

Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Civil



**“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EMPALMES POR TRASLAPE Y
EMPALMES MECÁNICOS UTILIZADOS EN ELEMENTOS DE HORMIGÓN
ARMADO”**

Mariela Melissa González

13-0375

Paola Yarissa Cuevas Florián

13-1841

Para optar por el título de:

Ingeniero Civil

Ing. Francisco Martínez

Asesor de Tesis para Obtención de Grado

31 de Enero del 2018

Santo Domingo, República Dominicana

**“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE EMPALMES POR TRASLAPE Y
EMPALMES MECANICOS UTILIZADOS EN ELEMENTOS DE HORMIGON
ARMADO”**

Dedicatoria

A Dios, por mantenerme siempre de pie; por ti todo esto es posible. A mi padre, Miguel Cuevas, por todo su esfuerzo y sacrificio para que hoy esto sea posible, por creer en mí y siempre darme su apoyo. A mi madre, Eladia Florián, por alentarme día tras día y creer en mí; sin ti no sería posible.

A mis hermanas, Naldy Cuevas y Daysi Medina; a mi sobrina, Nahara Polanco, por ser parte de mí día a día. Las amo.

A mis familiares, por su apoyo, bondad y amor. A Emanuel Feliz, por estar conmigo desde el inicio hasta el final, por su apoyo, paciencia y comprensión. A mis amigos, por estar siempre conmigo hasta el final. Ambar Lantigua, Nathalia Toribio, Irely Guzmán, Lumy Ramírez.

Paola Cuevas. -

Dedicatoria

A Dios, porque nunca me abandona y estuvo presente a través de mi familia, amigos y profesores que fueron una bendición durante este proceso.

Le dedico este trabajo de grado a todos aquellos que depositaron su confianza en mí y me dieron ánimos para seguir adelante.

A todos los compañeros que aún siguen luchando, enfóquense pues con trabajo y empeño todo se puede.

Mariela Gonzalez. -

Agradecimientos

Agradecemos en primer lugar a Dios, por darnos siempre las fuerzas para avanzar, seguir adelante y estar de pie día a tras día.

A Francisco Martínez, nuestro asesor y consejero en esta etapa de nuestro desarrollo académico. Agradecemos cada uno de sus consejos, de sus correcciones y sus atenciones para con nosotras.

A cada uno de los maestros que nos brindaron su saber en el transcurso de nuestro desarrollo en la universidad.

A nuestros familiares y amigos, por su amor, apoyo y confianza todos los días de nuestras vidas.

A la empresa Arq. Ing. L&F Srl, por su gran ayuda en la elaboración y desarrollo de esta investigación, por la facilitación de los empalmes y por abrir sus puertas a cada una de nosotras.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
Introducción.....	13
Resumen.....	16
Alcances y Limitaciones.....	17

CAPITULO I- PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema.....	18
1.1.1 Preguntas de investigación.....	19
1.2 Objetivos de la investigación.....	20
1.2.1 Objetivo general.....	20
1.2.2 Objetivos específicos.....	20
1.3 Justificación.....	21
1.4 Antecedentes.....	22

CAPITULO II- EMPALMES DE ACERO DE REFUERZO

2.1 Empalmes para acero de refuerzo.....	24
2.2 Tipos de empalmes de barras.....	28
2.2.1 Empalmes por traslape.....	28
2.2.1.1 Requerimientos de la ACI 318-14.....	30
2.2.1.2 Requerimientos del R-033.....	33
2.2.2 Empalmes mecánicos.....	34
2.2.2.1 Tipos de empalmes mecánicos.....	35
2.2.2.2 Requerimientos de la ACI 318-14.....	38
2.2.2.3 Requerimientos del R-033.....	39
2.2.3 Empalmes soldados o fundidos.....	39
2.2.3.1 Requerimientos del R-033.....	41
2.3 Marco conceptual.....	42

CAPITULO III- MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación.....	44
3.2 Tipo de investigación.....	44
3.3 Procedimiento de la investigación.....	45
3.4 Métodos y técnicas de investigación.....	45
3.4.1 Métodos de investigación.....	45
3.4.2 Técnicas de investigación.....	46

3.5 Unidades de análisis.....	46
3.6 Análisis de datos.....	46

CAPITULO IV- PRUEBAS DE RESISTENCIA EN LABORATORIO

4.1 Ensayos de probetas de acero a tracción.....	47
4.1.1 Ensayo probeta de 1”.....	48
4.1.2 Ensayo probeta ¾”.....	51

CAPITULO V- ANÁLISIS ECONÓMICO

5.1 Análisis económico y financiero.....	53
5.1.1 Descripción.....	53
5.2 Método de evaluación.....	53
5.2.1 Supuestos y condiciones.....	53
5.3 Empalmes por traslape.....	54
5.3.1 Características económicas.....	54
5.3.2 Análisis de costos.....	54
5.3.2.1 Análisis de costos basado en el ACI.....	55
5.3.2.2 Análisis de costos basado en el R-033.....	59
5.4 Empalmes mecánicos.....	60
5.4.1 Características Económicas.....	60
5.4.2 Análisis de costos.....	60
5.5 Empalmes soldados.....	61
5.5.1 Análisis de costos.....	61

CAPITULO VI- ANÁLISIS DE LA FUNCIONABILIDAD DE LOS DIFERENTES TIPOS DE EMPALMES

6.1 Empalmes por traslape.....	61
6.1.1 Funcionabilidad.....	61
6.1.2 Características Técnicas.....	64
6.1.3 Ventajas y Desventajas.....	65
6.2 Empalmes mecánicos.....	67
6.2.1 Requerimientos.....	67
6.2.2 Procedimientos.....	68
6.2.3 Ventajas y Desventajas.....	69
6.3 Empalmes Soldados.....	70
6.3.1 Procedimientos.....	70

CAPITULO VII- RESULTADOS DEL ESTUDIO

7.1 Resultados.....	73
7.1.1 Del análisis económico.....	73
7.1.2 De las pruebas en laboratorio.....	73
7.1.3 De la evaluación de funcionabilidad.....	79
Estudio de divulgación técnica.....	80
Cronograma de actividades y presupuesto.....	85
Conclusiones.....	86
Recomendaciones.....	87
Bibliografía.....	88
Anexos.....	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

	Pág.
<i>Fig. 2.1 Empalmes de barras de acero</i>	24
<i>Fig. 2.2 Empalmes de viga y columna</i>	25
<i>Fig. 2.3 Empalme mecánico y empalme soldado</i>	26
<i>Fig. 2.4 Empalme por traslape</i>	26
<i>Fig. 2.5 Empalme por soldadura</i>	27
<i>Fig. 2.6 Empalme mecánico</i>	27
<i>Fig. 2.7 Empalme traslapado</i>	27
<i>Fig. 2.8 Ld para barras y resaltes</i>	29
<i>Fig. 2.9 Ld para barras corrugadas</i>	29
<i>Fig. 2.10 Clases de empalme por traslape</i>	31
<i>Fig. 2.11 Analisis de ubicación de empalmes</i>	31
<i>Fig. 2.12 Espaciamiento libre</i>	32
<i>Fig. 2.13 Longitud de traslape a compresión</i>	33
<i>Fig. 2.14 Longitud de solape</i>	34
<i>Fig. 2.15 Empalmes en diferentes barras</i>	34
<i>Fig. 2.16 Conectores a tope</i>	35
<i>Fig. 2.17 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	36
<i>Fig. 2.18 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	36
<i>Fig. 2.19 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	37
<i>Fig. 2.20 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	37
<i>Fig. 2.21 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	37
<i>Fig. 2.22 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	38
<i>Fig. 2.23 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	38
<i>Fig. 2.24 Aplicaciones de empalmes mecánicos</i>	38
<i>Fig. 2.25 Soldadura a tope</i>	40
<i>Fig. 2.26 Soldados vs solape</i>	40
<i>Fig. 2.27 Empalme por soldadura</i>	40

<i>Fig. 4.1 Ensayo en laboratorio</i>	48
<i>Fig. 4.2 Ensayo en laboratorio</i>	49
<i>Fig. 4.3 Ensayo en laboratorio</i>	49
<i>Fig. 4.4 Ensayo en laboratorio</i>	50
<i>Fig. 4.5 Ensayo en laboratorio</i>	50
<i>Fig. 4.6 Ensayo en laboratorio</i>	51
<i>Fig. 4.7 Ensayo en laboratorio</i>	51
<i>Fig. 4.8 Ensayo en laboratorio</i>	52
<i>Fig. 4.9 Ensayo en laboratorio</i>	52
<i>Fig. 5.1 Longitud de empalme</i>	55
<i>Fig. 5.2 Ecuaciones de obtención de Ld</i>	56
<i>Fig. 5.3 Factores de modificación</i>	56
<i>Fig. 5.4 Longitud de traslape</i>	57
<i>Fig. 5.5 Longitud de traslape</i>	58
<i>Fig. 5.6 Ecuación para clase A</i>	59
<i>Fig. 6.1 Falla por solape en columnas</i>	62
<i>Fig. 6.2 Tensiones en tracción.</i>	62
<i>Fig. 6.3 Fisura entre barras</i>	63
<i>Fig. 6.4 Fallas de un empalme por solape a compresión</i>	64
<i>Fig. 6.5 Máquina prensadora</i>	68
<i>Fig. 6.6 Prensa hidráulica</i>	68
<i>Fig. 6.7 Colocación de barras</i>	68
<i>Fig. 6.8 Colocación de barras</i>	68
<i>Fig. 6.9 Corte de barras</i>	70
<i>Fig. 6.10 Fijación de barras</i>	71
<i>Fig. 6.11 Sistema de gas</i>	71
<i>Fig. 6.12 Inicio de fusión</i>	71
<i>Fig. 6.13 Fusión de barras</i>	71
<i>Fig. 6.14 Barra acoplada</i>	72
<i>Fig. 6.15 Rotura de probetas</i>	72

<i>Fig. 6.16 Rotura de probetas</i>	72
<i>Fig. 6.18 Empalmes fundidos</i>	72

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 4.1 Resumen de ensayo</i>	53
<i>Tabla 5.1 Análisis de empalme por traslape</i>	55
<i>Tabla 5.2 Longitud en barras</i>	57
<i>Tabla 5.3 Costos de barras a tracción</i>	58
<i>Tabla 5.4 Costos para barras a compresión</i>	59
<i>Tabla 5.5 Costo de traslape a compresión</i>	59
<i>Tabla 5.6 Análisis de costos mecánicos</i>	60
<i>Tabla 5.7 Análisis de costo empalme soldado</i>	61
<i>Tabla 7.1 Resumen de costo</i>	73
<i>Tabla 7.2 Lectura de deformación</i>	74
<i>Tabla 7.3 Comprobación ACI, barra 1”</i>	76
<i>Tabla 7.4 Comprobación ACI, barra ¾”</i>	77
<i>Tabla 7.5 Lectura de deformación</i>	78
<i>Tabla 7.6 Carga máxima y mínima</i>	79

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<i>Pág.</i>
<i>Gráfico 7.1 Esfuerzo-Deformación.....</i>	<i>75</i>
<i>Gráfico 7.2 Esfuerzo-Deformación.....</i>	<i>77</i>
<i>Gráfico 1 Sondeo.....</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 2.1 Sondeo.....</i>	<i>81</i>
<i>Gráfico 2.2 Sondeo.....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 2.3 Sondeo.....</i>	<i>82</i>
<i>Gráfico 3 Sondeo.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 4 Sondeo.....</i>	<i>83</i>
<i>Gráfico 5 Sondeo.....</i>	<i>84</i>

INTRODUCCIÓN

Para lograr el desarrollo científico de la ingeniería civil en República Dominicana, es necesario incorporar nuevos sistemas y métodos constructivos que permitan abastecer las necesidades y exigencias que la actualidad demanda. Con el paso del tiempo, las construcciones civiles adquieren mayor envergadura y esto dificulta el utilizar métodos constructivos convencionales.

Generalmente, en la mayoría de las construcciones actuales se nos hace indispensable cubrir longitudes mayores a aquellas distancias en las que el acero es fabricado, razón por la cual, se emplean empalmes de barras.

En el mundo de la ingeniería, podemos encontrar diversos tipos de empalmes que no solo cumplen este cometido, sino que contribuyen a solucionar problemas en obras civiles, el inconveniente, es que en nuestro país la gran utilización de empalmes tradicionales o simplemente, la falta de conocimiento técnico de otros tipos, hacen que el desarrollo científico se vea entorpecido en esta cuestión.

Se consideró realizar el presente estudio comparativo entre los empalmes tradicionalmente utilizados y otros tipos, con el objetivo de conocer las ventajas que ofrece cada método de empalme, su utilización actual, la eficiencia que garantizan y a su vez, promover el uso de aquellos que no se emplean con frecuencia en edificaciones de gran envergadura.

Es importante dar a conocer la falta de divulgación técnica que tienen otros sistemas de empalme, ya que las normativas dominicanas no establecen el uso que deberá de tener cada

método de empalme dependiendo las condiciones de la obra, sino que lo menciona de manera muy superficial.

En otro ámbito, es importante destacar que los métodos de empalmes tradicionales ante estructuras de gran envergadura o ciertas condiciones estructurales, no se comportan satisfactoriamente, razón por la cual, es necesario estudiar alternativas que respondan a esta cuestión y que satisfagan las necesidades constructivas de lugar.

