de acero



Viga de acero (caja de 3mm) con platinas en la zona de instalación de los conectores de cortante

Figura 2.13. Especificaciones para la instalación de un cortante X-HVB 95

Una vez recolectados los materiales necesarios para el uso de los conectores de cortante X-HVB, se realizó el proceso tradicional de instalación el cual consta de los siguientes pasos:

1. Debido al fuerte impacto que genera la detonación del clavo para fijar los conectores de cortante, es necesario inmovilizar previamente la placa colaborante en la viga de acero. Para ello, se utiliza una pistola de menor calibre, Hilti BX3, la cual, dispara unos pequeños clavos que sirven como anclaje, posicionador e inmovilizador de la losa deck en la viga.



Colocación de anclajes o fijadores previos a la instalación de los conectores X-HVB



Herramienta de fijación a batería Hilti BX3 - ME

Figura 2.14. Fijación previa a la instalación de los conectores X-HVB

2. Instalación de los conectores de cortante **X-HVB 95** con la pistola Hilti DX-76, herramienta clavadora de fijación con pólvora semiautomática; cuenta con un sistema de seguridad que consiste en generar cierta presión que libera un seguro, permitiendo apretar el gatillo y realizar la fijación. Cada dispositivo debe recibir dos clavos, por lo tanto, se requieren 6 clavos y cartuchos por cada probeta, pues, cada una dispone de 3 conectores.



Instalación de los conectores X-HVB 95 con el uso de la pistola DX-76



Pistola Hilti DX-76

Figura 2.15. Instalación de los conectores de cortante X-HVB 95 con la pistola Hilti DX-76

Para la instalación de cada conector Hilti X-HVB se realiza el siguiente subproceso:

- I. Colocar la pistola en la posición 1 para proceder a fijar el primer clavo.
- II. Colocar el clavo en la punta de la pistola, la cual, cuenta con un espacio donde encaja exactamente.
- III. Encajar el conector de cortante X-HVB en el clavo.
- IV. Asentar la pistola en la zona donde serán instalados, con todos los elementos anteriormente mencionados puestos; se recomienda que sean instalados en la zona más central del valle de la placa colaborante.
- V. Insertar el cartucho o fulminante rojo por la parte lateral de la herramienta.
- VI. Generar una presión sobre la pistola DX-76 para liberar el seguro y poder apretar el gatillo para generar la detonación.
- VII. Colocar la pistola en la posición 2 para proceder a fijar el segundo clavo.
- VIII. Colocar el clavo en la punta de la pistola.
- IX. Ejecutar el disparo.

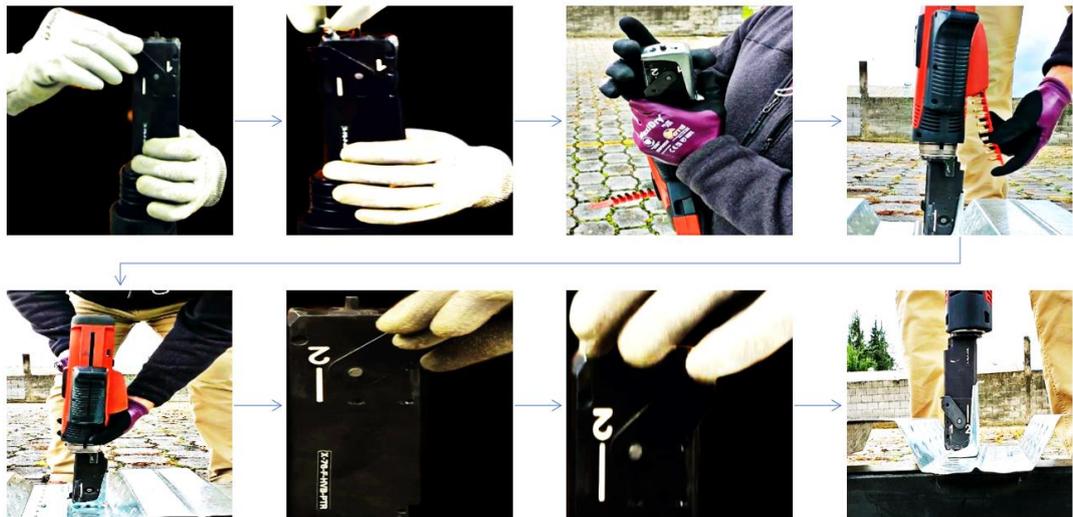


Figura 2.16. Diagrama del proceso de instalación de cada conector de cortante X-HVB

3. Finalmente, se procede a colocar una malla electro soldada, cuyas dimensiones son de 95 cm x 30 cm y se encofra la probeta para poder fundirla.



Figura 2.17. Colocación de malla electrosoldada y encofrado de las probetas

4. Se realiza la fundición de la losa, siguiendo las dosificaciones y procedimientos explicados en la metodología referente a las mezclas de hormigón. Para tener un acabado uniforme, después de verter el hormigón en cada cofre; se procede a paletear y codalear las muestras para tener un mismo nivel en toda la superficie. Además, se escobilla el hormigón para que la textura y terminado sea el mejor e igual en todas las probetas.



Figura 2.18. Proceso de fundición de los modelos a escala de una sección compuesta que utiliza conectores de cortante X-HVB

Elaboración de probetas utilizando conectores de cortante tipo *Nelson Stud*

De igual manera, se elaboraron tres ejemplares, en cuyo interior cuentan con conectores de cortante tipo *Nelson Stud* o perno. Este tipo de dispositivo es uno de los más utilizados en la industria constructiva, ya que son una de las primeras tecnologías referentes a elementos que transmitan esfuerzos cortantes desde la losa hacia la estructura de una construcción.

Las dimensiones de los modelos a escala son los mismos mencionados para que todos los ejemplares puedan ser comparables unos con otros, tal como se muestra a continuación.

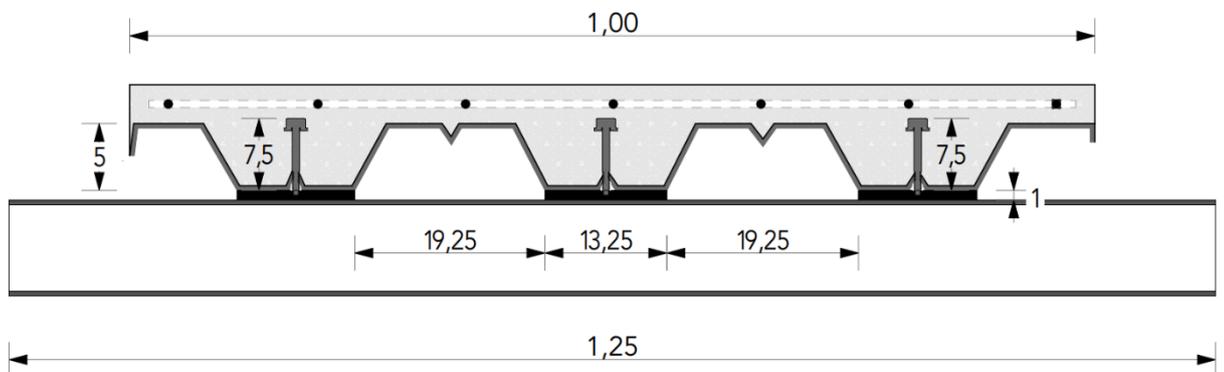


Figura 2.19. Sección longitudinal (plano) de la probeta elaborada utilizando conectores de cortante *Nelson Stud*.

En Ecuador, pocas son las empresas disponibles al momento de requerir la instalación de este tipo de conector. Para esta ocasión, la empresa BA, conectores Stud del Ecuador, nos proporcionó dichos elementos que fueron instalados de la manera tradicional a base de las condiciones constructivas y tecnologías que se implementan en una construcción dentro de nuestro país; es decir, utilizando suelda manual, a pesar de que actualmente, la instalación se desarrolla de manera más tecnológica y eficiente mediante una pistola automática, similar a los dispositivos X-HVB. Para este estudio se utilizaron los conectores de 32 mm de diámetro superior y 16 mm de diámetro inferior.

De acuerdo a la hoja técnica proporcionada, los dispositivos presentan las siguientes características geométricas, mecánicas y propiedades del material:

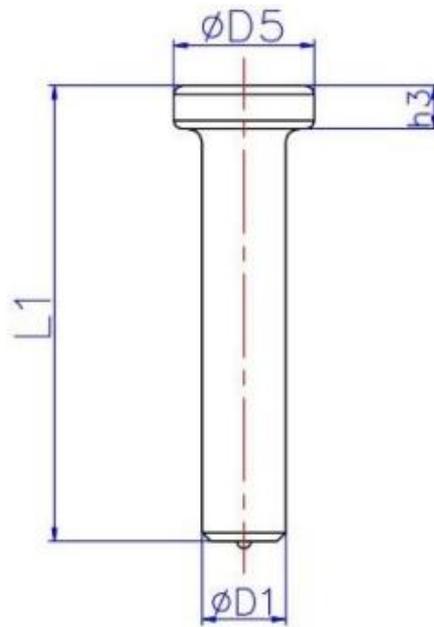


Figura 2.20. Conector de cortante tipo Stud. Marca BA

Tabla 2. 3. Características del conector de cortante X-HVB 95

D1	L1	D5	H3	Peso (Kg/pieza)
13	100	25	8	0,12
16	75	32	8	0,19
19	100	32	10	0,259
22	100	35	10	0,339
25	100	41	12	0,461

Tabla 2. 4. Propiedades mecánicas y del material

Grado del material	SWECH18A
Resistencia mínima a tracción	450 Mpa
Límite Elastico	350 Mpa
Alargamiento mínimo	15%
Reducción del Area mínima	50%

De igual manera, se implementaron platinas de 10 mm de espesor en el lugar donde serán instalados los conectores de cortante; si bien, para este tipo de ejemplares no es necesario un espesor mínimo para poder realizar la soldadura, se necesita que todas las muestras sean iguales para que puedan ser comparables.



Figura 2.21. Implementación de platinas de 10mm de espesor en la zona de instalación de los conectores cortantes

Para la instalación de los conectores se procedió a realizar una pequeña perforación en la placa colaborante con el objetivo de generar correctamente la unión entre el dispositivo cortante con la viga de acero.



Figura 2.22. Perforación en la losa deck para instalar los conectores de cortante

Posteriormente, se realiza el enlace utilizando soldadura MIG, también conocida como soldadura de arco metálico con gas. Consiste en generar un arco formado por un electrodo consumible de hilo que se encuentra en el interior de la pistola de suelda y las pizas que se van a unir. El arco y la suelda se encuentran cubiertos y protegidos por un gas inerte, generalmente argón, junto con dióxido de carbono, lo que permite tener un mejor acabado, menor cantidad de vacíos en el interior de la soldadura, mayor eficiencia y productividad. Para nuestro estudio se utilizó alambre MIG 70 S-6 de la marca Indura. La calidad de la suelda fue realizada y comprobada bajo la norma ASW D1.1

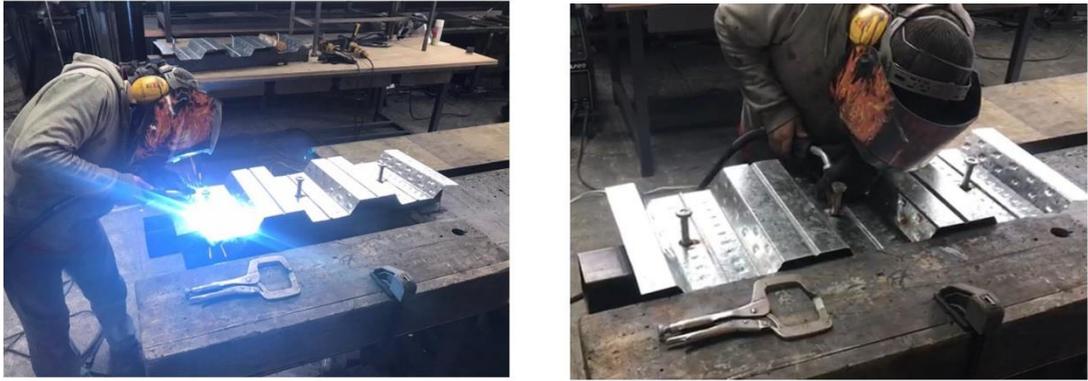


Figura 2.23. Proceso de soldadura de los conectores de cortante tipo Stud o perno en la viga con platinas.

Finalmente, se procede a colocar malla electro soldada de 95 cm x 30 cm y se encofra la probeta para poder fundirla con hormigón de 210 kg/cm², elaborado tal como se menciona en la metodología referente a las mezclas de hormigón. Para mejorar el terminado de las probetas, se procede a codalear para proporcionarles un mismo nivel; posteriormente, son paleteadas y, por último, escobilladas.



Figura 2.24. Colocación de malla electrosoldada y encofrado de las probetas



Figura 2.25. Proceso de fundición de los modelos a escala de una sección compuesta que utiliza conectores de cortante tipo Stud o Perno

Metodología para la ejecución de pruebas de resistencia de la sección compuesta

La prueba referente a la resistencia de las probetas de sección compuesta fue realizada con el uso de una prensa hidráulica que normalmente proporciona esfuerzos de compresión. Por tal motivo, fue necesario diseñar un marco metálico que permita posicionar de una manera tal, que los esfuerzos de compresión se conviertan en esfuerzos cortantes al momento de ser aplicados en los modelos a escala.



Figura 2.26. Prensa hidráulica de la Universidad del Azuay

El marco fue elaborado con perfiles de acero de 3mm de espesor, en secciones de 100mm x 50mm, que se ancló a la prensa hidráulica en la parte inferior, mediante tornillos insertados en una platina de 15mm de espesor, la cual, contaba con las perforaciones necesarias que coincidían con las existentes en la máquina. Además, se realizaron dos anclajes en la parte superior para evitar fenómenos de volcamiento.

El marco es de forma rectangular, con un acople en el centro en donde encaja de manera perfecta las vigas de las probetas a analizarse. Estas quedarán posicionadas

para que el punto de contacto entre el gato hidráulico de la prensa y los modelos a escala sea en la parte lateral; de esta forma, se generaran los esfuerzos cortantes en la sección compuesta.



Figura 2.27. Marco de acero acoplado en la prensa hidráulica para ejecutar el ensayo de esfuerzos cortantes

Es de suma importancia para la correcta ejecución del ensayo, que la fuerza cortante sea aplicada uniformemente en los 3 valles de la sección compuesta, por lo que para poder distribuir la fuerza generada por el gato hidráulico de la prensa a toda la sección transversal de las probetas se diseñó un rectángulo de acero, que fue instalado mediante una platina y tornillos.



Figura 2.28. Rectángulo de acero usado como punto de apoyo

Para el procedimiento de montaje y desmontaje de las probetas, es necesario el uso de una grúa debido al gran peso que tienen los modelos a ensayarse. Esto permitirá que el trabajo sea ejecutado de manera rápida y, sobre todo, segura.



Figura 2.29. Colocación de las probetas en el marco de la prensa con el uso de una grúa

Metodología tiempo de instalación

El tiempo de instalación es de vital importancia al momento de la ejecución de una obra civil, ya que va a depender de la duración en la que se realice un trabajo, el aumento o reducción de los costos totales de la construcción. Para obtener un menor tiempo en la instalación o en la realización de algún trabajo, se necesitarán herramientas que ayuden al aumento en la velocidad de ejecución. Si bien, el costo de las herramientas para un método que incremente la velocidad de la instalación es mayor a las herramientas usadas de manera tradicional, a largo plazo o al tener un espacio con áreas bastante grandes, estas herramientas favorecerán a la construcción de la obra civil.

Al realizar la colocación de los tipos de conectores de disparo y perno, se medirá el tiempo en el que cada uno de ellos pueda ser instalado. La medición se la obtendrá cronometrando el tiempo en el que dure la colocación de los conectores tipo perno y X-HVB, y uniendo la placa colaborante con el perfil de acero que posean las mismas dimensiones para los dos tipos de conectores. Los conectores X-HVB serán disparados mediante una pistola y se cronometrará el tiempo que tarda en colocar los cartuchos y los conectores dentro de la pistola y, posteriormente, el disparo de tres conectores que serán utilizados para unir la superficie metálica con la viga. Por su

parte, los conectores tipo perno serán cronometrados desde el momento en el que se empiece la soldadura de la viga de acero, placa colaborante y el perno que los unirá.



Instalación de conectores de cortante tipo perno

Instalación de conectores de cortante tipo disparo

Figura 2.30. Instalación de los tipos de conectores de perno y de disparo

Metodología de Análisis de precios unitarios

Para obtener el costo referencial de la conexión de la placa colaborante y la viga de acero utilizando los dos diferentes tipos de conectores tipo disparo y perno, se realizará un análisis de precios unitarios, en donde, se especificará el costo total de la implementación de la sección compuesta, desglosando cada elemento que permiten la construcción del elemento. Dentro del análisis de precios unitarios se presentarán los costos por los materiales, la mano de obra, el transporte y los equipos utilizados. Mediante el tiempo de instalación obtenido, a través de cronometrar la instalación de los conectores, se hará una referencia de la reducción o aumento de costo, dependiendo el conector de cortante que se vaya a utilizar.

Una vez obtenidos los precios de cada rubro perteneciente al proceso de instalación de los conectores de cortante, se realizará un presupuesto total del proceso; en el cual, se expondrá el valor total de la sección. Para lograr la comparación en términos monetarios de los conectores de cortante, se tomará como referencia una dimensión específica para las probetas realizadas, utilizando la misma cantidad de conectores y en condiciones similares.



Figura 2.31. Sección con conectores tipo perno



Figura 2.32. Sección con conectores tipo disparo

Normativa a Utilizar

Para la realización de investigaciones en donde interviene la parte práctica, se deben considerar las normas y recomendaciones que proponen varias entidades. En este caso, se tomará en consideración la normativa en donde se encuentre información acerca de la elaboración de secciones compuestas. Además de la utilización de las especificaciones de los elementos que componen a la losa y su funcionamiento.

Para las especificaciones de los conectores tipo perno y su influencia en la unión de la viga de acero con la placa colaborante se utilizó la normativa ASW D1.1. Esta normativa brinda especificaciones técnicas que deben poseer los conectores, una vez que han sido probados y validados por el propietario del diseño de los conectores. Además, brinda información sobre la soldadura de los anclajes.

Tabla 2. 5. Propiedades mecánicas requeridas para Studs

Table 9.1 Mechanical Property Requirements for Studs (see 9.3.1)				
		Type A ^a	Type B ^b	Type C ^c
Tensile Strength	Psi min.	61 000	65 000	80 000
	MPa min.	420	420	552
Yield Strength (0.2% offset)	Psi min.	49 000	51 000	—
	MPa min.	340	350	—
(0.5% offset)	Psi min.	—	—	70 000
	MPa min.	—	—	485
Elongation	% in 2 in. min.	17%	20%	—
	% in 5x dia. min.	14%	15%	—
Reduction of area	% min.	50%	50%	—

Fuente: American Welding Society (2020)

Tabla 2. 6. Tamaño mínimo de soldadura para montantes

Table 9.2 Minimum Fillet Weld Size for Studs (see 9.5.5.6)				
(Dimensions in Inches)				
Stud Diameter	1/4 thru 7/16	1/2	5/8, 3/4, 7/8	1
Min. Size Fillet	3/16	1/4	5/16	3/8
(Dimensions in Millimeters)				
Stud Diameter	6 thru 11	12	16, 20, 22	25
Min. Size Fillet	5	6	8	10

Fuente: American Welding Society (2020)

Para los conectores tipo disparo, se utilizan las especificaciones propuestas por la empresa HILTI que produce los conectores X-HVB. La empresa provee manuales que permiten adquirir información sobre varias características de los conectores y cómo se debe realizar su correcta instalación.

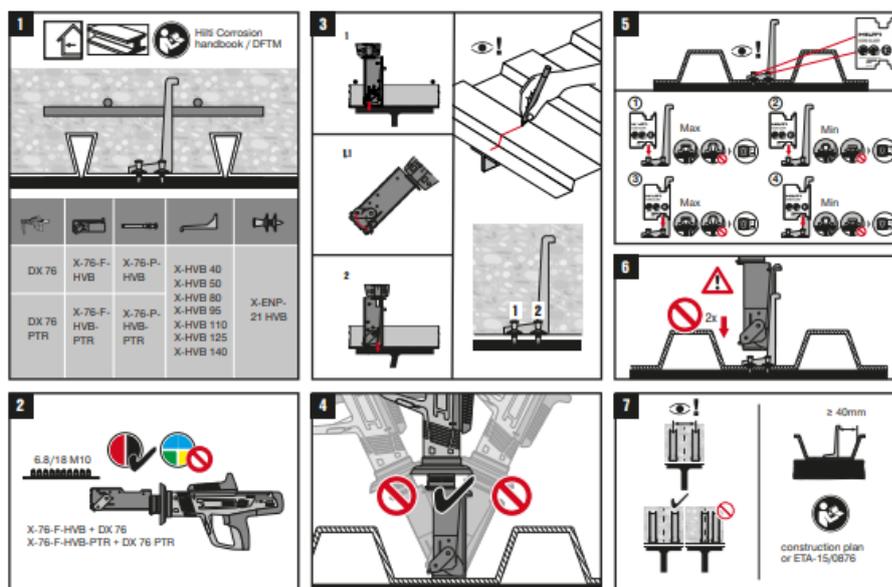


Figura 2.33. Proceso de instalación de conectores de cortante

Fuente: Hilti (2021).