Ante el conocimiento de la existencia de otros métodos de empalmar barras con otras, queda la inquietud de conocer si estos satisfacen el objetivo por el cual se empalman dichas barras; así como también, que tan rentables es su aplicación y que diferencias económicamente hablando presentan en comparación con los empalmes tradicionales. También es importante conocer, cómo estos se comportan una vez establecidos en la estructura expuestos al recibir diferentes tipos de cargas o, en el mayor de los casos, al recibir el fuerte impacto de un sismo.

Durante el análisis de los métodos de empalmes, los estudiados se dividieron en mecánicos, por traslape (tradicionales) y soldados para limitar la investigación en aquellos que se han utilizado en el país. Se ramificó la investigación en capítulos para que sea más fácil identificar los aspectos que se confrontaron de cada método.

Con esta investigación, se compararon los costos a través de análisis económicos que permitieron conocer las diferencias que se obtienen al aplicar los diferentes tipos de empalmes que se han estudiado, partiendo de cada una de las partidas que complementan llevar a cabo la actividad de empalmar las barras y de los costos que infunden.

Por otra parte, se realizaron ensayos de probetas a tracción con el empalme mecánico aplicado, buscando conocer su punto de fluencia y de rotura.

La base de este estudio se fundamentó en las normas concernientes a características mecánicas, resistencia a los esfuerzos, tipos de empalmes y su aplicación, utilizando la metodología empleada por el ACI-318-14 ya que el R-033 (reglamento para diseño y construcción de estructuras en hormigón armado) no posee información suficiente para esclarecer el tema en cuestión. Dando a relucir, la importancia de abrir las puertas a nuevas tendencias constructivas que signifiquen el avance del sector construcción en la República Dominicana siendo competente antes las necesidades que se buscan satisfacer.

En nuestro país, existe exclusivamente solo una empresa que se dedica al suministro de los empalmes mecánicos cilíndricos prensados. Ésta está compuesta por un grupo de ingenieros capacitados en el área de la construcción que, además de suministrar los conectores, también llevan a cabo la ejecución de los mismos. Dicha empresa se rige bajo el nombre de ARQ.ING. L&F, ésta ha garantizado que ha obtenido resultados positivos al utilizar estos conectores en diferentes obras de gran importancia en el país, como lo fue el caso del Metro de Santo Domingo, Segunda Línea.

RESUMEN

Esta investigación presenta el estudio de funcionalidad, resistencia y evaluación de costos de los empalmes por traslape versus los empalmes mecánicos, añadiendo en ciertos puntos, el análisis del método de soldadura (debido a que se han implementado en el país, haciendo la investigación más amplia). Los empalmes mecánicos, han surgido debido a que con el pasar de los años las construcciones civiles se han ido desarrollando en el entorno moderno generando obras de gran envergadura, como lo son la construcción de grandes torres con elevado número de pisos. Ante esta situación, se ha limitado el uso del traslape e implantado por consiguiente, los empalmes mecánicos, por lo que es conveniente verificar si brindan la resistencia necesaria, si es rentable en costo, entre otros.

La rentabilidad de costo se realizó llevando a cabo un análisis económico de los empalmes mecánicos y traslapados por unidad, evaluando precios en el mercado dominicano e incluyendo costos de operaciones, mano de obra, maquinarias, entre otros.

Para estudiar la funcionabilidad se evaluó el comportamiento, las características técnicas de los empalmes y el procedimiento de ejecución en obra.

Para la evaluación de la resistencia se sometieron a pruebas de laboratorio a tracción, barras de acero de refuerzo de diámetros comerciales, utilizando una máquina de ensayos a tracción, en el laboratorio Atteco ubicado en la ciudad de Santo Domingo.

Durante la evaluación, se obtuvo como resultado que los empalmes por traslapes poseen menores costos que otros métodos, que los empalmes mecánicos tienen mayor resistencia y son más prácticos funcionalmente hablando.

ALCANCES Y LIMITACIONES

- El estudio comparativo se limitó a los métodos de empalmes que se utilizan en la República Dominicana (Por traslape, mecánicos y soldados).
- Los procedimientos de operación en obra de los empalmes mecánicos se evaluaron en proyectos donde se observó la aplicación de los mismos.
- Se estudió la divulgación técnica de los empalmes mecánicos a través de sondeos de opinión a ingenieros profesionales del área.
- Se realizaron ensayos a tracción, con barras de acero comerciales grado 60, No. 6 y No. 8, debido a que en el país, solo hay empalmes mecánicos para esos diámetros y el costo de cada ensayo es elevado.
- Las pruebas de laboratorio se realizaron en el laboratorio Atteco. Se realizó en éste, debido a la carencia de una máquina de ensayos a tracción en la universidad.
- El análisis económico de los empalmes mecánicos se realizó con los precios en el mercado dominicano, obteniendo los costos de la empresa ARQ.ING.L&F SRL. Pues es la única empresa del país que trabaja con empalmes mecánicos de manera oficial.
- Los costos de empalmes por traslape, fueron obtenidos de los Análisis de Simó, de los precios que se encuentran en los Análisis del CODIA (Colegio Dominicano de Ingenieros Arquitectos y Agrimensores) y análisis de empresas constructoras privadas.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Debido a los avances de la ingeniería, en los últimos años, las infraestructuras poseen diseños más exigentes que buscan mayor resistencia, funcionalidad y economía, acompañado de nuevos métodos que buscan optimizar los procesos constructivos.

La utilización de empalmes en el proceso de armado del acero es imprescindible ya que en algún punto es necesario conectar barras de acero según especifique el diseño de la estructura. El empalme por traslape, es actualmente el método de empalme más utilizado en nuestro país debido a su fácil manejo y economía. No obstante, la presentación de fallas en elementos estructurales donde se pierde la continuidad es muy común por lo que es necesario el estudio de nuevas alternativas que solucionen esta deficiencia.

Por otro lado, se encuentran los empalmes mecánicos, los cuales figuran como una alternativa que puede resultar más conveniente al momento de elaborar un diseño sismo-resistente. Es importante señalar que nuestra isla se encuentra sobre numerosas fallas sísmicas que la hacen vulnerable a la ocurrencia de terremotos. Dichos empalmes son utilizados en grandes proyectos de edificaciones internacionales pero, debido a la falta de divulgación técnica en el país, su uso se limita a obras de gran envergadura, donde no es posible el empalme por traslape producto de la gran concentración de barras de refuerzo.

Para determinar cuál método de empalme es más efectivo, no solo es necesario analizar las ventajas y las desventajas de cada método, sino que es necesario elaborar un estudio comparativo que muestre factibilidad económica, evalúe la funcionabilidad que presentan y que muestre cuál brinda mayor resistencia.

1.1.1 Preguntas de Investigación

- ¿Cuál de los métodos de empalme, ya sea por traslape o mecánico, se considera más factible económicamente hablando?
- ¿Cuál método de empalme resulta más confiable, seguro y resistente?
- ¿Cuál es la funcionabilidad de ambos métodos?
- ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que presenta la aplicación de cada uno de estos métodos?

1.2 Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo general

Analizar la factibilidad económica que garantizan los empalmes por traslapes en comparación con los empalmes mecánicos, así como evaluar la funcionabilidad que presentan estos y cual garantiza mayor resistencia.

1.2.2 Objetivos específicos

- Elaborar una comparación económica y financiera entre empalmes por traslapes y empalmes mecánicos.
- Someter a pruebas de laboratorio la utilización de los empalmes mecánicos.
- Evaluar la resistencia que ofrecen los empalmes mecánicos.
- Estudiar la funcionabilidad, ventajas y desventajas que presentan estos métodos.

1.3 Justificación

Cuando de empalmes se trata, la implementación del traslape es el más utilizado actualmente, sin embargo, debido al avance de las construcciones civiles, es necesario estudiar nuevas alternativas de empalmes que garanticen la adherencia del acero-hormigón (cuantía), continuidad de carga, mayor resistencia y que la parte económica no sea afectada de manera considerable.

Este estudio comparativo, ayuda a que el sector construcción pueda evaluar según sus necesidades las opciones más factibles, comparando factores de resistencia, funcionalidad y economía.

En República Dominicana, debido al auge de construcción de edificaciones que se utiliza es el sistema aporticado en la utilización de vigas y columnas para la transferencia de cargas verticales y horizontales, ha dado a relucir ciertas deficiencias en los empalmes de acero de refuerzo. Estas deficiencias, al ser este país considerado en alto riesgo sísmico, son preocupantes, por lo que es necesario evaluar cuidadosamente los métodos de empalmes que se emplean en el país.

La importancia del estudio de empalmes, radica en la necesidad de obtener información que sirva como herramienta en el proceso de toma de decisiones para el armado de acero de refuerzo.

1.4 Antecedentes

En estudios realizados en otros países se han denotado resultados que son interesantes para fines de esta investigación.

“Cagley & Associates, Inc., estudiaron recientemente dos estructuras diferentes que estaban en proceso de diseño en su oficina de Rockville, Md. La primera estructura era un garaje de estacionamientos de 12 pisos en Harrisburg, Pa. La segunda era un laboratorio de química de tres pisos, para el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) en Washington, D.C. Cada estructura utilizó aproximadamente 7,600 m³ de concreto. Las dos estructuras emplearon diseños de marcos con base en el capítulo 12 del ACI 318- 95. Solamente las varillas de columnas en el proyecto NIST requirieron empalmes, ya que las vigas emplearon acero de refuerzo continuo. Los empalmes de traslape se utilizaron en el garaje de estacionamiento.”¹

Los empalmes mecánicos a tope se emplearon en el laboratorio de química NIST porque los empalmes de traslape habrían forzado la relación acero / concreto a más de 8 por ciento en la zona de empalmes de traslape. El Reglamento del ACI prohíbe una relación mayor a 8 por ciento.”

Por otra parte, la Agencia Federal Para El Manejo De Emergencias (FEMA), reporto un trágico efecto de continuidad de ruta de carga sobre el Edificio Muraah en la ciudad de Oklahoma, Okla.

“Una falla catastrófica de la estructura fue resultado de la remoción de una columna. Los investigadores determinaron: «Pudo haberse evitado hasta 85 por ciento del colapso progresivo si la estructura hubiera utilizado marcos de momento especiales». Con el empleo de empalmes mecánicos a tope, los marcos de momento especiales incorporan refuerzo continuo y continuidad en la trayectoria de carga.”²

El Edificio de Murrah, es un edificio de oficinas diseñado en los 70s sin provisiones de sismo (No dúctil).

Económicamente hablando, estudios realizados por diversas instituciones relatan que la diferencia de costo entre uno y otro empalme es mínima por lo que, se tendría que evaluar estructuralmente hablando para optar por el método óptimo, seguida entonces por la más rentable. Como lo define M.K. Hurd en su artículo, “El traslapo de varillas de refuerzo se considera desde hace mucho un método de empalme efectivo y económico. Sin embargo, las nuevas demandas en términos de diseño de concreto han determinado que los constructores busquen alternativas que pueden resultar más convenientes según el uso”.

Como es visto, en otros países se ha presentado la necesidad de buscar nuevas formas de empalmar barras, ante la insuficiencia que han mostrado los empalmes tradicionales con el pasar de los tiempos.

¹ James R. Cagley y Richard de Apple. (1998, Enero 07). Comparación de costos de empalmes Bar - Butt mecánica Versus Lap. Concrete International, 20, 55-56.

² Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, A.C. (1999, Febrero). Empalmes de tope y empalmes de traslape: ventajas comparativas. Revista Construcción y Tecnología.

CAPITULO II. EMPALMES DE ACERO DE REFUERZO

2.1 Empalmes de acero de refuerzo

Cuando se instalan armaduras de acero en una obra, debido a razones constructivas o estructurales, se da la necesidad de unir segmentos de barras de acero para lograr una altura o longitud determinada. A estas uniones se les denomina "empalmes".

La ACI permite empalmes en zonas de mínimo esfuerzo, nunca en zonas de máximo esfuerzo, ni en aquellas donde hay momentos máximos de flexión; ni a distancias menores a $2d$ de la cara de los apoyos, en caso de vigas (siendo "d" el peralte de las vigas).¹

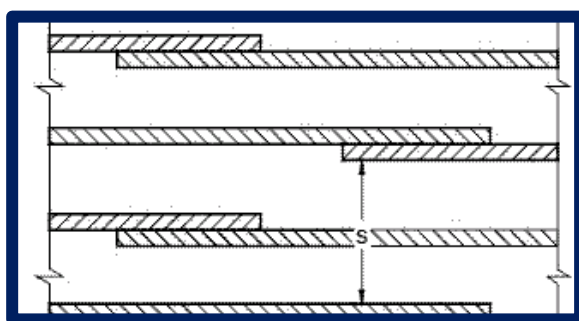


Fig. 2.1 Empalme de barras de acero.

Los empalmes son utilizados cuando la longitud del refuerzo en un elemento, ya sea viga o columna (*ver fig.2.2*), excede la longitud comercial de las barras de acero de refuerzo, es necesario unir dos de ellas para conseguir la longitud necesaria. Deben ubicarse en las zonas menos esforzadas para no disminuir la resistencia de la pieza y su distribución será determinada en planos.

¹(ACI, 2014)

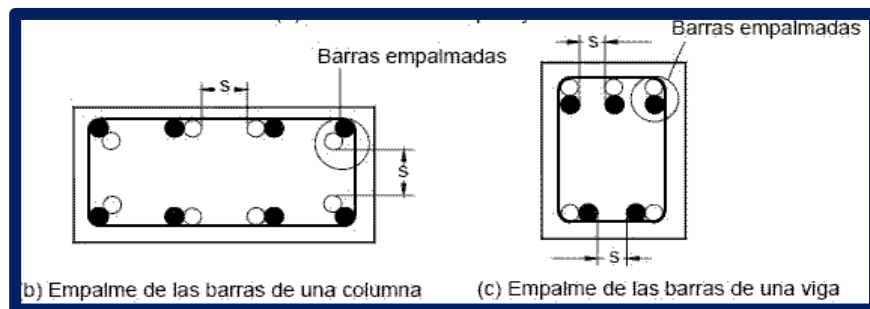


Figura 2.2 Empalmes en viga y columna.

El Código de la ACI especifica que los empalmes de la armadura pueden realizarse cuando en las especificaciones de la obra están detallados claramente y solo serán permitidos en posiciones determinadas. Los planos de obra, plantillas de armadura y especificaciones técnicas deben mostrar todas las ubicaciones de los empalmes y los tipos requeridos.²

Los refuerzos deberán empalmarse preferiblemente en zonas de esfuerzo bajo. La discontinuidad del acero de refuerzo puede vulnerar la capacidad resistente de la estructura, por lo que se requeriría de algún mecanismo de transferencia de los esfuerzos de una barra hacia la barra de continuidad geométrica. En caso ser necesaria esa transferencia, se puede recurrir a varillas traslapadas, soldadas o con dispositivos mecánicos de continuidad.

En general, los empalmes se pueden clasificar en directos e indirectos.

Los directos son aquellos en los que la transferencia de esfuerzos se hace de barra a barra directamente sin la intervención del hormigón. Este es el caso de empalmes por soldadura y por elementos mecánicos, como conectores roscados o a presión (*ver fig. 2.3*).³

² (ACI, 2014)

³ Carlos Llopis, Unidad 8: Empalmes y Anclajes, p.36.

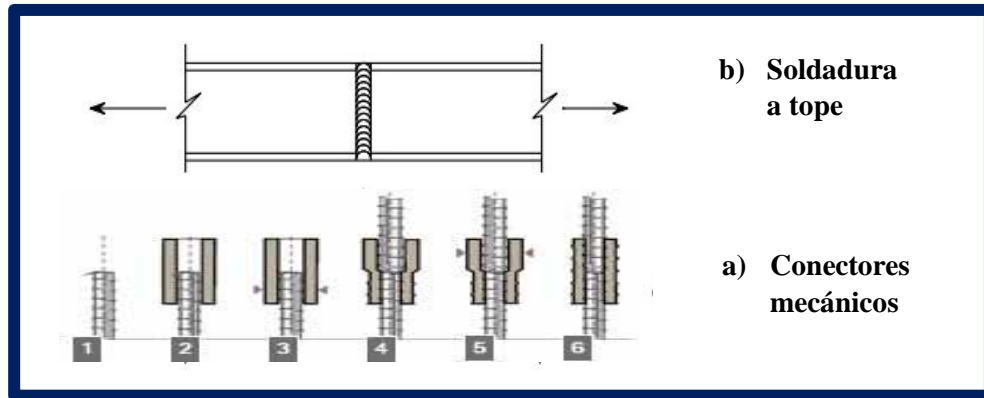


Fig.2.3 (a) Empalme soldado, (b) Empalme mecánico.

En el empalme indirecto, las barras de acero transmiten los esfuerzos a través del hormigón que las rodea. Este es el caso de los empalmes por traslape, donde además, a veces es necesario la intervención de barras de acero transversales y en condiciones especiales, en estribos de confinamiento.⁴

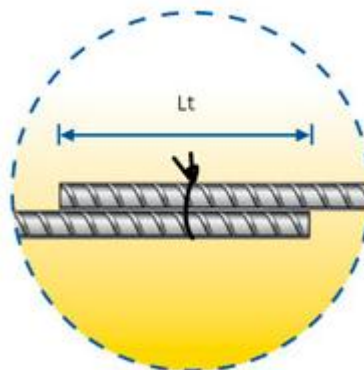


Fig. 2.4 Empalmes por traslape.

Es importante destacar que en los empalmes indirectos, el hormigón, en contacto con las barras, interviene en el mecanismo de transferencia (que no se hace de acero a acero), y por lo tanto, la ubicación del empalme es importante para juzgar su efectividad y el comportamiento de la sección de hormigón armado en dicha zona.⁴

⁴ Carlos Llopis, Unidad 8: Empalmes y Anclajes, p.36.

Empalmes directos:

- Empalmes soldados.
- Empalmes con conectores mecánicos, a su vez se dividen en:
 - Empalmes con conectores roscados.
 - Empalmes con conectores a presión para barras, estos son los utilizados en el país.

Empalmes indirectos:

- Empalmes por traslapes a tracción.
- Empalmes por traslapes a compresión.

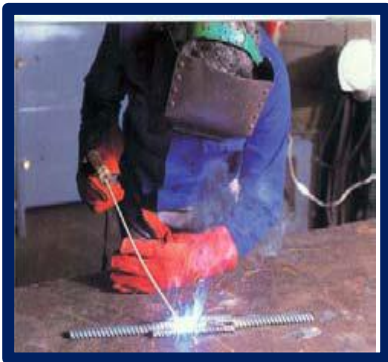


Fig. 2.5 Empalmes por soldadura.



Fig. 2.6 Empalmes mecánicos.

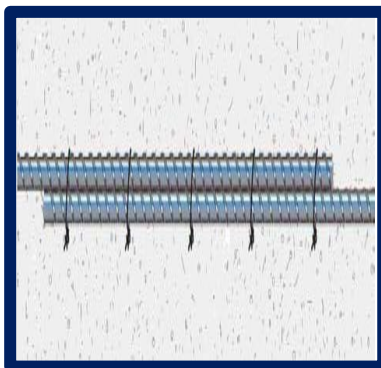


Fig. 2.7 Empalmes traslapados.

2.2 Tipos de empalme de barras

2.2.1 Empalmes por traslape

Los empalmes por traslape de barras, consisten en el solape longitudinal de las barras a lo largo de una distancia que permita transmitir el esfuerzo de una barra a otra por adherencia en el concreto (*ver fig. 2.4 y 2.7*).

La fuerza en una barra se transfiere al concreto que la rodea por adherencia y, por el mismo efecto, del concreto a la otra barra. La eficiencia de un empalme por traslape depende del desarrollo de la adherencia a lo largo de la superficie de las varillas y de la capacidad del concreto para transferir los elevados esfuerzos cortantes que se generan.⁵

La longitud de desarrollo es empleada para obtener la longitud del empalme por traslape, a esta se le aplica un factor de amplificación dependiendo los esfuerzos a los que esta sometido el elemento, clasificandose en empalmes por traslape de elementos sometidos a traccion y empalmes por traslape de elementos sometidos a compresion

Investigaciones experimentales han identificado los factores que afectan la longitud de desarrollo y los análisis de los datos de los ensayos han permitido obtener ecuaciones empíricas que se utilizan en la práctica actual del diseño. Los factores más importantes resultan evidentes a partir de la revisión del párrafo anterior e incluyen la resistencia a la tensión del concreto, la distancia de recubrimiento, el espaciamiento de las barras de refuerzo y la presencia de acero de refuerzo transversal.⁶

⁵ Civil Rubén J. Martínez G. (2009), *solape del refuerzo*.

⁶ Diseño de estructuras de concreto 12va edición, pag.163

La longitud básica de desarrollo L_d para barras y alambres con resaltes, en tracción basado en el ACI debe calcularse con las siguientes expresiones, pero en ningún caso podrá ser menor que 30 cm.

Espaciamiento y recubrimiento	Barras No. 6 ó menores y alambres corrugados	Barras No. 7 y mayores
<p>Espaciamiento libre entre barras o alambres que se están desarrollando o empalmado por traslapo no menor que d_b, recubrimiento libre al menos d_b, y no menos estribos a lo largo de ℓ_d que el mínimo del Reglamento</p> <p>o</p> <p>espaciamiento libre entre barras o alambres que están siendo desarrollados o empalmados por traslapo no menor que $2d_b$ y recubrimiento libre no menor que d_b</p>	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{25 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{20 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Otros casos	$\left(\frac{3 f_y \Psi_t \Psi_e}{50 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{3 f_y \Psi_t \Psi_e \lambda}{40 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Fig. 2.8 L_d para barras corrugadas y alambre corrugado en tracción.

La longitud básica de desarrollo L_d para barras corrugadas en compresión debe calcularse como la mayor de las siguientes expresiones:

$$\left(\frac{f_y \Psi_r}{50 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$0.0003 f_y \Psi_r d_b$$

Fig. 2.9 L_d para barras corrugadas en compresión

2.2.1.1 Requerimientos de la ACI 318-14

Según estipula el código del American Concrete Institute:

Para las barras mayores de No.11, no se deben utilizar empalmes por traslapo. Debido a la carencia de datos experimentales adecuados sobre empalmes por traslapo de barras No.14 y No. 18 en compresión y en tracción, el empalme por traslapo de barras de estos tamaños está prohibido.

Para barras empalmadas por traslapo sometidas a flexión y que no quedan en contacto entre sí, el espaciamiento transversal centro a centro de las barras empalmadas no debe exceder el menor de $1/5$ de la longitud de empalme por traslapo requerida y 6 pulg. Si las barras individuales en un empalme por traslapo sin contacto están demasiado separadas se crea una sección no reforzada. Entonces, como precaución mínima debe forzarse la fisura potencial para que siga una línea en zigzag (pendiente 5 a 1).

El espaciamiento máximo de 6 pulg se incorpora debido a que la mayoría de los datos de ensayos de empalmes por traslapo de barras corrugadas se obtuvieron con refuerzo que estuvo dentro de este espaciamiento.

La longitud de desarrollo empleada para obtener la longitud del empalme por traslapo, debe basarse en el f_y porque las clasificaciones de empalmes ya reflejan cualquier exceso de refuerzo en el sitio del empalme.

Los empalmes por traslapo sometidos a tracción se clasifican como Clase A y B, en los cuales la longitud del empalme por traslapo es un múltiplo de la longitud de desarrollo en tracción.⁷

⁷ (ACI, 2014)

Esfuerzo de la barra en tracción	Detalles del traslazo	Tipo de empalme
$\leq 0.5f_y$	$\leq 50\%$ de las barras se empalman en cualquier sección y los empalmes por traslazo en barras adyacentes están escalonados una distancia ℓ_d como mínimo	Clase A
	Otros	Clase B
$> 0.5f_y$	Todos los casos	Clase B

Fig. 2.10 Clase de empalmes por traslazo a tracción.

barras y alambres corrugados a tracción				
$A_s, colocado / A_s, requerido$ en la longitud del empalme ^[1]	Porcentaje máximo de A_s empalmado dentro de la longitud de traslazo requerida	Tipo de empalme	ℓ_{st}	
≥ 2.0	50	Clase A	Mayor de:	$1.0\ell_d$ y 12 pulg.
	100	Clase B		
< 2.0	Todos los casos	Clase B	Mayor de:	$1.3\ell_d$ y 12 pulg.

^[1]Relación entre el área de refuerzo colocado y el área de refuerzo requerida por análisis en la ubicación de empalme.

Fig. 2.11 Análisis de ubicación de empalme.

El requisito de una longitud de traslazo de dos niveles fomenta el empalme de las barras en puntos de esfuerzo mínimo y a escalonar los escalonados, el espaciamiento libre es la distancia mínima entre empalmes adyacentes para mejorar el comportamiento de detalles críticos. Para calcular longitud de desarrollo de empalmes.

Los requisitos para empalmes por traslazo en tracción, fomentan la localización de los empalmes por traslazo fuera de las zonas de esfuerzos de tracción altos.

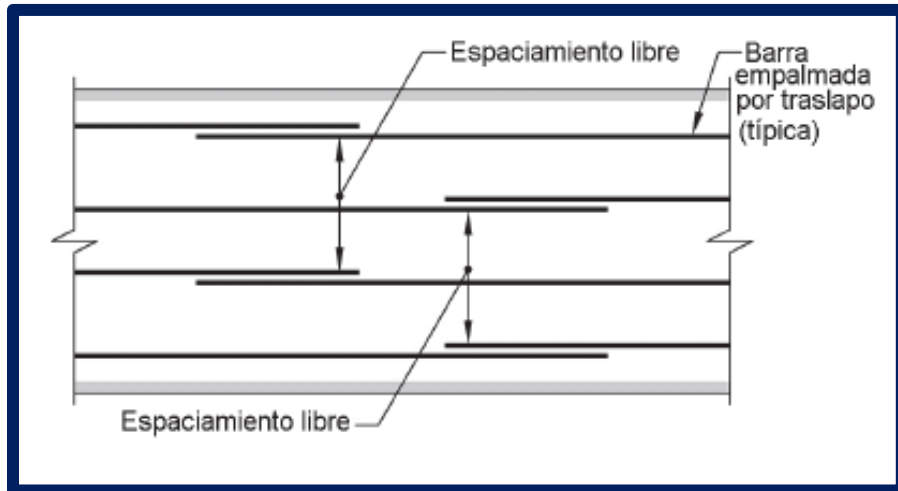


Fig. 2.12 Espaciamiento libre de barras empalmadas para determinar l_d de los empalmes escalonados.