Para el manejo del hormigón y su resistencia, se utilizará la norma NTE INEN. Esta norma servirá como una guía para los ensayos de resistencia del hormigón por medio de cilindros. Además, servirán como soporte para la determinación de la preparación, resistencia y curado del hormigón las normas ASTM C31, ASTM C192, ASTM C617, ASTM C42 Y ASTM C873.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción para construcciones sismo-resistentes, propone que como mínima resistencia del hormigón a esfuerzos de compresión de 21 MPa. Para la elaboración de las probetas de la sección compuesta, se utilizó de igual manera la norma ecuatoriana de la construcción; en este caso, con temas relacionados a estructuras de hormigón armado. Dentro de la normativa se encuentra información de las fuerzas cortantes que debe resistir los conectores en referencia de la ASTM A 1044M.

Además de la normativa para el uso del hormigón y su resistencia, existen otros elementos dentro de la sección compuesta. La placa colaborante, la malla electro soldada y la viga de acero también poseen propiedades y reglamentos para ser utilizados. La viga de acero tiene que seguir con las consideraciones de las secciones del AISC referente a los perfiles de acero. Por su parte, la placa metálica fue adquirida de una empresa productora de insumos para la construcción.

La empresa presenta una serie de especificaciones de la placa colaborante y maneras más eficientes y seguras de colocarlas. La malla electrosoldada, de igual manera, se debe colocar de acuerdo a las especificaciones que se brinda por parte de la empresa que previamente se guiaron de normativas con trabajo en acero para promocionar sus productos en el mercado.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS

Resultados de resistencia probetas con conectores Hilti

Ensayo Número 1

Características previas al ensayo

- Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm
- Hormigón: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud.
- 3 conectores de cortante tipo X-HVB.
- 6 clavos Hilti X-ENP- 21 HVB.
- Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.1. Probeta número 1 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada

Tabla 3.1. Resistencia alcanzada. Probeta número 1 X-HVB

Tipo de Conector	Hilti X-HVB
Número de muestra	1
Resistencia última	102.91 KN



Figura 3.2. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 1 X-HVB

Mecanismo de Falla

Después de aplicar una fuerza progresiva en la parte lateral del modelo a escala estudiado, se empezaron a presentar agrietamientos en el hormigón de la sección compuesta; posteriormente, se generó un desprendimiento del hormigón de la placa colaborante hasta que, finalmente, falló el anclaje de uno de los conectores de cortante, dando por terminada la investigación experimental número 1.



Agrietamiento en el hormigón de la probeta número 1 Desprendimiento del hormigón de la placa colaborante
Figura 3.3. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 1 X-HVB

Ensayo Número 2

Características previas al ensayo
<ul style="list-style-type: none"> • Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm • Hormigón: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$. • Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$. • Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud. • 3 conectores de cortante tipo X-HVB. • 6 clavos Hilti X-ENP- 21 HVB. • Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.4. Probeta número 2 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada

Tabla 3.2. Resistencia alcanzada. Probeta número 2 X-HVB

Tipo de Conector	Hilti X-HVB
Número de muestra	2
Resistencia última	88.12 KN



Figura 3.5. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 2 X-HVB

Mecanismo de Falla

Al aplicar la carga progresiva se presentaron agrietamientos en el hormigón de la probeta; posteriormente, se generó un desprendimiento del hormigón de la placa colaborante, debilitando la sección compuesta, dando así por terminada la investigación experimental número 2.

En esta muestra se pudo evidenciar una grieta de gran tamaño que seguía la dirección de donde se encontraba instalado el conector de cortante, lo cual, se produjo debido al aplastamiento generado sobre el hormigón al momento de resistir el esfuerzo cortante.



Agrietamiento en el hormigón de la probeta número 2



Desprendimiento del hormigón de la placa colaborante



Grieta generada por aplastamiento del conector de cortante sobre el hormigón

Figura 3.6. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 2 X-HVB

Ensayo Número 3

Características previas al ensayo

- Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm
- Hormigón: $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud.
- 3 conectores de cortante tipo X-HVB.
- 6 clavos Hilti X-ENP- 21 HVB.
- Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.7. Probeta número 3 dispuesta con conectores Hilti X-HVB previa a ser ensayada

Tabla 3.3. Resistencia alcanzada. Probeta número 3 X-HVB

Tipo de Conector	Hilti X-HVB
Número de muestra	3
Resistencia última	81.65 KN



Figura 3.8. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Probeta número 3 X-HVB

Mecanismo de Falla

La carga aplicada primeramente generó agrietamientos en el hormigón de la probeta y luego provocó un desprendimiento del hormigón de la losa deck hasta el punto de la pérdida de resistencia de la sección compuesta, dando así por terminada la investigación experimental número 3.



Agrietamiento presentado en el hormigón de la probeta número 3



Desprendimiento del hormigón de la placa colaborante

Figura 3.9. Mecanismos de falla. Investigación del experimento número 3 X-HVB

Análisis de datos obtenidos en el ensayo con probetas Hilti X-HVB

Tabla 3.4. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Hilti X-HVB

Conectores de cortante X-HVB	
Número de Muestra	Resistencia
1	102,91
2	88,12
3	81,65
PROMEDIO	90,89

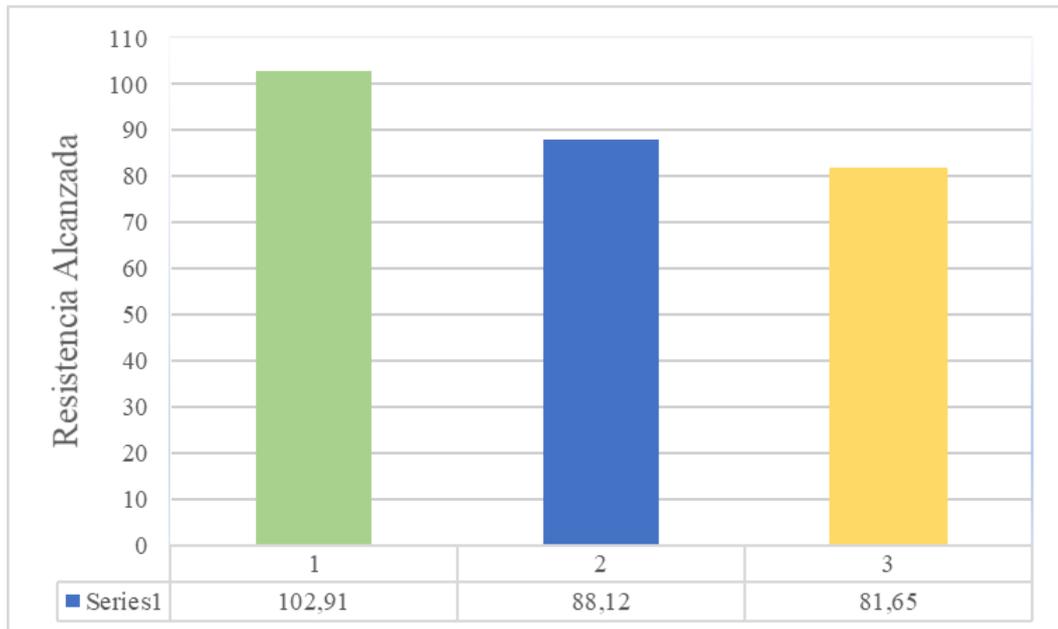


Gráfico 3.1. Fuerza máxima que resistió cada muestra Hilti X-HVB en KN

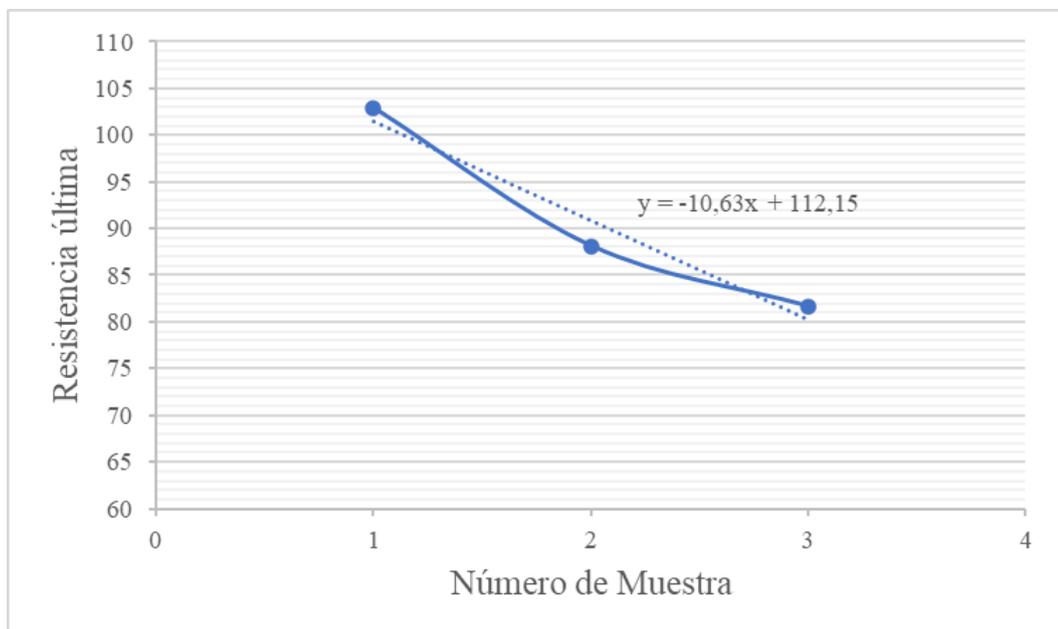


Gráfico 3.2. Ecuación de la recta promedio de resistencia de las 3 muestras Hilti X-HVB analizadas

Resultados de resistencia probetas con conectores Nelson Stud

Ensayo Número 1

Características previas al ensayo

- Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm
- Hormigón: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud.
- 3 conectores de cortante tipo Nelson Stud o perno marca BA.
- Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.10. Probeta número 1 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA previa a ser ensayada

Tabla 3.5. Resistencia alcanzada. Ensayo 1. Conector Nelson Stud BA (perno)

Tipo de Conector	Nelson Stud BA (Perno)
Número de muestra	1
Resistencia última	38.62 KN



Figura 3.11. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo. Ensayo número 1 Nelson Stud

Mecanismo de Falla

Posterior a ser aplicado el esfuerzo cortante se puede evidenciar que la falla presentada en el modelo a escala de sección compuesta se produce por la soldadura realizada, que generó el desprendimiento de 2 de sus 3 puntos de fijación, ocasionando la pérdida de capacidad de carga y, por ende, dando por finalizada la investigación experimental número 1 referente a conectores de cortante tipo Stud o perno.