La longitud de traslapeo debe permitir la transferencia de carga de una barra a la otra a través del concreto que las rodea, las fuerzas que allí actúan generan tensiones cortantes. El empalme alcanza su máxima eficiencia dependiendo de la capacidad del concreto para transmitir estas tensiones sin desintegrar el conjunto o deformándolo excesivamente.

Ya que el ACI clasifica los empalmes por traslapeo según esfuerzos aplicados en el elemento por tracción o compresión, es bueno aclarar que los factores de amplificación son menores en elementos sometidos a compresión ya que requieren menor longitud de desarrollo por lo que la longitud del empalme del traslapeo es menor.

El comportamiento por adherencia de las barras en compresión no se dificulta por el problema de la figuración transversal por tracción y, por lo tanto, los empalmes en compresión no requieren de requisitos tan estrictos como los especificados para los empalmes en tracción.

La longitud de un empalme por traslape en compresión de barras corrugadas No. 11 o menores sometidas a compresión, debe determinarse de acuerdo con lo siguiente:

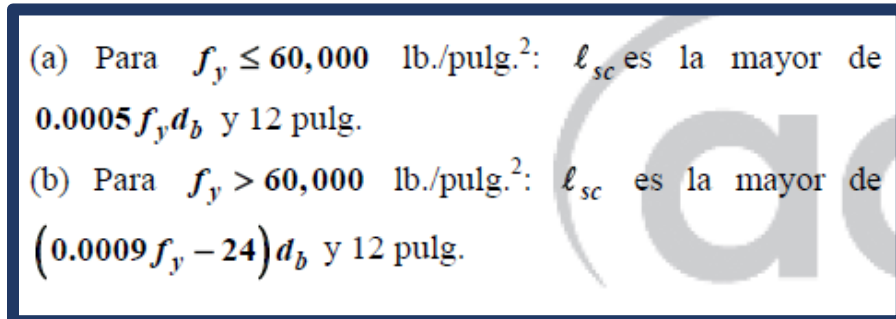
- 
- (a) Para $f_y \leq 60,000$ lb./pulg.²: l_{sc} es la mayor de $0.0005 f_y d_b$ y 12 pulg.
- (b) Para $f_y > 60,000$ lb./pulg.²: l_{sc} es la mayor de $(0.0009 f_y - 24) d_b$ y 12 pulg.

Fig. 2.13 Longitud de traslape a compresión

Para $f'c$ menor 3000 lb/pulg.2, la longitud del empalme por traslape debe incrementarse en un tercio en elementos sometidos a compresión.

En cuanto a la longitud de desarrollo de cada varilla a tracción o compresión, dentro de un paquete de varillas, esta debe ser aumentada en un 20% para paquetes de tres varillas, y en un 33% para paquetes de cuatro varillas. Sin embargo, cuando se trate de paquetes de varillas, los traslapes deberán ser escalonados.

2.2.1.2 Requerimiento del R-033

En su Artículo 410, el r-033 establece las siguientes normas para empalmar barras por solape:

Artículo 410. EMPALMES POR SOLAPE. Este tipo de empalmes se realizará colocando las barras una al lado de otra, dejando una separación entre ellas de $4d_b$ como máximo. La longitud de solape l_d será la indicada en el Título II, Capítulo II, Sección 2. ⁸

⁸(R-033, 2012)

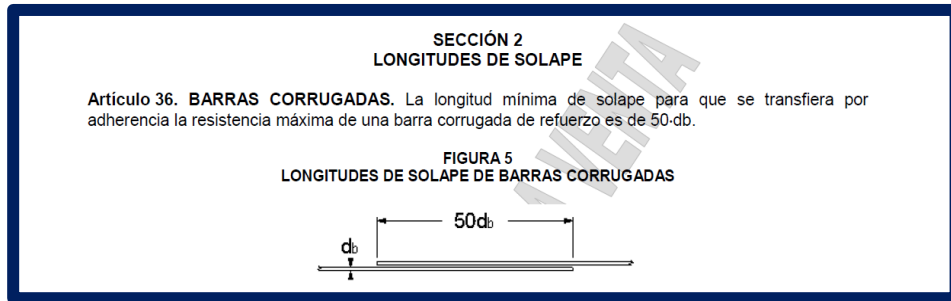


Fig. 2.14 Longitud de solape.

2.2.2 Empalmes mecánicos

Debido a que en la actualidad el construir edificios de hormigón armado de gran envergadura se ha vuelto una tendencia habitual, ha surgido la necesidad de limitar el uso de los empalmes por traslape a determinadas condiciones de la estructura. Ante esto, los empalmes mecánicos ofrecen ciertas ventajas.



Fig. 2.15 Empalmes mecánicos en barras de diferentes diámetros.

Los empalmes mecánicos son piezas metálicas que conectan una varilla con la otra, usualmente a tope. En la actualidad, este tipo de empalme es muy utilizado mayormente en países desarrollados, quizás por ofrecer mayor cantidad de ventajas que los demás y que estudiaremos en este trabajo de investigación.

2.2.2.1 Tipos de empalmes mecánicos

En el mercado existen diversos tipos de estos empalmes mecánicos, entre estos están conectores que se presionan mecánicamente a las barras de acero, dispositivos con rosca en la barra, conectores que se presionan con tornillos, algunos especiales con tendencia antisísmica, etc.

Desde el punto de vista antisísmico, hay dos tipos:

- **Empalme mecánico Tipo 1:** este debe desarrollar por lo menos 125% del esfuerzo de fluencia (f_y) del acero de la varilla. Se pueden usar en pórticos asísmicos especiales o muros estructurales especiales (ver ACI 318-08, 21.1.1.7)
- **Empalme mecánico Tipo 2:** este debe desarrollar por lo menos un esfuerzo igual a la carga de rotura (f_s) del acero de la varilla. Se pueden usar en cualquier localización. ⁹

Con respecto a las conexiones mecánicas, existen dos tipos de dispositivos para efectuar los empalmes de barras:

- **Coplas y conectores:** Usadas tanto para barras sometidas a tracción como a compresión.⁹
- **Conectores de tope:** Recomendados solamente como empalmes para esfuerzos de compresión. ⁹

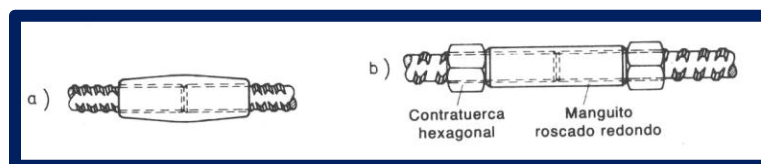


Fig. 2.16 Conectores a tope.

⁹. Rodrigo Andrés Arriagada, (2007).

Como criterio básico, se debe considerar que la calidad del acero de las coplas, manguitos y de los conectores de tope, debe ser, a lo menos, equivalente al de las barras, además que las uniones deben desarrollar a lo menos el 125% de la tensión de fluencia especificada para el acero de las barras empalmadas cuando la armadura se encuentre en zonas comprimidas o traccionadas.

Como es de saberse, los empalmes mecánicos tienen la función de unir una barra con otra a través de un dispositivo mecánico, cuya unión o empalme pueden efectuarse en distintas partes de una estructura. A continuación, se presentan algunos casos donde los conectores son utilizados para otras aplicaciones:

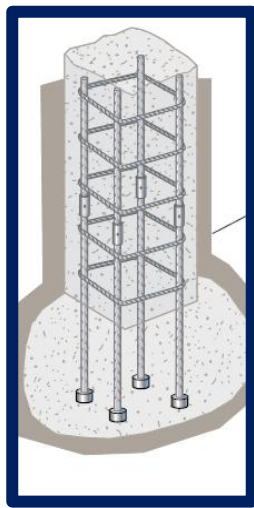


Figura 2.17 Conectores utilizados como cabezas de pilas y pies de columnas en fundaciones.

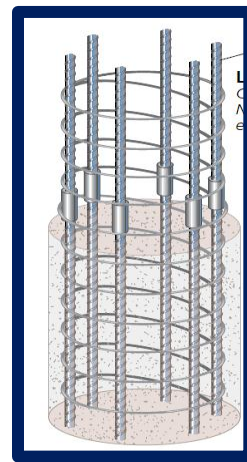


Figura 2.18. Conector entre barras para alcanzar longitudes deseadas.

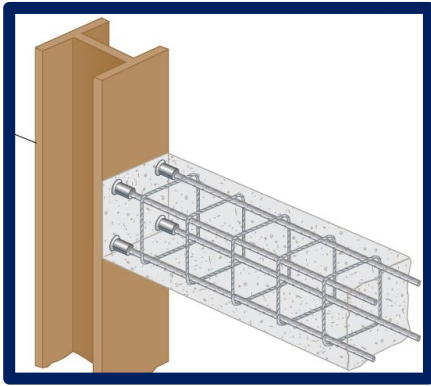


Figura 2.19. Conector diseñado para soldaduras de elementos estructurales metálicos.

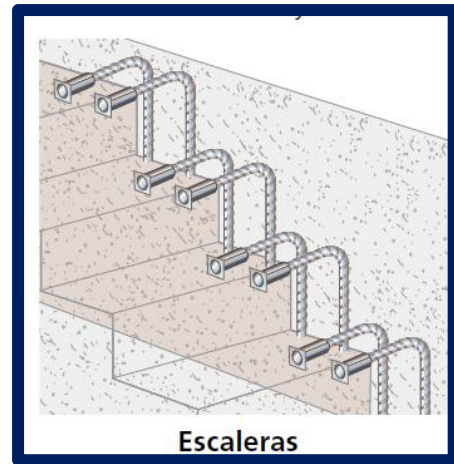


Figura 2.20. Conector utilizado en obras construidas por fases sucesivas. Elimina la necesidad de doblar y enderezar barras.

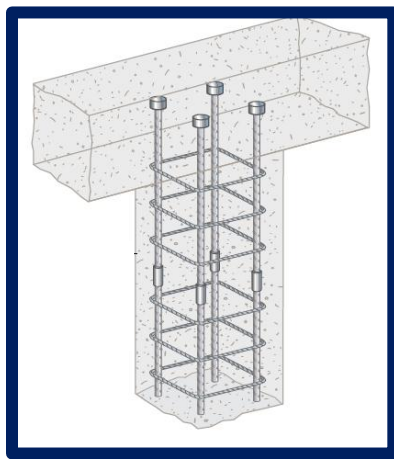


Figura 2.21. Para conexiones de dos extremos donde ninguna de las dos barras puede girar, y una de las barras puede moverse en dirección axial.

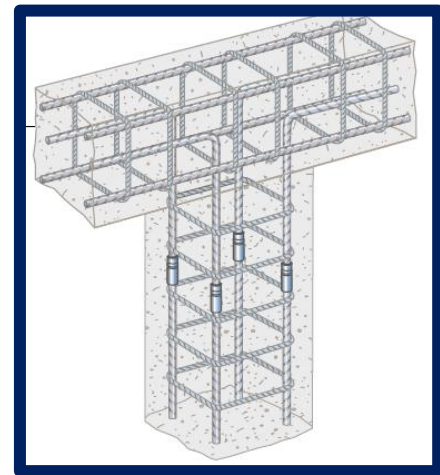


Figura 2.22. En lugar de una sección con barras de armaduras dobladas.

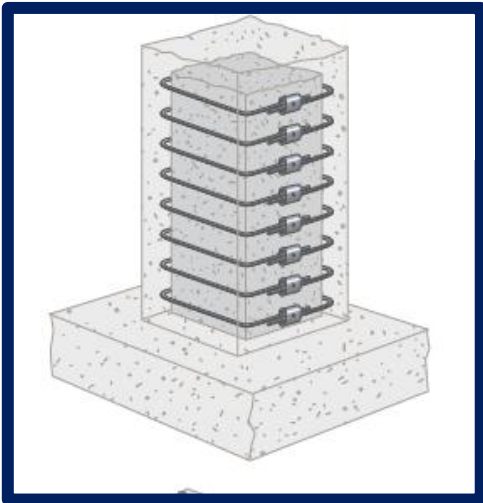


Figura 2.23. Conectores utilizados para reparar o extender columnas existentes.

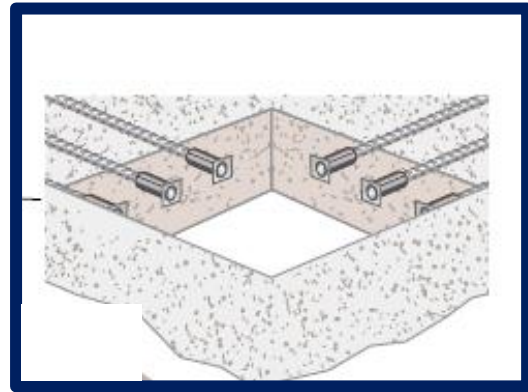


Figura 2.24. Utilizados para aberturas temporales para la utilización de máquinas en la obra.

2.2.2.2 Requerimientos de la ACI 318-14

- En la edición 2014 del Reglamento se eliminaron los empalmes soldados y mecánicos con resistencias menores a $1.25 f_y$. Con ello, se eliminó el término “totalmente” en la referencia a empalmes soldados y mecánicos que desarrollan por lo menos $1.25 f_y$.
- R25.5.7.1 El esfuerzo máximo en el refuerzo usado para diseño dentro del Reglamento, es la resistencia especificada a la fluencia. Para asegurar una resistencia suficiente en los empalmes de manera que se pueda producir la fluencia en el miembro y evitarse así una falla frágil, se seleccionó el 25 por ciento de incremento sobre la resistencia a la fluencia especificada, tanto como un valor mínimo por seguridad y un valor máximo por economía.
- R25.5.7.3 A pesar de que los empalmes soldados o mecánicos no necesitan estar escalonados, dicho escalonamiento es aconsejable por facilidad

constructiva de modo que haya suficiente espacio alrededor del empalme para instalarlos y cumplir con los requisitos de espaciamiento libre.⁷

2.2.2.3 Requerimientos del R-033

- Los empalmes realizados mediante dispositivos mecánicos de unión se deberán realizar de acuerdo con los procedimientos establecidos por los fabricantes.
- Los dispositivos de empalme deberán tener, al menos, la misma capacidad resistente que la menor de las barras que se empalmen y no presentar un desplazamiento relativo mayor que 0.1 mm, bajo la tensión de servicio.
- Se admite concentrar la totalidad de estos empalmes en una misma sección siempre y cuando no afecte a la colocación del hormigón.

2.2.3 Empalmes soldados o fundidos

Es un sistema empleado por décadas en las uniones de rieles y barras de construcción. La introducción de este sistema, se le atribuye a los japoneses.

Consiste en calentar el material a una temperatura de 12,000 grados y someter a presión controlada por menos de un minuto, hasta que las moléculas se unan unas con las otras y así formar una unión con las mismas características del material original, destacando que en el punto de unión, el diámetro que se une tras la fundición, es más fuerte que el diámetro nominal.

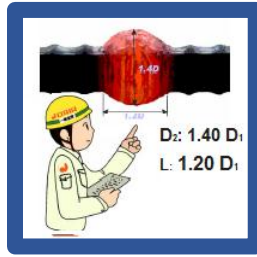


Fig. 2.25 Soldadura a tope.

Se utiliza en todo tipo de obras tales como presas, puentes, edificios, fundaciones, entre otras. Por lo general, son prácticos y convenientes ya que se logra una perfecta continuidad en las barras unidas por este sistema.

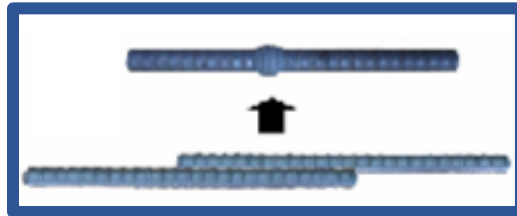


Fig. 2.26 Empalme soldado vs empalme traslapado.

En los empalmes soldados se requerirá considerar la soldabilidad del acero en cuanto a su composición química o índice de Carbono Equivalente (CE). Los empalmes por soldadura deben ser sometidos a un control de calidad muy exigente, el que debería incluir muestras preparadas en el mismo sitio de la obra, para asegurar las características de resistencia y deformación.

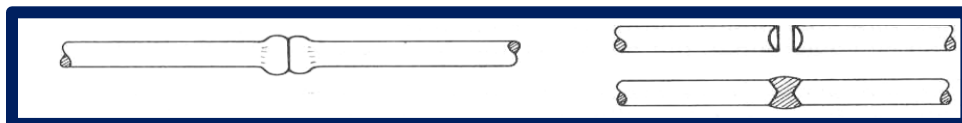


Fig. 2.27 Empalmes por soldadura.

2.2.3.1 Requerimientos del R-033

El Reglamento para Diseño y Construcción para estructuras de Hormigón Amado en su artículo 414, establece los siguientes requerimientos para los empalmes soldados.

- Los empalmes por soldadura se deberán realizar de acuerdo con los procedimientos de soldadura descritos en la norma “Código de Soldadura Estructural – Acero de Refuerzo” (Structural Welding Code – Reinforcing Steel) AWS D1.4-92, y ser ejecutados por operarios debidamente cualificados.
- Las superficies a soldar se deberán encontrar secas y libres de todo material que pudiera afectar la calidad de la soldadura.
- Queda expresamente prohibida la soldadura de armaduras galvanizadas o con recubrimientos epóxicos.
- No se podrán disponer empalmes por soldadura en los tramos de fuerte curvatura del trazado de las armaduras.
- Las soldaduras a tope de barras de distinto diámetro se podrán realizar siempre que la diferencia entre diámetros sea inferior a 3 milímetros.
- No se podrán realizar soldaduras en períodos de intenso viento o cuando esté lloviendo, a menos que se adopten las debidas precauciones, tales como: la disposición de pantallas o cubiertas protectoras, y se proteja adecuadamente la soldadura para evitar un enfriamiento rápido.

2.3 Marco conceptual

- **Acero de refuerzo:** es un importante material para la industria de la construcción utilizado para el refuerzo de estructuras y demás obras que requieran de este elemento, en conformidad con los diseños y detalles mostrados en los planos y especificaciones. El acero de refuerzo es el que se coloca para absorber y resistir esfuerzos provocados por cargas y cambios volumétricos por temperatura y que queda dentro de la masa del concreto.
- **F_y:** Resistencia a la fluencia del acero.
- **F'_c:** Resistencia última a compresión del concreto.
- **Acero/concreto:** relación que permite analizar la rentabilidad del acero respecto al concreto o viceversa. Conocido también como cuantía.
- **Fuerzas de adherencia:** mecanismo básico de transferencia de las solicitaciones que actúan desde el hormigón hacia el acero de refuerzo, y desde el acero de refuerzo hacia el hormigón.
- **Fallas de separación:** se refiere a las fallas producidas cuando en un elemento estructural se percibe separaciones mayores que las normales entre sus partículas. Estas fallas pueden ser parciales, cuando una estructura presenta fisuras o grietas o totales, cuando se muestra el colapso masivo de la misma.
- **Longitud de desarrollo:** Longitud de embebido del refuerzo, incluyendo torones de preesforzado, que se requiere para poder desarrollar la resistencia de diseño del refuerzo en una sección crítica.
- **Deformación unitaria neta en tracción:** Es cuando se alcanza la resistencia nominal, excluidas las deformaciones unitarias debidas al preesforzado efectivo, flujo plástico, retracción y temperatura.

- **Estricción:** Es la reducción de la sección que sufre la probeta en la zona de rotura. El alargamiento y la estricción se usan para ver el grado de ductilidad del metal.
- **Tracción:** esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de dos fuerzas que actúan en sentido opuesto, y tienden a estirarlo.
- **Compresión:** esfuerzo al que está sometido un cuerpo por la aplicación de fuerzas que actúan en el mismo sentido, y tienden a acortarlo.
- **Flexión:** combinación de esfuerzos de compresión y de tracción. Mientras que las fibras superiores de la pieza están sometida a un esfuerzo de flexión (se alargan), las inferiores se acortan, o viceversa, produciendo una deformación a lo largo de su eje, que tiendan a doblarlo.

CAPITULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Enfoque de la investigación

La perspectiva metodológica de esta investigación será cualitativa, debido a que se desea cualificar, evaluar y comparar, tanto los empalmes por traslape como los empalmes mecánicos, teniendo en cuenta aspectos como, los beneficios de cada uno, la funcionabilidad que desempeñan, el uso en que se aplican y la confiabilidad que ofrecen. Por otra parte, será cuantitativa porque se evaluarán sus costos para el objetado análisis económico.

Se pretende llevar a cabo pruebas de laboratorio en las que se evalúe la resistencia máxima que pueda soportar el mecanismo de empalme, utilizando el método de empalme mecánico. Por otro parte, también se proyecta realizar un análisis de factibilidad económica para determinar la diferencia de costos con los métodos tradicionales, como es el empalme por traslape.

3.2 Tipo de investigación

Esta investigación incluye la recolección de datos e informaciones para el avance del conocimiento, por tanto, de acuerdo a los objetivos planteados en el capítulo I, esta investigación se considera descriptiva, ya que, se enfocan los aspectos más característicos de los objetos de estudio para un mayor alcance de resultados.

Esta investigación también posee carácter documental debido a la obtención de información, y experimental por las pruebas de laboratorio que se realizarán a los conectores mecánicos formando probetas con barras de acero de refuerzo.

3.3 Procedimiento de la investigación

Para el desarrollo de los primeros capítulos de esta investigación, se procedió a la búsqueda de información bibliográfica a través de diferentes fuentes, tal como la utilización de libros, enciclopedias, páginas web y mediante la asesoría de profesionales capacitados en el área de la ingeniería.

A través de pruebas de laboratorio se obtuvieron parte de los resultados que ayudaron a sustentar la investigación, dándole mayor credibilidad en el momento de contestar las interrogantes que se han planteado. Por otra consiguiente, se evaluaron los valores económicos de cada método de empalme basado en los costos unitarios en el mercado dominicano, para llevar a cabo el análisis económico que se pretende realizar.

3.4 Métodos y técnicas de investigación

3.4.1 Métodos de investigación

Entre los métodos de investigación que serán aplicados se destaca el método analítico, ya que durante el proceso de investigación se desglosará el tema en sus diversas partes y propiedades, elaborando un análisis que permita la segregación del tema en sus múltiples facetas.

También se implementará el método comparativo, ya que la investigación se basa en la comparación de ambos métodos de empalmes (mecánicos y por traslapo), estableciendo sus relaciones, diferencias, semejanzas y beneficios.

3.4.2 Técnicas de investigación

Unas de las técnicas a emplear es el análisis documental, en virtud de que la investigación es de carácter documental, apoyándose en la recopilación de los antecedentes del caso a través de documentos formales e informales con categoría fiables.

La observación forma parte de las técnicas de investigación a utilizar, ya que para el estudio de ambos métodos de empalme (empalme por traslapo y empalme mecánico) es necesario estudiar más de cerca las características y desempeño de las unidades de análisis.

Otra técnica que será parte y a la vez, un soporte importante a esta investigación, es la realización de un pequeño sondeo para diagnosticar la divulgación técnica de los empalmes mecánicos en la República Dominicana.

3.5 Unidades de análisis

Se tomarán muestras representativas de empalmes mecánicos prensados, para barras de acero corrugado con diámetros preseleccionados y comerciales en República Dominicana.

3.6 Análisis de datos

Se realizarán ensayos a cada una de los diámetros escogidos, empleando los métodos de empalmes mecánicos, para verificar principalmente que la fluencia se produzca en las barras de acero corrugado y, así como también, verificar sus condiciones mínimas de aceptación para resistir por lo menos 1,25 veces el f_y propiamente de la barra mas no del empalme (establecido por el ACI), a través de las pruebas de laboratorio.

El análisis de costos será realizado con valores comerciales propios de República Dominicana, tanto de empalmes mecánico, como de los empalmes por traslapo, los cuales

requieren componentes adicionales (alambre para amarre) y en ambos casos, el componente de mano de obra.

CAPITULO IV. PRUEBAS DE RESISTENCIA EN LABORATORIO

4.1 Ensayo de probetas de acero a tracción

En este capítulo, se desea demostrar el comportamiento de las barras de acero, utilizando empalmes de armadura mecánicos sometidos a tracción. Se efectuaron ensayos a un número determinado de probetas de diámetros comerciales y estándar. Barras de acero de 1" y 3/4".

Estos ensayos se llevaron a cabo en el laboratorio Atteco en Santo Domingo, República Dominicana. Este laboratorio cuenta con una máquina de ensayo a tracción, la cual fue hecha por el personal del laboratorio. Dicha máquina fue utilizada para fines de este ensayo, con la finalidad de romper las probetas de acero.

La máquina es capaz de aplicar cargas de tracción y compresión llegando a más de 20 toneladas, además, estas cargas pueden ser aplicadas con una variación de velocidad en la aplicación.

En el ensayo se tomaron las probetas de ambos extremos y se aplicó la carga que se fue incrementando hasta lograr que las probetas lleguen a presentar deformaciones visibles y posteriormente a la rotura. Con esto, se pretendió simular el esfuerzo a tracción que sufre una barra de acero utilizando el empalme mecánico, frente a ciertas circunstancias reales, como un sismo de fuerte impacto, por ejemplo.

En la realización del ensayo, se utilizaron los siguientes instrumentos:

- Prensa hidráulica
- Botella hidráulica de 61.5 toneladas de capacidad.
- Extensómetro análogo, para medir la deformación elástica.
- Bomba hidráulica con capacidad de 10,000 psi.

La realización de este ensayo se llevó a cabo, a través de los siguientes procedimientos:

4.1.1 Para primer ensayo: Probeta de 1”.



Fig. 4.1 Ensayo en laboratorio.

En primera instancia, se prepararon todos y cada uno de los instrumentos y maquinarias que se utilizó en la prueba.