Falla de la soldadura realizada entre la viga y los conectores de cortante, generando el desprendimiento parcial de la losa de la viga

Figura 3.12. Mecanismos de falla una vez finalizado el ensayo número 1 Nelson Stud

Ensayo Número 2

Características previas al ensayo

- Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm
- Hormigón: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud.
- 3 conectores de cortante tipo Nelson Stud o perno marca BA.
- Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.13. Probeta número 2 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA o perno previa a ser ensayada

Tabla 3.6. Resistencia alcanzada. Ensayo 2. Conector Nelson Stud BA (perno)

Tipo de Conector	Nelson Stud BA (Perno)
Número de muestra	2
Resistencia última	46.24 KN



Figura 3.14. Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo número 2 Nelson Stud

Mecanismo de Falla

Al ejercer el esfuerzo sobre la parte lateral de la probeta se puede evidenciar la falla total de los tres puntos de instalación de los conectores de cortante en la viga. La losa de hormigón se desprende completamente; es decir, el elemento falla, principalmente, por la resistencia de la suelda.



Falla de la soldadura, provocando desprendimiento total de la losa de la viga

Figura 3.15. Mecanismo de falla una vez finalizado el ensayo número 2 Nelson Stud

Ensayo Número 3

Características previas al ensayo

- Losa: 35cm x 100cm, espesor 12cm
- Hormigón: $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Malla electrosoldada: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Viga de caja metálica 100mm x 100mm, 3mm de espesor, y 125 cm de longitud.
- 3 conectores de cortante tipo Nelson Stud o perno marca BA.
- Placa colaborante de acero galvanizado $f_y = 2600 \text{ kg/cm}^2$, espesor de 0.75mm.



Figura 3.16. Probeta número 3 dispuesta con conectores tipo Nelson Stud BA o perno previa a ser ensayada

Tabla 3.7. Resistencia alcanzada. Ensayo 3. Conector Nelson Stud BA (perno)

Tipo de Conector	Nelson Stud BA (Perno)
Número de muestra	3
Resistencia última	40.79 KN

**Figura 3.17.** Resultado de resistencia última alcanzado en la prensa hidráulica una vez finalizado el ensayo número 3 Nelson Stud

Mecanismo de Falla

La resistencia de la suelda aplicada para el anclaje de los dispositivos transmisores de esfuerzos cortantes, genera el fallo de la sección compuesta debido al desprendimiento en su totalidad de la losa de hormigón, al estar sometida a la fuerza progresiva aplicada por la prensa hidráulica. La falla se produce en los tres puntos de instalación.

**Figura 3.18.** Punto de instalación del conector de cortante tipo Nelson Stud o perno en donde falló la sección compuesta ante fuerzas cortantes. Ensayo 3 Nelson Stud



Figura 3.19. Losa desprendida de la viga debido a la falla de la soldadura en los puntos de anclaje. Ensayo 3 Nelson Stud

Análisis de datos obtenidos en el ensayo con probetas Nelson Stud o perno

Tabla 3.8. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Nelson Stud o perno

Conectores de cortante Stud o Perno	
<i>Número de Muestra</i>	<i>Resistencia</i>
1	38,62
2	46,24
3	40,79
PROMEDIO	41,88

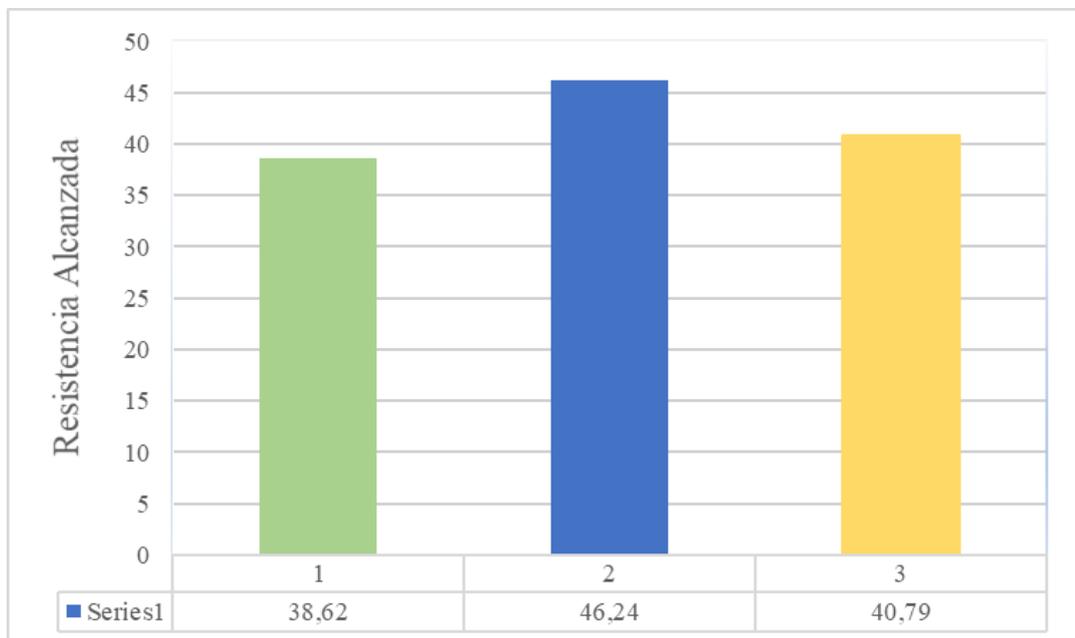


Gráfico 3.3. Fuerza máxima que resistió cada muestra Nelson Stud o perno en KN

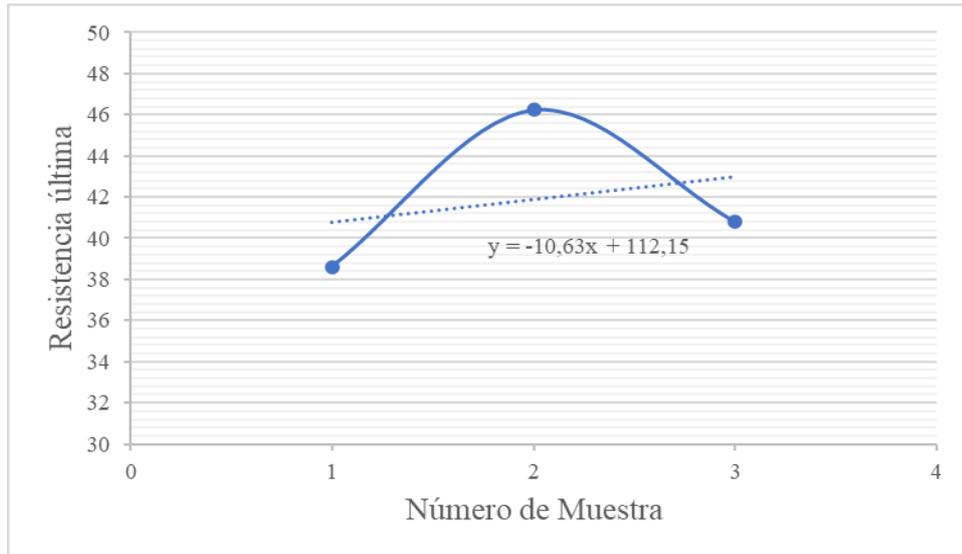


Gráfico 3.4. Ecuación de la recta promedio de resistencia de las 3 muestras Nelson stud analizadas

Análisis comparativo entre resultados de probetas Hilti X-HVB y probetas Nelson Stud o perno

Tabla 3.9. Resistencias últimas alcanzadas en el ensayo de laboratorio para las probetas elaboradas con conectores Nelson Stud o perno

Conectores de cortante	Stud o Perno	Hilti X-HVB
<i>Número de Muestra</i>	<i>Resistencia</i>	
1	38,62	102,91
2	46,24	88,12
3	40,79	81,65
PROMEDIO	41,88	90,89

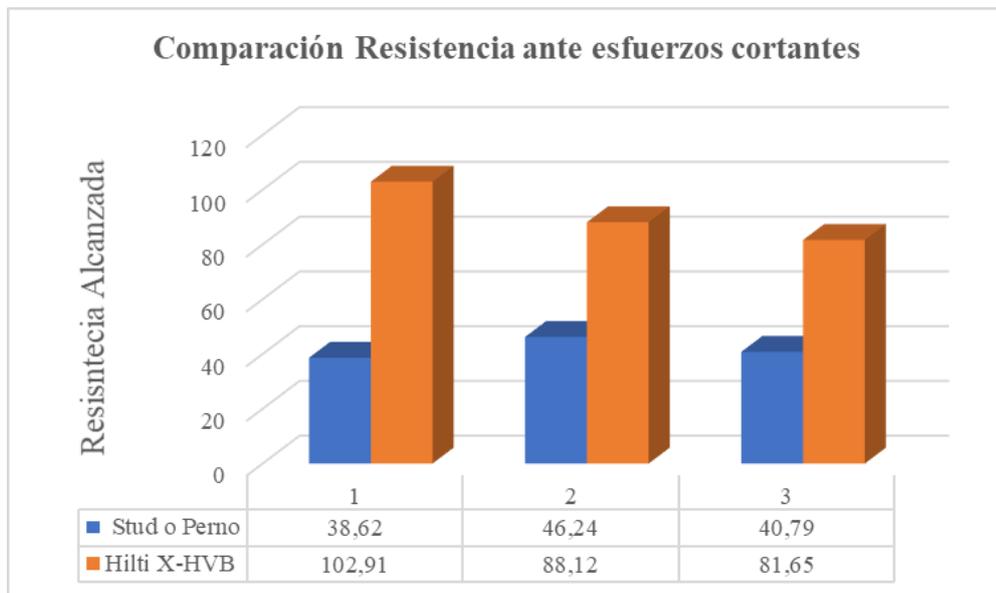


Gráfico 3.5. Comparación de fuerza máxima que resistió cada muestra en KN

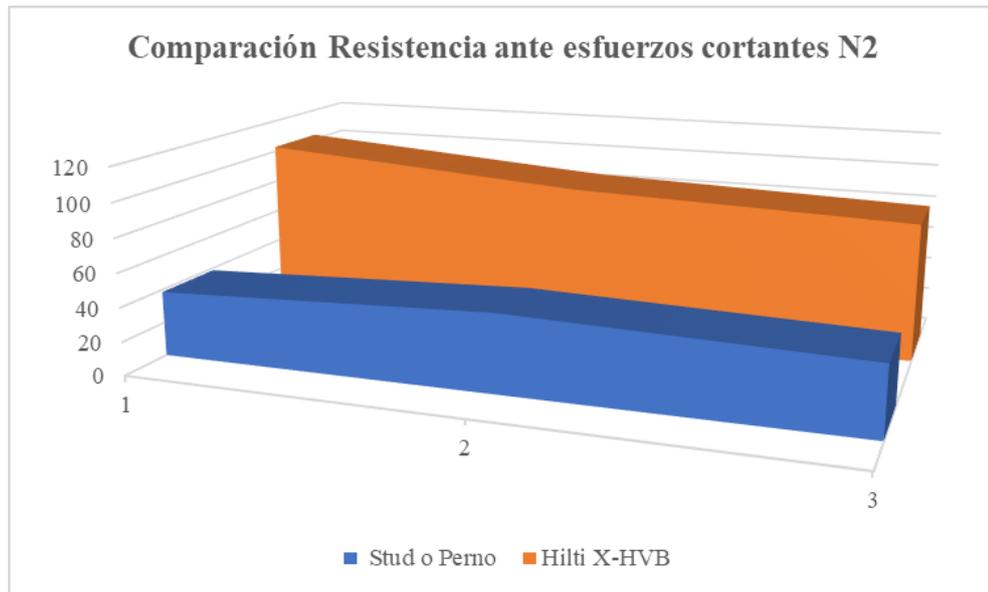


Gráfico 3.6. Comparación de la ecuación de la recta promedio de resistencia de las 6 muestras analizadas