Fig. 4.2 Ensayo en laboratorio.

En esta oportunidad, se procedio a colocar la barra en la maquina a traccion.



Fig. 4.3 Ensayo en laboratorio.

De esta forma se presenta la barra la barra correctamente colocada, antes de ser sometida a tracción.



Fig. 4.4 Ensayo en laboratorio.

En este momento, se aplicó las cargas en toneladas a la barra y se leyó las presiones respecto a las cargas para determinación de deformación elástica.



Fig. 4.5 Ensayo en laboratorio.

Falla en cabezal de probeta de 1". Como se puede apreciar, la probeta rompió por sus extremos superiores.

4.1.2 Para ensayo numero dos: Probeta $\frac{3}{4}$ ".



Fig. 4.6 Ensayo en laboratorio.

Se colocó la barra en maquina a tracción.



Fig. 4.7 Ensayo en laboratorio.

Se colocaron los instrumentos necesarios.



Fig. 4.8 Ensayo en laboratorio.

En este momento, se aplicó las cargas en toneladas a la barra y se leyó las presiones respecto a las cargas para determinación de deformación elástica.

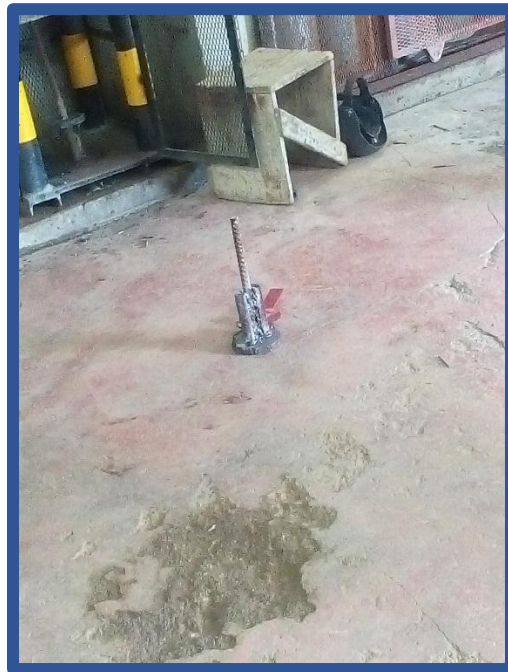


Fig. 4.9 Ensayo en laboratorio.

En esta parte, se puede notar la rotura que presentó la barra, desprendiendo una gran parte de sus extremos superiores.

A continuación, se presenta un pequeño resumen de los ensayos realizados:

No	Barra	Presión (PSI)	Carga Rotura (TON)
1	1"	4800	28.2
2	3/4"	2900	17.01

Tabla 4.1 Resumen de ensayo.

CAPITULO V. ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

5.1 Análisis económico y financiero

5.1.1 Descripción

El análisis económico y financiero, tiene como finalidad la evaluación económica de alternativas, con el objetivo de evaluar la rentabilidad de las mismas en términos económicos, considerando el valor presente existente en el mercado de nuestro país.

5.2 Método de evaluación

Para este análisis se utilizará el método de comparación de costos en unidades monetarias, para establecer cual alternativa es más rentable económicamente.

5.2.1 Supuestos y condiciones

- Los precios están contemplados en el mercado dominicano.
- Los tipos de conectores mecánicos serán los conectores cilíndricos prensados.
- Debido a que en el mercado dominicano se utiliza el método de empalme por fundición (aunque no posee demandas significativas), dicho método se incluye en el análisis de costos.
- Se obtuvieron cotizaciones de la empresa ING.ARQ.L&F, a partir de estas, se extrajo el precio unitario de los conectores mecánicos y el método de

fundición. Las partidas de maquinarias y operaciones son obtenidas de las mismas.

- El análisis de los empalmes por traslape se llevó a cabo mediante los costos por quintales, obteniendo así el precio por unidad de traslape, dependiendo ciertas condiciones que se definieron en el proceso.

5.3 Empalmes por traslape

5.3.1 Características económicas

A la hora de tomar una decisión entre alternativas, económicamente hablando, es importante conocer las características económicas que poseen dichas alternativas. En esta oportunidad, señalaremos algunas de las características económicas que presentan los empalmes traslapados:

- Las longitudes de acero están basadas según el diámetro de las barras.
- Se analizan mediante la clasificación del ACI y las normativas del R-033.
- Se elevan costos de transportación de acero.
- Los tiempos de operación en obra, son más largos.

5.3.2 Análisis de costos

En el siguiente recuadro, se presentan los gastos incurridos en la ejecución de empalmes por traslape de 1 pulgada por quintal, sin tomar en cuenta los costos tras agregar la longitud de traslape:

ANÁLISIS EMPALMES POR TRASLAPE				
DESCRIPCION	CANT.	Unidad	Precio Uni.	Total RD\$
MATERIALES				
Acero grado 60, 1"	1	qq	1873.99	1873.99
Alambre #18	2	lb	29.94	29.94
				1903.93
MANO DE OBRA				
Mano de obra acero (vigas y cols)	1	qq	392.00	392.00
TOTAL EN RD\$ POR QUINTAL				2295.93

Tabla 5.1 Análisis de empalmes por traslape.

Análisis de costos basados en el ACI

Por tracción

El cálculo de la longitud de empalme por traslape se basa principalmente en la longitud de desarrollo. El ACI clasifica los empalmes y les otorga un factor de amplificación según las condiciones.

Empalme Clase A:	$L_e = 1.0 L_d$
Empalme Clase B:	$L_e = 1.3 L_d$

Fig. 5.1 Longitud de desarrollo por clase de traslape.

Según el ACI para obtener la longitud de desarrollo de elementos a tracción esta debe ser calculada con una de estas dos expresiones:

$$\ell_d = \left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{6.6 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$$

$$\ell_d = \frac{f_y}{3.5 \lambda \sqrt{f'_c}} \frac{\Psi_t \Psi_e \Psi_s}{\left(\frac{c_b + K_{tr}}{d_b} \right)} d_b$$

Fig. 5.2 Ecuaciones de obtención de L_d .

También asume una longitud mínima de empalme de 12 pulgadas (30.48 cm).

De estas dos ecuaciones anteriores se puede usar ambas ya que, solo se diferencia en que una posee las disposiciones simplificadas y la otra es la ecuación general de longitud de desarrollo, se debe de tomar en cuenta los factores de modificación para el desarrollo de las barras que corresponde a cada una de ellas según su condición.

Factor de modificación	Condición	Valor del factor
Concreto de peso liviano λ	Concreto de peso liviano	0.75
	Concreto de peso liviano, donde f_{ct} se especifica	De acuerdo con 19.2.4.3
	Concreto de peso normal	1.0
Epóxico ^[1] Ψ_e	Refuerzo con recubrimiento epóxico o zinc y barras con recubrimiento dual de zinc y epóxico con menos de $3d_b$ de recubrimiento, o separación libre menor que $6d_b$	1.5
	Refuerzo con recubrimiento epóxico o zinc y barras con recubrimiento dual de zinc y epóxico para todas las otras condiciones	1.2
	Refuerzo sin recubrimiento o refuerzo recubierto con zinc (galvanizado)	1.0
Tamaño Ψ_s	Para barras No. 7 y mayores	1.0
	Para barras No. 6 o menores y alambres corrugados	0.8
Ubicación ^[1] Ψ_t	Más de 12 pulg. de concreto fresco colocado bajo el refuerzo horizontal	1.3
	Otra	1.0

^[1] El producto ($\Psi_t \Psi_e$) no hay necesidad de que exceda 1.7.

Fig. 5.3 Factores de modificación para el desarrollo de las barras corrugadas y alambres corrugados en tracción

En el siguiente recuadro utilizamos las ecuaciones anteriores con la finalidad de obtener la longitud de desarrollo a tracción a determinadas condiciones. Para la estimación del costo de la longitud de empalme analizaremos la barra No. 8, en base a los empalme clase A y B, utilizaremos $f'c$ 210 kg/cm² y Fy 4200 kg/cm².

Longitud de traslape en barras No. 8 sometidas a tracción						
Clase de empalme	Diámetro	Fy	$f'c$	$f'c^{0.5}$	Ld	Longitud traslape
	(cm)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(cm)	(m)
A	2.54	4200	210	14.49	139.42	1.394
B	2.54	4200	210	14.49	139.42	1.813

Tabla 5.2 Longitud de traslape en barras No. 8

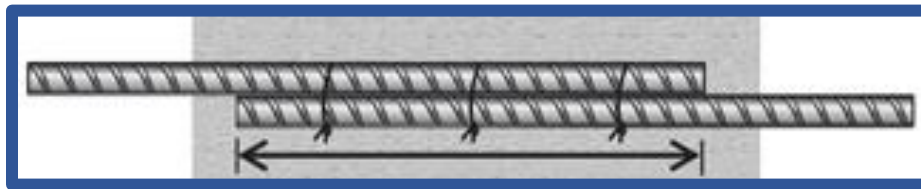


Fig. 5.4 Longitud de traslape.

Obtenida la longitud de traslape se calculó el peso en kilogramos de la longitud requerida para empalmar y este peso se llevó a quintales. Por medio de la tabla del análisis de la barra por quintal, se multiplicó el costo total por los quintales obteniendo el precio de empalme por traslape según las condiciones antes expuestas.

En la siguiente tabla, se puede observar el análisis de costos del empalme por traslape, sujeto a las mismas condiciones pero con barras de distinto tamaño incluyendo la anteriormente analizada, observando así que mientras mayor es el diámetro de la barra aumenta el costo de empalme.

Clase de empalme	Barra No.	Medida (pulg)	a	b	c	d	Costo en obra por quintal de la barra (RD\$)	Costo total del traslape (RD\$)
			Longitud Requerida (m)	Peso de Barra (Kg/m)	a*b (Kg)	c (quintales)		
A	11	1 3/8	1.917	7.907	15.158	0.1516	2395.93	363.19
	8	1	1.394	3.975	5.542	0.0554	2295.93	127.24
	6	3/4	0.837	2.25	1.882	0.0188	2286.75	43.04
	4	1/2	0.558	0.996	0.555	0.0056	2331.31	12.95
	3	3/8	0.417	0.557	0.232	0.0023	2311.63	5.37
B	11	1 3/8	2.492	7.907	19.706	0.1971	2395.93	472.14
	8	1	1.813	3.975	7.205	0.0720	2295.93	165.42
	6	3/4	1.09	2.25	2.447	0.0245	2286.75	55.95
	4	1/2	0.73	0.996	0.722	0.0072	2331.31	16.83
	3	3/8	0.54	0.557	0.302	0.0030	2311.63	6.98

Tabla 5.3 Costos de traslape para barras comerciales

Por compresión

El comportamiento por adherencia de las barras en compresión no se dificulta por el problema de la fisuración transversal por tracción y, por lo tanto, los empalmes en compresión no requieren de requisitos tan estrictos como los especificados para los empalmes en tracción.

25.5.5.1 La longitud de un empalme por traslape en compresión, ℓ_{sc} , de barras corrugadas No. 11 o menores sometidas a compresión, debe determinarse de acuerdo con (a) o (b):

(a) Para $f_y \leq 60,000$ lb./pulg.²: ℓ_{sc} es la mayor de $0.0005 f_y d_b$ y 12 pulg.

(b) Para $f_y > 60,000$ lb./pulg.²: ℓ_{sc} es la mayor de $(0.0009 f_y - 24) d_b$ y 12 pulg.

Para $f'_c < 3000$ lb./pulg.², la longitud del empalme por traslape debe incrementarse en un tercio.

Fig. 5.5 Longitud de un empalme por traslape

$$0.0073 f_y d_b$$

Fig. 5.6 Ecuación para caso (a) en el sistema mks esfuerzos en kgf/cm²

Al igual que el análisis anterior de los empalmes por traslape a tracción utilizaremos F'c 210 kg/cm² y Fy 4200 kg/cm². En donde para las mismas condiciones tenemos:

Barra No.	Medida	Diámetro	a	b	c	d	Costo en obra por quintal de la barra (RD\$)	Costo total del traslape (RD\$)
	(pulg)	(cm)	Longitud Requerida (m)	Peso de Barra (Kg/m)	a*b (Kg)	c (quintales)		
11	1 / 8	3.4925	1.0708	7.9070	8.4668	0.085	2395.93	202.85
8	1	2.54	0.7788	3.975	3.096	0.0310	2295.93	71.07
6	¾	1.905	0.5841	2.250	1.314	0.0131	2286.75	30.05
4	½	1.27	0.3894	0.996	0.388	0.0039	2331.31	9.04
3	3/8	0.95	0.3048	0.557	0.170	0.0017	2311.63	3.92

Tabla 5.4 Costos traslape a compresión según ACI

Análisis de costos basado en el R-033

Según el R-033 la longitud mínima de traslape para que se transfiera por adherencia la resistencia máxima de una barra corrugada de refuerzo es de 50db. En el análisis no se muestra la barra No. 11 debido a que en estructuras diseñadas usando este Reglamento, no se utilizan barras corrugadas de más de ø1" (No 8).

Barra No.	Medida	Diámetro	a	b	c	d	Costo en obra por quintal de la barra (RD\$)	Costo total del traslape (RD\$)
	(pulg)	(cm)	50db (m)	Peso de Barra (Kg/m)	a*b (Kg)	c (quintales)		
8	1	2.54	1.27	3.975	5.048	0.0505	2295.93	115.90
6	¾	1.905	0.95	2.250	2.143	0.0214	2286.75	49.01
4	½	1.27	0.64	0.996	0.632	0.0063	2331.31	14.74
3	3/8	0.95	0.48	0.557	0.265	0.0026	2311.63	6.12

Tabla 5.5 Costos traslape a compresión según r-033

5.4 Empalmes mecánicos

5.4.1 Características económicas

- Elementos sin congestión y distribución de acero de manera uniforme, garantizando espaciamiento entre barras y entrada del concreto para adherencia.
- El proceso de prensado se ejecuta en obra.
- Se incrementa el costo de mano de obra por prensado de empalme en cada barra a unir ya requiere cierta especialización técnica para la manipulación de maquinarias.
- No se requieren amarres por lo que se despreja el costo del alambre.
- Solo una empresa del país se dedica a su distribución por lo que carece de oferta en el mercado.

5.4.2 Análisis de costos

ANÁLISIS EMPALMES POR CONECTORES			
DESCRIPCIÓN	CANT.	Precio Uni	Total RD\$
MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
Suministro Conector Bargrip “XL”	1	1384.3	1384.3

Tabla 5.6 Análisis económico por empalmes mecánicos.

5.5 Empalmes soldados

5.5.1 Análisis de costo

ANÁLISIS EMPALMES FUNDIDOS			
DESCRIPCIÓN	CANT.	Precio Uni	Total RD\$
MATERIALES, MANO DE OBRA Y EQUIPOS			
Conectores Fundidos #8, 7cm	1	477.888	477.888

Tabla 5.7 Análisis económico de empalmes soldados.

CAPITULO VI. ANÁLISIS DE LA FUNCIONABILIDAD DE LOS DIFERENTES MÉTODOS DE EMPALME

6.1 Empalmes por traslape

6.1.1 Funcionabilidad

En los empalmes por traslape, la transferencia de esfuerzos de una barra a otra se hace a través del hormigón que rodea ambas barras. La adherencia es protagonista en este método ya que su funcionamiento depende de ella y su capacidad de continuidad de carga.

En algunos casos en el hormigón se generan tensiones muy elevadas y se presentan fuerzas que tienden a la falla por separación. A razón de esto, la integridad de un empalme por traslape depende de que se pueda desarrollar la adherencia entre barra y hormigón sin que éste se desintegre.

Como los empalmes traslapados pueden emplearse a tracción o compresión, su funcionabilidad puede variar, como se muestra a continuación.

- Traslapes de tracción.** En los empalmes traslapados sometidos a tracción existe una fuerte tendencia a la falla de hendimiento o separación. Si bien el mecanismo de transferencia es bastante complejo, se pueden obtener algunas conclusiones por inspección de la forma de falla del mecanismo.¹

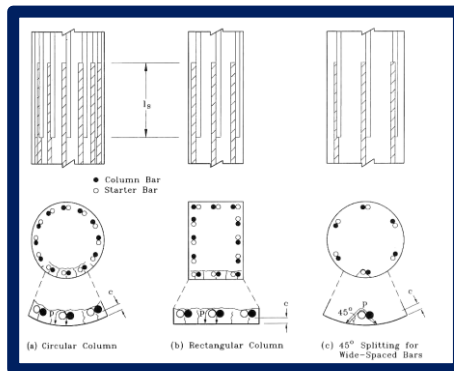


Fig. 6.1 Fallas por solape en columnas.

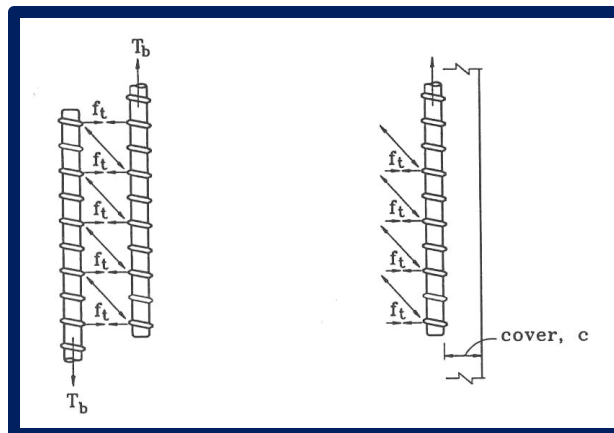


Fig. 6.2 Tensiones de tracción inducidas por las fuerzas de transferencia que se desarrollan en los empalmes por solape.

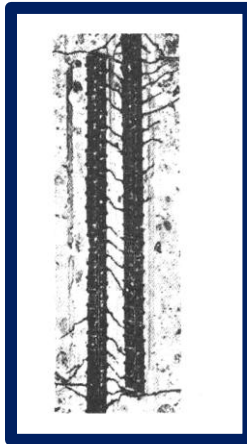


Fig. 6.3 Fisuras entre las barras que muestran claramente diagonales comprimidas.

- **Traslapes de compresión.** Debido a las condiciones de adherencia más favorables para barras en compresión que en tracción, los códigos permiten menores longitudes de solape en empalmes comprimidos. La mayor diferencia entre empalmes en tracción y en compresión radica en que en este último caso las barras pueden transferir parte de la fuerza por presión de punta. Algunos ensayos han demostrado que las presiones de punta han alcanzado hasta 5 veces la resistencia cilíndrica del hormigón en los extremos de barras traslapadas en compresión.¹

Ensayos de empalmes de barras a compresión han demostrado que:

- La presión de punta fue la responsable de la mayoría de las fallas en los empalmes, independientemente de la longitud de empalme ensayada. Los ensayos se efectuaron para longitudes de empalme entre 9 a 38 veces el diámetro de las barras. Una falla típica de presión de punta se observa en la fig. siguiente:

¹“Estructuras de Hormigón Armado”, de Fritz Leonhardt, Tomo III. El Ateneo.1977

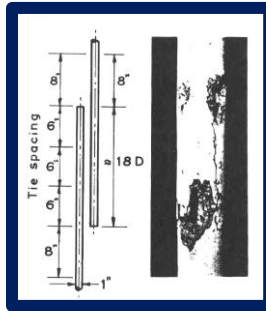


Fig. 6.4 Falla de un empalme por solape a compresión por presión de punta.

- La capacidad de los empalmes fue mejorada cuando se dispuso de armadura de confinamiento, la cual limitó la expansión lateral del hormigón. En tales casos, se llegó a medir presiones de punta de hasta 120 MPa.

6.1.2 Características técnicas

- Resistencia mínima a la tracción en las zonas específicas donde se encuentra el traslapo.
- En concretos con altas resistencias hay más susceptibilidad a las fallas de separación por tensión, lo que plantea menos confiabilidad de los empalmes traslapados.
- La adherencia entre el acero y el concreto transfiere la carga de una varilla al concreto y luego del concreto a la otra varilla de refuerzo, de manera continua.
- La eficiencia de los empalmes traslapados depende del desarrollo de la adherencia a lo largo de la superficie de las varillas, y de la capacidad del concreto para transferir los elevados esfuerzos cortantes que se generan.
- La forma de trabajo de los empalmes traslapados hace que funcionen a tracción o compresión.

- Los empalmes traslapados a tracción, generan compresión diagonal en el concreto ubicado entre varillas; por este motivo, es importante incorporar estribos que limiten el desarrollo de las grietas originadas por estos esfuerzos, y que aseguren una falla dúctil.
- Los empalmes a Compresión, trabajan bajo condiciones más favorables, por lo que requieren de una menor longitud. La causa principal de falla de estos empalmes se da por el aplastamiento del concreto en el extremo de la varilla, sobre todo cuando éstas son de gran diámetro.
- El código del ACI recomienda no usar empalmes traslapados para varillas mayores a la de 1 3/8".²

6.1.3 Ventajas y desventajas de los empalmes por traslape

Ventajas

Desde que empezó a usarse el concreto reforzado, los empalmes por traslape han sido el método aceptado para unir las barras. Desde el punto de vista funcional, los empalmes se han comportado adecuadamente con barras de tamaño pequeño, límites de tensión relativamente bajos, y cuando los edificios raramente exceden los 15 pisos.

Por otra parte, también los empalmes traslapados son más económicos y la mano de obra se encuentra con mayor facilidad, ya que, la mayoría de obreros domina el proceso de traslapar.

² (ALVIS FONSECA and GUERRA BEJARANO, 2017)

Desventajas

A medida que los edificios de concreto reforzado han ido ganando altura, se ha visto la necesidad de limitar el empleo de los empalmes de traslape en determinadas condiciones de la estructura.

La validez de un empalme por traslape depende de la resistencia del hormigón, así se crea una continuidad estructural.

La congestión causada por los empalmes de traslape duplica la relación acero/hormigón la cual debe ser menor al 8% según algunas normas o códigos creando problemas no solo al posicionar el acero de refuerzo, sino también durante la compactación del hormigón.

Además también aumenta la congestión de las barras de refuerzo en la zona de solape y, ésta es una de las razones principales de la creación de huecos en el hormigón.³

³ (ARRIAGADA MEZA, 2007)

6.2 Empalmes mecánicos

Como se pudo apreciar en el capítulo II, estos tipos de conectores no se limitan al empalme general de barras de acero, sino que a través de los años ideas innovadoras en elementos constructivos se han implementado en la utilización de los mismos. El conector mecánico analizado debido a la disponibilidad del mercado es el tipo de conector cilíndrico hueco.

Durante este método los conectores mecánicos transfieren los esfuerzos directamente de una barra de acero a otra sin depender de la adherencia con hormigón y deben desarrollar 125 por ciento de la resistencia de fluencia de la barra.

6.2.1. Requerimientos

Para la implementación de este método es necesario:

- los conectores cilíndricos para llevar a cabo el empalme.
- la utilización de maquinaria (se requiere una prensa hidráulica para realizar la deformación permanente de los conectores cilíndricos huecos) y mano de obra especializada para su manipulación.
- en el caso de emplear un sistema de presión eléctrico es imprescindible un medio de obtención de energía eléctrica (ya sea planta eléctrica o fuente de electricidad cercana).

6.2.2. Procedimiento

Para facilidad de colocación con la barra a empalmar de acero en el suelo se procede a realizar la mitad de números de aprietes en el conector con una presión recomendada de 7000 psi, luego se coloca a tope las dos barras, por último, se aplican los aprietes restantes de modo que se obtiene el empalme deseado. Éste proceso dura aproximadamente 4 minutos por conector tomando en cuenta que el número de aprietes será establecido por el diámetro de la barra y el tipo de conector.

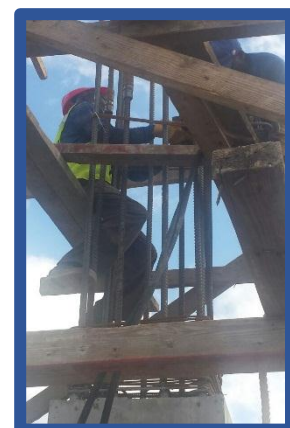
En las siguientes imágenes, se puede apreciar los procedimientos para empalmar barras mediante los conectores mecánicos, estas figuras fueron tomadas durante la visita a una obra donde se ejecutaba la unificación de barras con estos conectores.



Primero se marcan las barras luego se prepara la prensa hidráulica, a una fuente de energía. Luego se incorpora el acople a la barra y por medio de la máquina se presiona el acople antes marcados, la barra es prensada después de colocada en el elemento.

Fig. 6.5 Máquina prensadora y Fig. 6.6 Prensa hidráulica.

Fig. 6.7 y 6.8 Colocación de barras acopladas en elemento estructural.



6.2.3 Ventajas y Desventajas

Ventajas

- Los sistemas mecánicos no dependen del hormigón para transferir las cargas.
- Los empalmes mecánicos ofrecen una integridad estructural mayor. Las conexiones mecánicas ofrecen resistencia y solidez en caso de eventos sísmicos, naturales o de otro tipo.
- Los códigos piden que los empalmes mecánicos den prestaciones superiores con las típicas dimensiones de diseño. La capacidad de un empalme mecánico es típicamente del 125% al 150% mayor de la de un solape.
- Los empalmes mecánicos eliminan los problemas de congestión en las barras y permite realizar un trabajo más eficaz.
- Las normas de construcción permiten una fracción acero / hormigón menor del 8%. Los empalmes mecánicos dan la posibilidad al diseñador de conseguir la fracción ideal de esta relación.
- En el caso en que se trabaje con barras de diámetro pequeño se necesitan secciones más grandes para que un número mayor de barras pueda caber. Con los empalmes mecánicos se pueden realizar columnas más delgadas con barras de diámetro mayor sin que se creen problemas de congestión. El tamaño más contenido de las columnas realiza un diseño más eficaz y una superficie comercial más ancha.
- Los empalmes mecánicos eliminan los cálculos de longitud.
- Los empalmes mecánicos son rápidos y fáciles en su instalación.