Resultados de tiempo de instalación

A través de la metodología implementada para la medición del tiempo que se emplea para la instalación de los dos tipos de conectores de cortante tipo disparo y tipo perno, se obtuvieron los siguientes datos:

- Tiempo de instalación de los conectores tipo perno

Tabla 3.10. Tiempo de instalación de conectores de cortante tipo perno

Tiempo de instalación de conectores tipo perno		
Número de probeta	Tiempo (Segundos)	Tiempo (Minutos)
Primera	770	12,8
Segunda	729	12,2
Tercera	716	11,9
Tiempo Promedio	738,3	12,3
Tiempo de instalación de cada conector	246,1	4,1

- Tiempo de instalación de los conectores tipo disparo

Tabla 3.11. Tiempo de instalación de conectores de cortante tipo disparo

Tiempo de instalación de conectores tipo disparo X-HVB		
Número de probeta	Tiempo (Segundos)	Tiempo (Minutos)
Primera	153	2,6
Segunda	129	2,2
Tercera	141	2,4
Tiempo Promedio	141	2,35
Tiempo de instalación de cada conector	47	0,7833

Una vez realizado el promedio de los tiempos en los que tarda la instalación de los conectores en las tres diferentes probetas realizadas con tres de ellos en cada una, se detalla el resumen y comparación entre los dos tipos de conectores en la siguiente ilustración:

Tabla 3.12. Resumen de los tipos de instalación de los dos tipos de conectores

Resultados		
Tipo de Conector	Tiempo (Segundos)	Tiempo (Minutos)
Tiempo de instalación de conectores tipo perno	246,1	4,1
Tiempo de instalación de conectores tipo disparo X-HVB	47	0,7833

Mediante la tabla resumen obtenida con los tiempos de instalación y por medio de realizar una relación entre la duración promedio de colocación de los conectores, se obtiene el siguiente resultado:

Tabla 3.13. Relación de los tiempos de instalación de los dos tipos de conectores

Relación de Tiempos	5,2
---------------------	-----

La metodología utilizada para la medición del tiempo en el que se implementan los conectores, permite obtener como resultado 5.2 de relación entre el conector tipo

perno y el conector tipo disparo; lo que quiere decir que el conector X-HVB se instala 5,2 veces más rápido que el conector tipo perno.

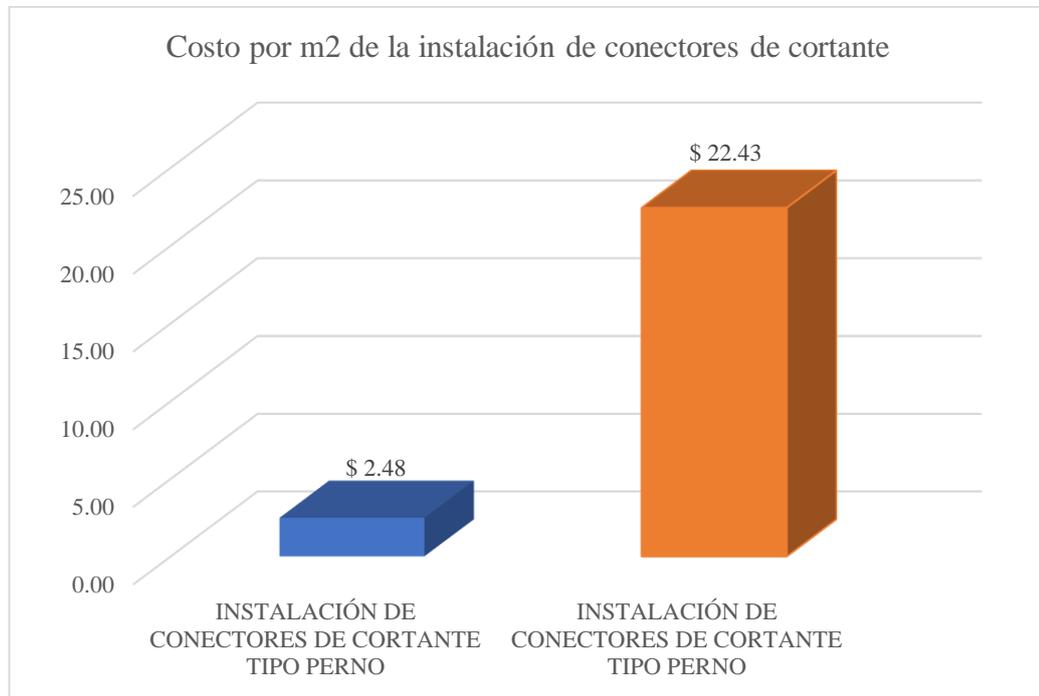


Gráfico 3.7. Costo de Instalación de conectores por cada m2

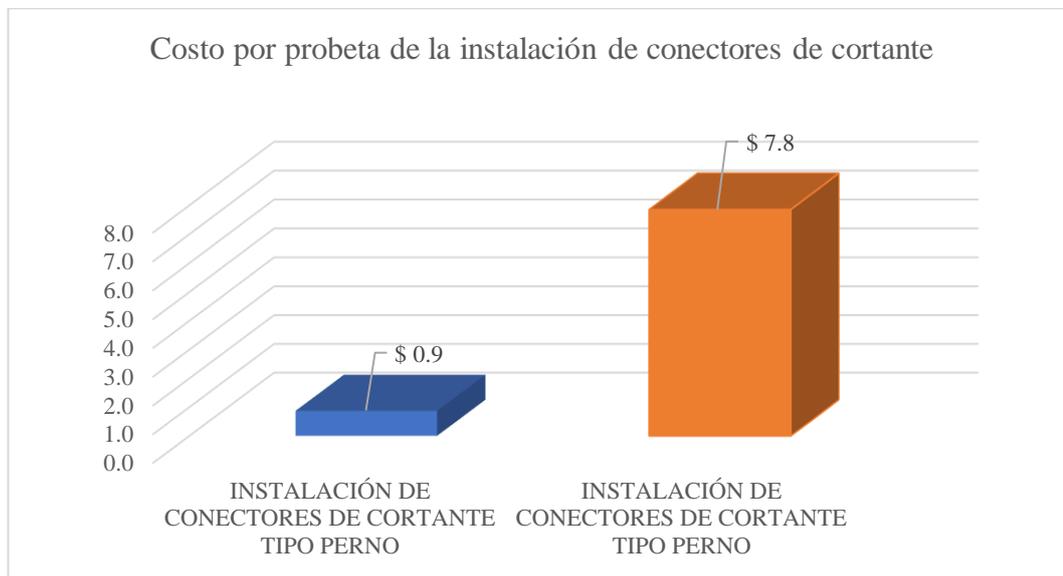
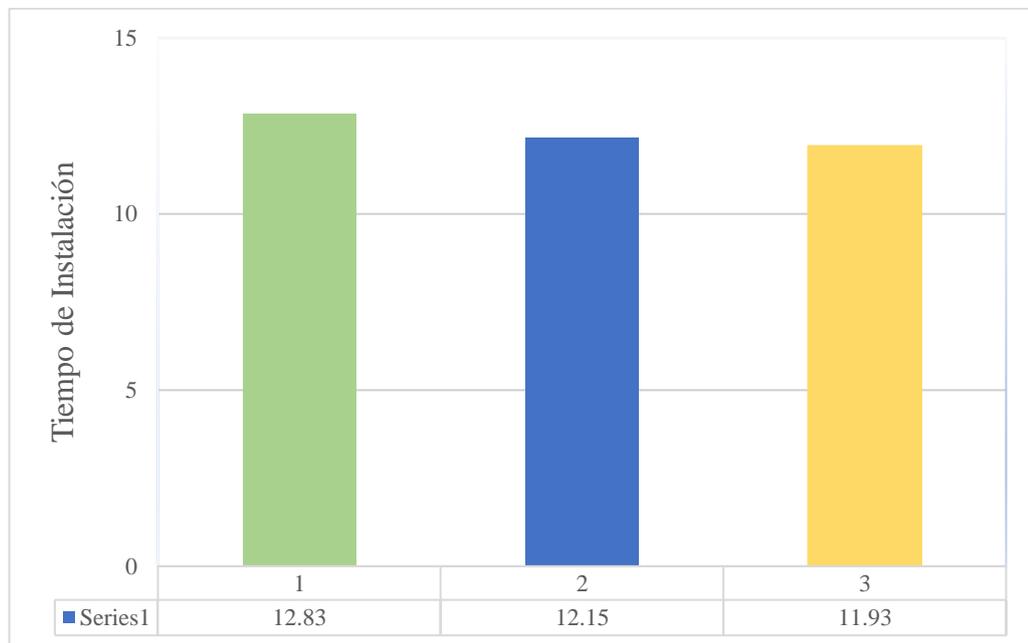


Gráfico 3.8. Costo de Instalación de conectores por cada probeta

Tabla 3.14. *Tiempos de instalación de conectores tipo perno por m2*

Conectores de cortante Stud o Perno	
Número de Muestra	Tiempo(Minutos)
1	12,83
2	12,15
3	11,93
PROMEDIO	12,30

**Gráfico 3.9.** *Tiempo de instalación de conectores tipo perno de cada probeta***Tabla 3.15.** *Tiempos de instalación de conectores Hilti X-HVB*

Conectores de cortante Hilti X-HVB	
Número de	Tiempo(Minutos)
1	2,55
2	2,15
3	2,35
PROMEDIO	2,35

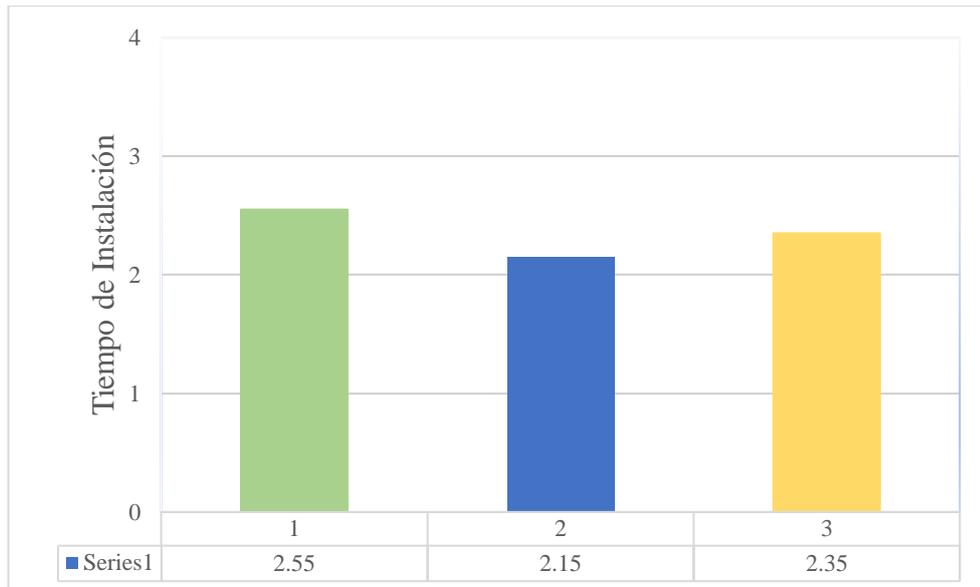


Gráfico 3.10. Tiempo de instalación de conectores Hilti X-HVB de cada probeta

Tabla 3.16. Comparación de tiempos de instalación de conectores

Conectores de cortante	Stud o Perno	Hilti X-HVB
Número de Muestra	Tiempo(Minutos)	
1	12,83	2,55
2	12,15	2,15
3	11,93	2,35
PROMEDIO	12,30	2,35

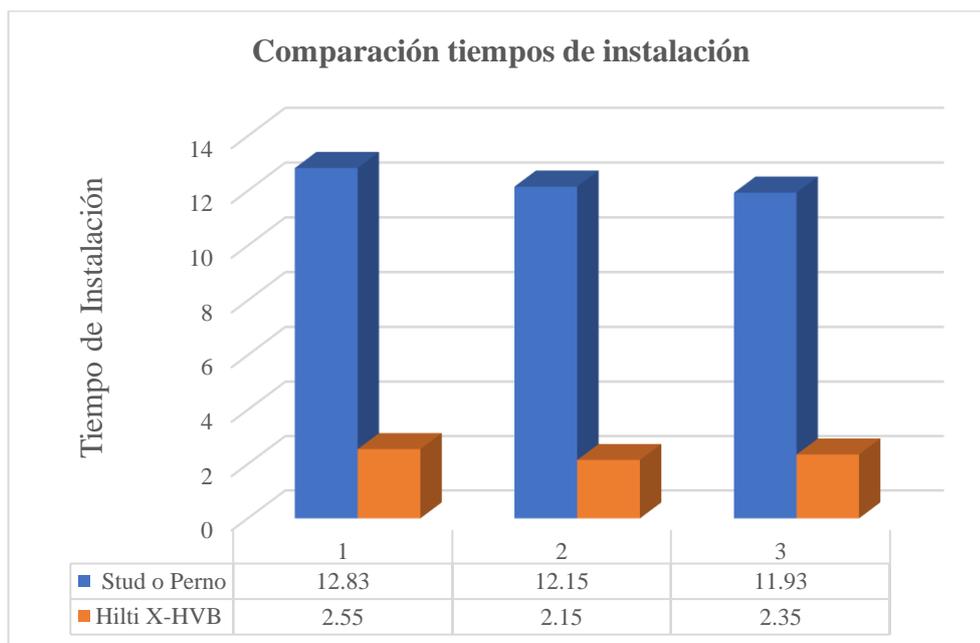


Gráfico 3.11. Comparación de tiempos de instalación de conectores

Resultados de Análisis de precios unitarios

Al realizar un análisis de precios unitarios, se debe considerar cada uno de los elementos que intervienen en la actividad. Los elementos que se deben detallar en el análisis son: mano de obra, transporte, materiales y equipos.

Análisis de precios unitarios de la instalación de los conectores de cortante tipo perno

- **Mano de obra:**

Para la instalación de los conectores de cortante tipo perno, se va a necesitar de la ayuda de un maestro soldador especializado y un peón que sirva como auxiliar. Los costos salariales de cada trabajador que interviene, se obtienen del documento publicado por la contraloría general del estado ecuatoriano y la cantidad de obra es la propuesta de acuerdo a las dimensiones que poseen las probetas.

Tabla 3.17. Mano de obra (Instalación de conectores de cortante tipo perno)

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN / HR	COSTO HORA	RENDIM,	TOTAL
MAESTRO SOLDADOR ESPECIALIZADO (Estr. Ocup. C1)	1,0000	5,15	5,15	0,0500	0,05
PEÓN (Estr. Ocup. E2)	1,0000	3,51	3,51	0,0200	0,02

- **Equipos:**

Dentro de los equipos que se utilizan para la instalación de conectores tipo perno, se encuentra la soldadora, que cuenta con todas las herramientas necesarias para su uso y las herramientas menores, que son diversas para realizar trabajos extras a los que realiza la soldadura. El costo de las herramientas menores se obtiene del 5% del valor de la suma de los costos de la mano de obra; mientras que, el costo de la soldadora se obtuvo mediante una investigación de campo en donde se obtuvieron costos referenciales del equipo.

Tabla 3.18. Equipos (Instalación de conectores de cortante tipo perno)

EQUIPOS						
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	TARIFA	COSTO/HORA	COSTO	CANTIDAD DE OBRA	COSTO POR EQUIPO
Herramienta Menor	1,0000	0,00	0,00	0,00	0,60	\$0,0004
Soldadora(con equipo de protección y elementos de conexión)	1,0000	20,00	20,00	1,00	0,60	\$0,60

- **Materiales:**

Al mencionar los materiales utilizados para la instalación de los conectores de cortante tipo perno, encontramos a los conectores en sí. Al existir diferentes tipos de conectores tipo perno, también su precio varía. El costo del tipo de conector utilizado para su instalación en las probetas, fue obtenido mediante la investigación de campo en donde se realizó la cotización y compra.

Tabla 3.19. Materiales (Instalación de conectores de cortante tipo perno)

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Conector tipo perno	Unidad	5,0000	0,2000	1,0000

- **Transporte:**

No existe la necesidad de transporte o acarreo de los materiales, ya que su costo se incluiría en la cantidad monetaria de los otros elementos pertenecientes al análisis de precios unitarios.

Rubro: Instalación de conectores tipo perno

Una vez realizado el análisis de cada elemento que pertenece al análisis de precios unitarios, se debe realizar el rubro total de la actividad de instalación. En el rubro de la instalación de los conectores tipo perno, se realiza la suma de los costos totales de los materiales, equipos, mano de obra y transporte.

Al valor obtenido de la suma, se le debe adicionar el 20% de su resultado, siendo este porcentaje el que se le da a los costos indirectos de la obra. Con el resultado de la operación de adición de costos directos e indirectos, se obtiene el valor total por metro cuadrado de la instalación de los conectores tipo perno.

Tabla 3.20. Rubro de la instalación de conectores tipo perno

RUBRO 1				Unidad	m2
DETALLE: Instalación de conectores tipo perno					
EQUIPOS Y MAQUINARIA					
Descripción	Cantidad	Tarifa	Costo Hora	Rendim.	Total
Herramienta Menor	1,0000	0,04	0,04	0,0210	0,0007
Soldadora(con equipo de protección y elementos de	1,0000	20,00	20,00	0,0500	1,00
Subtotal de Equipo y Maquinaria:					1,001
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendim.	Total
MAESTRO SOLDADOR ESPECIALIZADO (Estr. Ocup.	1,0000	5,15	5,15	0,0500	0,05
PEÓN (Estr. Ocup. E2)	1,0000	3,51	3,51	0,0200	0,02
Subtotal de Mano de Obra:					0,07
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Conector tipo perno stud	Unidad	5,0000	0,2000	1,0000	
Subtotal de Materiales:					1,00
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Total	
-----	-----	-----	-----	-----	
Subtotal de Transporte:					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					2,07
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20,00%	0,41
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					2,48
VALOR TOTAL					2,48

Presupuesto de la instalación de conectores de cortante tipo perno

Para obtener el presupuesto total de la instalación de los conectores tipo perno, es necesario de las dimensiones que tendrá el área en donde se colocarán los conectores y este valor se lo multiplicará por el costo obtenido en el rubro de la actividad.

Tabla 3.21. Presupuesto de la instalación de conectores tipo perno

PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO PERNO						
RUBRO	APU	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	1	Instalación de conectores tipo perno	m2	0,35	\$ 2,48	\$ 0,87

Análisis de precios unitarios de la instalación de los conectores de cortante tipo disparo

- **Mano de obra:**

En el caso de la instalación de los conectores de cortante tipo disparo, se necesitará únicamente de un peón, ya que no requiere mano de obra especializada para realizar la conexión. Los costos salariales del peón que realizará la instalación, se obtienen del documento publicado por la Contraloría General del Estado Ecuatoriano y la cantidad de obra es la propuesta de acuerdo a las dimensiones que poseen las probetas.

Tabla 3.22. Mano de obra (Instalación de conectores de cortante tipo disparo)

MANO DE OBRA					
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	JORN / HR	COSTO HORA	RENDIM,	TOTAL
PEÓN (Estr. Ocup. E2)	1,0000	3,51	3,51	0,0200	0,07

- **Equipos:**

Dentro de los equipos que se utilizan para la instalación de conectores tipo disparo, se encuentra la herramienta HILTI (DX 76). La herramienta de HILTI es la que será manipulada por la persona que instalará los conectores; además, se contará con herramientas menores o varias, que servirán como soporte del instalador. El costo de las herramientas menores se obtiene del 5% del valor de la suma de los costos de la mano de obra; mientras que, el costo de herramienta de la empresa HILTI se lo obtuvo de una investigación de campo en donde se recopiló la información de su precio.

Tabla 3.23. Equipos (Instalación de conectores de cortante tipo disparo)

EQUIPOS				
Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Rendim.	Total
Herramienta Menor	1,0000	0,04	0,0210	0,0008
Herramienta Hilti (DX 76)	1,0000	1.698,29	0,0001	0,12

- **Materiales:**

Al mencionar los materiales utilizados para la instalación de los conectores de cortante tipo perno, encontramos a los conectores de acero galvanizado, clavos de acero que servirán como conexión inicial placa-viga y los cartuchos de pólvora que van a permitir que el disparo sea ejecutado. El costo de los materiales a utilizar para la instalación de los conectores en las probetas, fue obtenido mediante la investigación de campo en donde se realizó la cotización y compra.

Tabla 3.24. Materiales (Instalación de conectores de cortante tipo disparo)

MATERIALES				
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total
Conector de acero galvanizado, modelo X-	Unidad	5,0000	2,78	13,90
Clavo de acero galvanizado, modelo X-	Unidad	10,0000	0,23	2,30
Cartucho de pólvora, calibre .27 rojo	Unidad	10,0000	0,23	2,30

- **Transporte:**

No existe la necesidad de transporte o acarreo de los materiales; ya que, su costo se incluiría en la cantidad monetaria de los otros elementos pertenecientes al análisis de precios unitarios.

Rubro: Instalación de conectores tipo disparo

Una vez realizado el análisis de cada elemento que pertenece al análisis de precios unitarios, se debe realizar el rubro total de la actividad de instalación. En el rubro de la instalación de los conectores tipo disparo, se realiza la suma de los costos totales de los materiales, equipos, mano de obra y transporte. Al valor obtenido de la suma, se le debe adicionar el 20% de su resultado, siendo este porcentaje el que se le da a los costos indirectos de la obra. Con el resultado de la operación de adición de costos directos e indirectos, se obtiene el valor total por metro cuadrado de la instalación de los conectores tipo disparo.

Tabla 3.25. Rubro de la instalación de conectores tipo disparo

RUBRO 1				Unidad	m2
DETALLE: Instalación de conectores tipo disparo					
EQUIPOS Y MAQUINARIA					
Descripción	Cantidad	Precio Unitario		Rendim.	Total
Herramienta Menor	1,0000	0,04		0,0210	0,0000
Herramienta Hilti (DX 76)	1,0000	1.698,29		0,0001	0,12
Subtotal de Equipo y Maquinaria:					0,119
MANO DE OBRA					
Descripción	Cantidad	Jornal / HR	Costo Hora	Rendim.	Total
PEÓN (Estr. Ocup. E2)	1,0000	3,51	3,51	0,0200	0,07
Subtotal de Mano de Obra:					0,07
MATERIALES					
Descripción	Unidad	Cantidad	Precio	Total	
Conector de acero galvanizado, modelo X-HVB 95	Unidad	5,0000	2,78	13,90	
Clavo de acero galvanizado, modelo X-ENP-21 HVB	Unidad	10,0000	0,23	2,30	
Cartucho de pólvora, calibre .27 rojo	Unidad	10,0000	0,23	2,30	
Subtotal de Materiales:					18,50
TRANSPORTE					
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa/U	Total	
-----	-----	-----	-----	-----	
Subtotal de Transporte:					0,00
TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)					18,69
INDIRECTOS Y UTILIDADES				20,00%	3,74
OTROS INDIRECTOS					
COSTO TOTAL DEL RUBRO					22,43
VALOR TOTAL					22,43

Presupuesto de la instalación de conectores de cortante tipo perno

El presupuesto total de la instalación de los conectores tipo disparo, es obtenido mediante el conocimiento de las dimensiones que tendrá el área en donde se colocarán los conectores y este valor se lo multiplicará por el costo obtenido en el rubro de la actividad.

Tabla 3.26. Presupuesto de la instalación de conectores tipo disparo

PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN DE CONECTORES DE CORTANTE TIPO DISPARO						
RUBRO	APU	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	1	Instalación de conectores tipo disparo	m2	0,35	\$ 22,43	\$ 7,85

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Conclusiones análisis de resistencia

Posterior al ensayo de resistencia último, ejecutado con la implementación de la prensa hidráulica y basados en los resultados obtenidos se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- La sección compuesta elaborada con conectores de cortante tipo Hilti X-HVB, tienen una resistencia promedio de 90.89 KN, obtenida en base al análisis de 3 muestras, las cuales, soportaron 102.91 KN, 88.12 KN y 81.65 KN, respectivamente. El mecanismo de falla fue común en las 3 probetas; es decir, todas empezaron a presentar una pérdida de capacidad de carga al momento que se fisuró el hormigón de la sección compuesta. El aplastamiento generado al existir contacto entre los conectores y el hormigón, provocó fisuras y grietas en la zona donde se encontraban los dispositivos cortantes; además, se produjo un desprendimiento de la losa respecto la placa colaborante.
- La sección compuesta elaborada con conectores de cortante tipo Nelson Stud o perno lograron una resistencia promedio de 41.88KN, obtenida basado en 3 modelos a escala puestos a prueba alcanzando resistencias de 36.62 KN, 40.79KN y 46.24 KN. El mecanismo de falla igualmente fue el mismo en todas las muestras, presentándose la pérdida de capacidad de carga al momento de la rotura de los puntos de fijación entre los conectores y la viga de acero; es decir, el mecanismo de falla fue la rotura total de la soldadura.
- La sección compuesta que utiliza conectores de cortante X-HVB resiste 2.17 veces más que la que dispone de dispositivos Nelson Stud o perno; esto se debe a que la fijación de los primeros elementos mencionados se realiza de mejor

manera ya que, al momento de producirse la detonación, los anclajes ingresan aproximadamente 8 mm dentro de la viga de acero (platinas de 10mm), mientras que la suelda únicamente genera un enlace más superficial.

- El mecanismo de instalación es la variable que influye directamente en la resistencia de la sección compuesta, ya que mientras mejor se realice el anclaje, la sección compuesta trabajará como un solo elemento ante esfuerzos cortantes.

Conclusiones análisis de costo

Al haber culminado con la etapa en la que se cronometró el tiempo requerido para colocar cada tipo de conectores de cortante, se determinó que el conector X-HVB de la empresa Hilti de la segunda probeta realizada, fue el que presentó un menor tiempo de instalación con 2.2 minutos (219 segundos). En promedio, de igual manera, los conectores tipo disparo presentaron un menor tiempo durante su fijación a comparación con los conectores tipo perno. La relación que existe entre los tiempos de instalación permitió concluir que el conector X-HVB puede ser instalado 5.2 veces más rápido que el conector stud. El dispositivo tipo perno al ser soldado, conlleva un mayor tiempo en su instalación; mientras que, los conectores de la empresa Hilti son disparados a través de la herramienta DX-76 que brinda facilidad de instalación y reduce de manera significativa el tiempo del anclaje de la placa colaborante con la viga de acero.

Conclusiones análisis de tiempo de instalación

Mediante el análisis de precios unitarios realizado para la instalación de cada tipo de conector de cortante, se presentó que el dispositivo stud es menos costoso que el conector tipo disparo. Individualmente, el precio de cada elemento conector y de manera conjunta con los equipos necesarios para colocar los anclajes, la relación de costo existente es de 9,04 dólares; lo que quiere decir que, la instalación de los conectores tipo disparo en un área de 1 m² es nueve veces más costoso que colocar los anclajes tipo stud. Para unir la placa colaborante y el perfil de acero con pernos es necesario utilizar soldadura y, consigo, una serie de herramientas y mano de obra

calificada; por tanto, la instalación de los conectores tipo disparo es más costosa por el tipo de herramientas utilizadas y el precio de cada dispositivo.

Si bien, la ventaja en cuanto a costo de instalación es para el conector tipo perno, el tiempo que se tarda en colocar en áreas mayores retrasaría a la culminación de la obra y, por ende, a su costo total. Por otro lado, la mano de obra que se utiliza en la implementación de los conectores tipo perno, debe ser especializada para realizar un trabajo de soldadura correcto; mientras que, no es necesario contar con personal con cierto grado de especialización para instalar conectores X-HVB, por lo que también existe un ahorro monetario significativo en mano de obra.

Después de analizar desde distintos enfoques los dos tipos de conectores de cortante, se puede llegar a la conclusión de que los dispositivos X-HVB son más recomendables para la construcción de edificaciones de gran tamaño, ya que, aunque son más costosos en relación a la tecnología tradicional de conectores de cortante tipo perno, brindan beneficios estructurales al alcanzar mayores resistencias ante esfuerzos cortantes; además, el tiempo de instalación permite optimizar una construcción, generando beneficios y seguridad para el constructor.

RECOMENDACIONES

- La correcta respuesta estructural ante la presencia de esfuerzos cortantes provocados por sismos, vientos u otros factores externos es de suma importancia para contar con edificaciones seguras; por ello, se deben colocar materiales de calidad y enlazarlos entre sí, de tal manera, que los elementos de la estructura actúen como una sola unidad. Los conectores de cortante cumplen la importante función de transmitir las cargas a las vigas y, posteriormente, a las columnas por lo que, es recomendable utilizar conectores tipo disparo al presentar una mayor resistencia ante fuerzas de corte.
- Cuando se realiza un trabajo en una obra, es necesario optimizar el tiempo realizando trabajos alternos que, la mayoría de veces, no se pueden realizar por el enfoque en uno solo. Los conectores de cortante tipo disparo, al no necesitar de una gran cantidad de personas ni aparatos con grandes dimensiones, permite realizar trabajos alternos reduciendo, significativamente, el tiempo de ejecución de una construcción.
- Al realizar obras civiles que posean grandes áreas, es necesario utilizar herramientas y materiales que optimicen el tiempo y los costos de la construcción, por lo que, los conectores X-HVB de la empresa HILTI, presentan mayores ventajas en la ejecución de un proyecto ingenieril. La inversión inicial puede ser más costosa que al utilizar métodos tradicionales, pero, a largo plazo los beneficios serán mejores.

REFERENCIAS

- Aceros Arequipa S.A. Corporation. (s.f.). *Aceros Arequipa*.
<https://www.construyendoseguro.com/aprende-el-procedimiento-para-elaborar-probetas-de-concreto/>
- Alva, E. (2021). *Estudio experimental de conectores de corte en la unión losa deck – viga acero*. Ambato, Ecuador.
- American Welding Society. (2020). *Structural Welding Code-Steel*. United States Of America: American Welding Society.
- Arquitectura en acero. (s.f.). *Arquitectura+acero*.
<http://www.arquitecturaenacero.org/uso-y-aplicaciones-del-acero/materiales/steel-deck-o-losa-colaborante>
- Atenas. (2021). *Ficha Técnica cemento Atenas tipo Gu*. Cuenca.
<https://cementoatenas.com/wp-content/uploads/2021/07/TEX-FICHA-TECNICA-CEMENTO-GU.pdf>
- Barroso, M., Medina, C., & Medina, S. (2017). Influence of shear connectors on the concrete beam-composite slab connection Vol.19. *Revista Ciencia*, 447-464.
- Constructora Polykret. (s.f.). <https://polykret.com/losas-steel-deck>
- DIPAC. (s.f.). *Losa colaborante*. DIPAC, productos de acero.
<https://dipacmanta.com/producto/losa-colaborante/>
- Especificar CDT. (s.f.). *Fichas Técnicas*. La plataforma online de apoyo a la especificación técnica. <http://www.especificar.cl/fichas/placa-colaborante-nv-6lc>
- Franco, J., & Martínez, M. (2020). *Análisis de la resistencia a corte de los conectores tipo ángulo en losas de hormigón armado sobre estructura metálica*. Ecuador.
- García, J. R. (2020). *Análisis comparativo de resultados entre el modelo computacional propuesto por LAM (2005) para ensayos push-out y las formulaciones de diseño de conectores de cortante del reglamento nsr-10*. Colombia.
- Gómez, W. (2020). *Evaluación del comportamiento mecánico de diferentes tipos de conectores de cortante en vigas compuestas con losas sobre steel deck*. Colombia.
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de estructuras de concreto reforzado*. Perú: Fondo.

HILTI. (2021).

https://www.hilti.es/medias/sys_master/documents/h43/h6b/9715596984350/Operating-Instruction-X-HVB-Operating-Instruction-PUB-5151244-000.pdf

Hilti Española S.A. (2007). *Manual Técnico de conectores*. Madrid: Gramar A.G.

https://obj.construmatica.com/construmatica/business/files/46568/manual_tecnico_de_conectores.pdf

Hurtado, X., Molina, M., & Linero, D. (2008). Comportamiento de conectores de cortante tipo tornillo de resistencia grado dos para un sistema de sección compuesta. *Revista Ingeniería e Investigación Vol. 28*, 4-14.

López, M., & Tamayo, Ó. (2012). Las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias naturales. *Redalyc*, 145-166.

Lozada, J. (2014). Investigación aplicada: definición, propiedad intelectual e industria. *Dialnet*, 47-50.

Luis, K., Marrero, S., & Díaz, I. (2015). Diseño de sistema para viviendas con lámina colaborante metálica. *Revista de Arquitectura e Ingeniería*, 4-5.

Muñoz, J. C. (2013). *Comportamiento de canales como conectores de cortante para un sistema de sección compuesta usando lámina colaborante*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

Navarro, S. (2012). *Comparación técnica-económica de elementos compuestos vs. elementos de acero y elementos de hormigón armado*. Quito, Ecuador .

Parra, G. A. (2019). *Análisis del desprendimiento del concreto en conectores de cortante tipo tornillo sometidos a tracción*. Bogotá, Colombia: Universidad Nacional de Colombia .

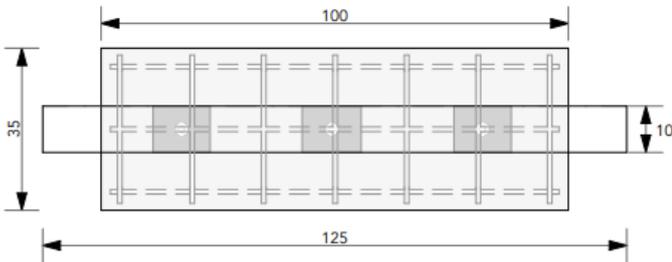
Pérez, M. (2020). *Análisis del comportamiento de placas de concreto fundidas sobre tablero metálico en sección compuesta con perfiles de acero formados en frío usando conectores de cortante tipo canal*. Bogotá, Colombia.

Steel Deck Institute. (2006). *SDI Manual of construction with steel deck*.

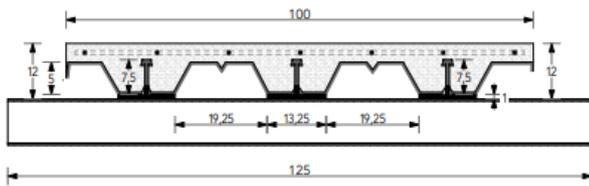
Zegarra, J. (2003). *Costos y presupuestos en edificaciones*. Lima: CAPECO.

ANEXOS

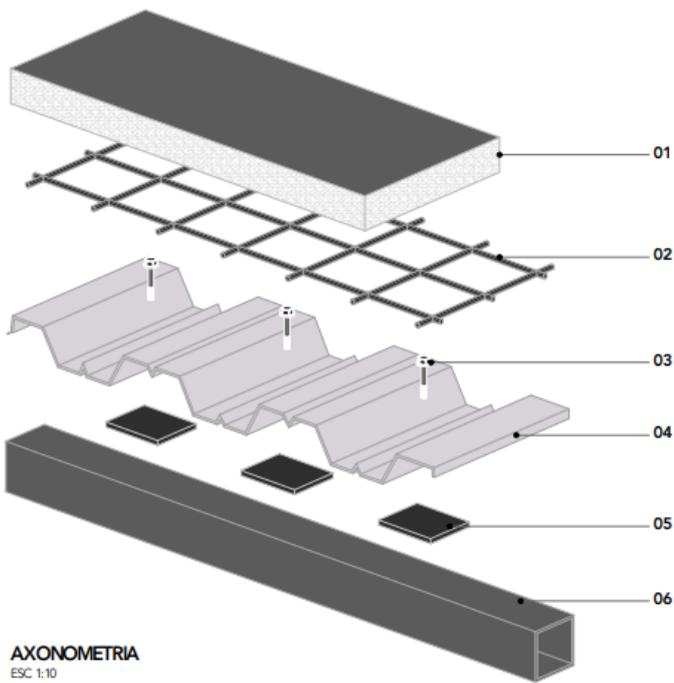
Anexo 1.4. Ilustración de las dimensiones geométricas de las probetas



PLANTA
ESC 1:10



CORTE
ESC 1:10



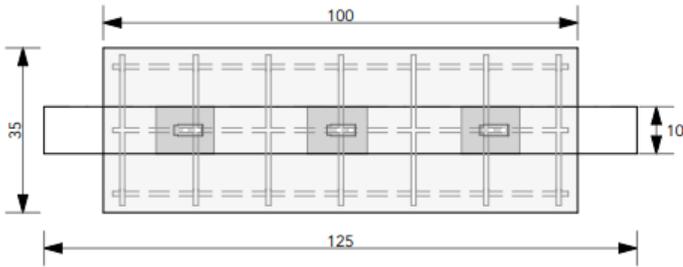
AXONOMETRIA
ESC 1:10

MATERIALES

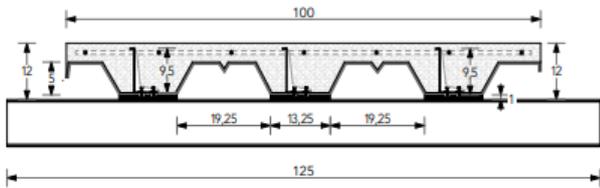
- 01-LOSA DE HORMIGÓN
- 02- MALLA ELECTROSOLDADA
- 03.- CONECTORES DE CORTE TIPO PERNO
- 04.- PLACA COLABORANTE
- 05.- PLATINAS METALICAS
- 06. VIGA DE ACERO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONECTORES DE CORTANTE	
Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil	
ESCALA: 1:10	 UNIVERSIDAD DEL AZUAY
OBSERVACIONES:	
MATEO ORELLANA R. ESTUDIANTE JOSÉ SANTACRUZ S. ESTUDIANTE	
Contiene: MODELO DE SECCION COMPUESTA A ESCALA CONECTORES DE CORTANTE TIPO PERNO	CUENCA, JUNIO DE 2022 LAMINA 01 / 02

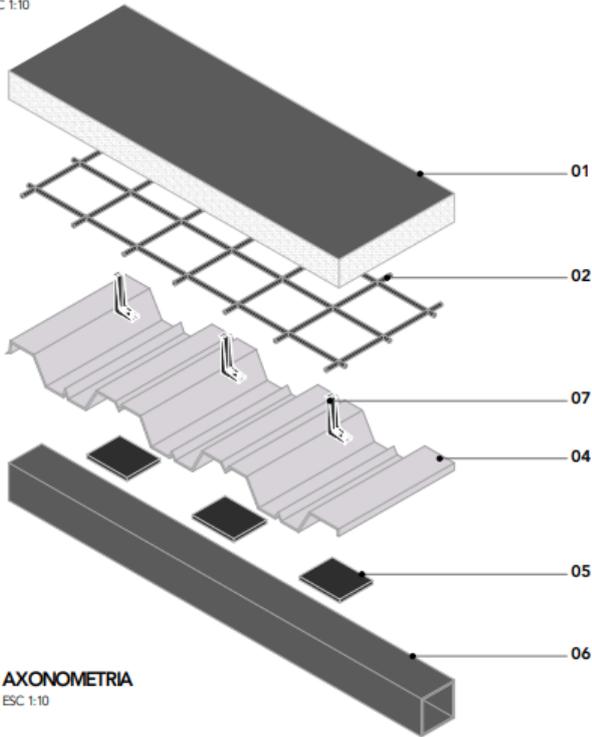
Anexo 2.4. Ilustración técnica de las probetas



PLANTA
ESC 1:10



CORTE
ESC 1:10



AXONOMETRIA
ESC 1:10

MATERIALES

- 01.- LOSA DE HORMIGÓN
- 02.- MALLA ELECTROSOLDADA
- 03.- CONECTORES DE CORTE TIPO HILTI X-HVB
- 04.- PLACA COLABORANTE
- 05.- PLATINAS METALICAS
- 06.- VIGA DE ACERO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LOS CONECTORES DE CORTANTE	
Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Civil	
ESCALA: 1:10	 <p>UNIVERSIDAD DEL AZUAY</p>
OBSERVACIONES:	
<p>MATEO ORELLANA R. ESTUDIANTE JOSÉ SANTACRUZ S. ESTUDIANTE</p>	
Contiene: MODELO DE SECCION COMPUESTA A ESCALA CONECTORES DE CORTANTE TIPO HILTI X-HVB	CUENCA, JUNIO DE 2022 LAMINA 02 / 02

Anexo 3.4. Resultados de los Laboratorios de Suelos de la resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón



LABORATORIO DE SUELOS

Fray Marchena y Av. Loja (Urb. Antonio Borrero V. lote 29)
Telfs.: 2385-371 0999773004 (PRINCIPAL: Cuenca)
Av. Oriente y 3 de Noviembre (Sector San Francisco)
Telfs.: 2247-645 0985713834 (SUCURSAL: Azogues)

Ing. Iván Riquetti V.
M.Sc. Geotecnia
Oklahoma State University

Ing. Juan Pablo Riquetti M.
M.Sc. Geología y Geotecnia
Universidad de Cuenca

RESISTENCIA CILÍNDRICA A LA COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN

PROYECTO: TRABAJO DE TITULACIÓN: CONECTORES DE CORTANTE
PROYECTISTA: JOSÉ SANTACRUZ - MATEO ORELLANA
DIRECTOR: ING. JOSÉ VÁZQUEZ
UBICACIÓN: CANTÓN CUENCA
FECHA: MAYO 06 DEL 2022

No.	FECHA DE CONFECCION	FECHA DE ROTURA	DIAMETRO CIL. (cm.)	CARGA DE ROTURA (Kg)	FATIGA DE ROTURA (Kg/cm ²)	EDAD (días)	FATIGA REQUERIDA (Kg/cm ²)	OBSERVACIÓN
1	02/04/2022	05/05/2022	15.10	37591	209.91	31	210	Modelos a escala
2	02/04/2022	05/05/2022	15.25	39085	213.98	31	210	Modelos a escala




 Ing. Iván Riquetti V.