- Los empalmes mecánicos realizan un óptimo balance coste / eficacia, por reducir el coste de instalación y acelerar los programas de trabajo.
- La aplicación para eliminar las barras en espera reduce el trabajo y aumenta la seguridad en la obra.¹

Desventajas

- Posee poca divulgación técnica lo que su implementación es escasa.
- Requiere maquinaria y mano de obra especializada.
- Como en el mercado dominicano solo existe una empresa dedicada a la implementación de estos conectores se puede tener incremento en presupuesto de materiales, ya que los conectores cilíndricos se importan de otros países.
- Aumenta el factor de incertidumbre.
- Requiere mucho más control y supervisión.

6.2.4 Empalmes soldados

6.3.1 Procedimiento



Fig. 6.9 Corte de las barras.

¹ Lenton. (2015). Sistemas de empalmes. *PENTAIR*, 3.



Fig. 6.10 Fijación de las barras.



Fig. 6.11 Sistema de gas.



Fig. 6.12 Inicio de fusión.



Fig. 6.13 Fusión de barra.



Fig. 6.14 Barra acoplada.

Al utilizar estos acoples, se elimina el saturamiento de acero en los elementos, permite la continuidad en el acero de refuerzo, reduce el tiempo de ejecución, resiste sismos y puede ser colocado en distintos elementos estructurales.

Al ser sometidos en ensayos de laboratorio, se puede observar que la rotura no se produce en el acople, como es notable en las siguientes figuras.



Fig.6.15 y Fig.6.16 Roturas de probetas.



Fig. 6.17 y Fig. 6.18 Empalmes fundidos

CAPÍTULO VII. RESULTADOS DEL ESTUDIO

7.1 RESULTADOS

7.1.1 Del análisis económico

El análisis económico, arrojó que los empalmes por traslape resultan más económicos ante la utilización de otros métodos de empalmes. Es bueno destacar, que conforme aumenta el diámetro de la barra de acero los costos aumentan en el traslape.

El método de soldadura con relación al de traslape no presenta una alza en los precios de forma significativa.

Los empalmes mecánicos debido a la funcionalidad que ofrecen y que solo una empresa en el país se dedica a su distribución, hacen que sea el método de empalme más costoso.

RESUMEN DE COSTOS EN RD\$							
		POR TRASLAPE				POR SOLDADURA	MECANICOS
Barra No.	Medida (pulg)	ACI		compresión	R-033 MOPC		
		tracción Clase A	Clase B				
11	1 3/8	363.19	472.14	202.859	N/A	477.888	1384.3
8	1	127.24	165.42	71.07	115.90		
6	3/4	43.04	55.95	30.05	49.01		

Tabla 7.1 Resumen de costos.

7.1.2 De las pruebas en laboratorio

Después de haber realizado cada uno de los ensayos mostrados en el capítulo IV de esta investigación, es prudente percibir cuáles fueron los resultados que arrojaron las pruebas para evaluar que tan resistentes son los empalmes mecánicos en comparación con los traslapados.

Esfuerzos obtenidos – Probeta 1”:

En la siguiente tabla, se muestran las cargas que fueron aplicadas seguidas de la deformación que generaron milimétricamente y en porcentaje.

No.	Esfuerzos (PSI)	Lecturas	Deformación (MM)	Deformación (%)	Cargas (TON)
1	100	1000	0.00	0.00%	0.00
2	500	960	3.05	22.77%	2.85
3	1000	943	3.48	26.00%	5.80
4	1500	915	4.19	31.31%	8.75
5	2500	872	5.28	39.47%	14.65
6	3000	851	5.82	43.45%	17.60
7	3500	828	6.4	47.82%	20.55
Fluencia	4000	802	7.06	52.75%	23.50
9	4600	648	10.97	81.97%	27.04
Rotura	4800	553	13.39	100.00%	28.22

Tabla 7.2 Lecturas de deformación.

Se puede apreciar que los empalmes mecánicos en barras de 1” se comportan factiblemente soportando una carga elevada en toneladas produciendo apenas una rotura en sus partes superiores, pero no por el conector.

Gráficos representativos:

Se contemplará en el siguiente gráfico, el comportamiento de la barra tras cada magnitud de carga aplicada, respecto a la deformación que se fue provocando en ella.

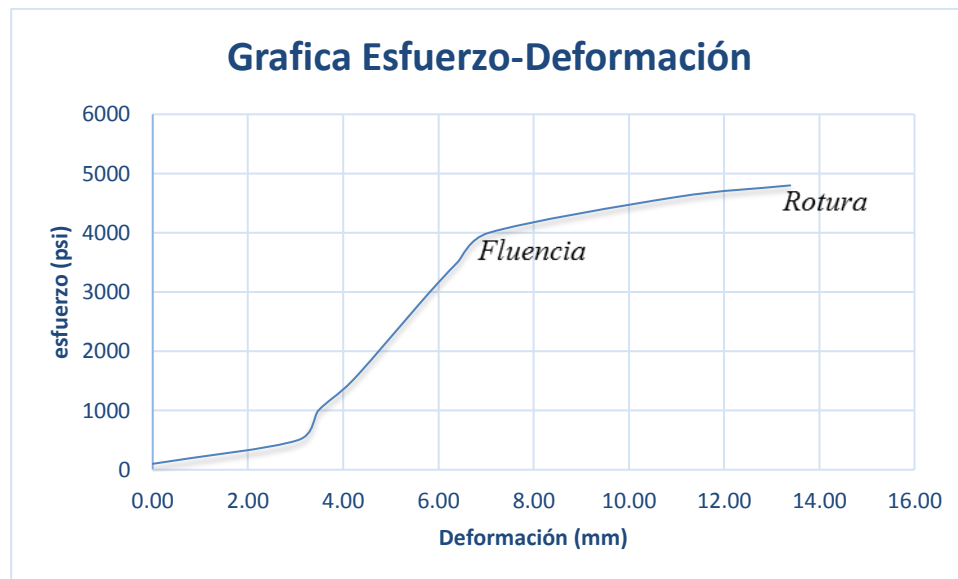


Gráfico 7.1 Esfuerzo-Deformación.

Comprobación de resistencia según ACI:

El Instituto de Concreto Americano, exige que las barras con empalmes mecánicos resistan por lo menos 1.25 veces el f_y de la barra.

Con los resultados obtenidos, procederemos a la comprobación de la resistencia de las barras sometidas al ensayo, para verificar si el esfuerzo que se produjo en ellas cumple con el requerimiento del ACI. Sabiendo que el F_y del acero es $4,200 \text{ kg/cm}^2$.

Para esta barra de 1", como se pudo observar durante el ensayo y en los gráficos obtenidos, la carga máxima que resistió fue de 28.2 toneladas que equivalen a 28,200 kilogramos. Estableciendo una relación entre esta fuerza en kg y el área de la barra, la cual es 5.07 cm², obtenemos el esfuerzo que se produjo en ella. Operando, da un resultado de 5,562.13 kg/cm². Lo que indica que la resistencia de la barra es mayor a los 1.25fy por lo que la cumple satisfactoriamente el requerimiento del ACI.

No.	Carga Rotura (Kg)	Área de barra (cm ²)	Esfuerzo de la barra (Kg/cm ²)	1.25 Fy (Kg/cm ²)	Obs.
1	28,200	5.07	5,562.13	5,250	Cumple

Tabla 7.3 Comprobación ACI, barra 1".

Esfuerzos obtenidos – Probeta 3/4":

En esta oportunidad, se muestran los esfuerzos obtenidos después de haber realizado el ensayo de la probeta No.6 (3/4"). En esta tabla que se muestra a continuación, se pueden apreciar las cargas que le fueron aplicadas hasta su resistencia última en su punto de rotura.

No.	Esfuerzos (PSI)	Lecturas	Deformación (MM)	Deformación (%)	Cargas (TON)
1	100	1000	0.00	0.00%	0.00
2	500	972	2.74	10.26%	2.85
3	1000	909	4.34	16.24%	5.80
4	1500	872	5.28	19.75%	8.75
Fluencia	2000	817	6.68	24.98%	11.7
6	2300	710	9.4	35.14%	13.47
7	2500	543	13.64	51.00%	14.65
8	2600	395	17.4	65.05%	15.24
9	2700	232	21.54	80.53%	15.83
Rotura	2900	27	26.75	100.00%	17.01

Tabla 7.4 Lecturas de deformación.

Gráficos representativos:

Se conocerá en esta oportunidad el comportamiento de la barra durante cada carga aplicada, respecto a la deformación que se fue presentando en la barra.



Gráfico 7.2 Esfuerzo-Deformación.

Comprobación de resistencia según ACI:

El Instituto de Concreto Americano, exige que las barras con empalmes mecánicos resistan por lo menos 1.25 veces el f_y de la barra.

Con los resultados obtenidos, procederemos a la comprobación de la resistencia de las barras sometidas al ensayo, para verificar si el esfuerzo que se produjo en ellas cumple con el requerimiento del ACI. Sabiendo que el F_y del acero es $4,200 \text{ kg/cm}^2$.

Para esta barra de $\frac{3}{4}$ ", como se pudo observar durante el ensayo y en los gráficos obtenidos, la carga máxima que resistió fue de 17.01 toneladas que equivalen a 17,010 kilogramos. Estableciendo una relación entre esta fuerza en kg y el área de la barra, la cual es 2.85 cm^2 , obtenemos el esfuerzo que se produjo en ella. Operando, da un resultado de $5,968.42 \text{ kg/cm}^2$. Lo que indica que la resistencia de la barra es mayor a los $1.25f_y$ por lo que la cumple satisfactoriamente el requerimiento del ACI.

No.	Carga Rotura (Kg)	Área de barra (cm ²)	Esfuerzo de la barra (Kg/cm ²)	1.25 F_y (Kg/cm ²)	Obs.
1	17,010	2.85	5,968.42	5,250	Cumple

Tabla 7.5 Comprobación ACI, barra $\frac{3}{4}$ ".

Resistencia máxima y mínima

Entre las dos barras evaluadas, podemos ver las cargas mínima y máxima entre ellas, lo cual nos ayuda a determinar que a mayor diámetro, mayor resistencia.

No	Barra	Carga Mínima (Ton)	Carga Máxima (Ton)
1	1"	2.85	28.2
2	¾"	2.85	17.01

Tabla 7.6 Carga máxima y mínima.

Si analizamos detenidamente, podemos avalar dicho criterio, recordando que las barras rompieron además de en cargas diferentes, también en lugares diferentes, la de 1" rompió casi en su tope superior, mientras que la de ¾" emitió su falla a unos 100 cm aproximadamente de su tope superior producido por una magnitud de carga inferior a la de 1".

7.1.3 De la evaluación de funcionalidad.

En comparación con otros métodos, los empalmes mecánicos ofrecen mayor resistencia, reducen el tiempo de ejecución de los empalmes en obra y eliminan los tediosos cálculos de longitud de traslape, por lo que al analizar sus ventajas con respecto a los métodos tradicionales estos serían los más favorables en cuanto funcionalidad se trata.

Por otra parte, es prudente destacar que su aplicación, aunque sea más práctica, en el país, queda bajo la dependencia de personas capacitadas con el mismo lo cual desfavorece su aplicación en el país, por la falta de conocimiento técnico del método mecánico.

ESTUDIO DE DIVULGACIÓN TÉCNICA SONDEO-EMPALMES MECÁNICOS

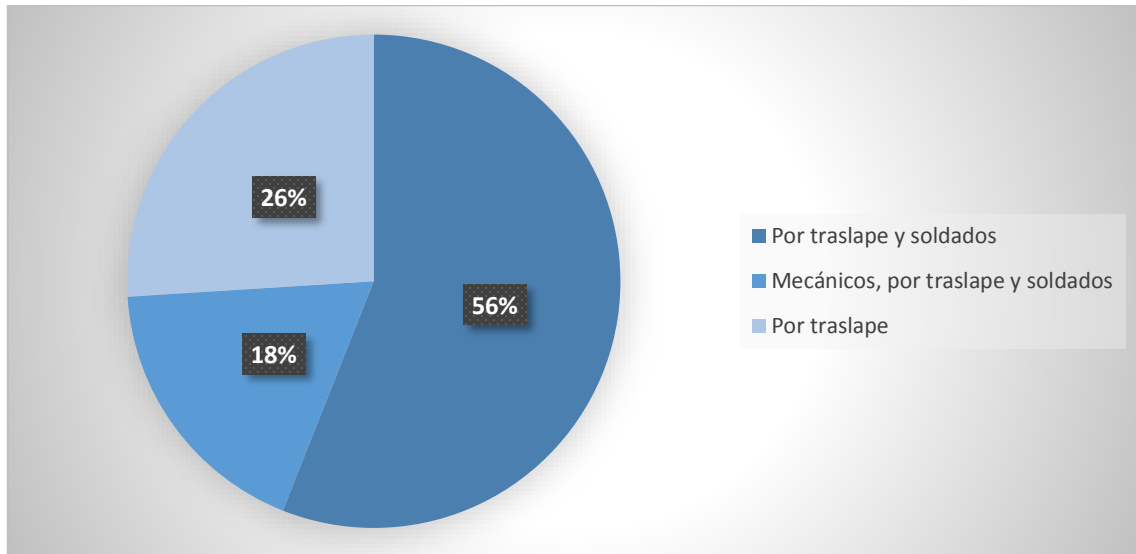
Unas de las principales dificultades que se encontraron durante la elaboración de esta investigación fue la obtención de conocimiento en base a la experiencia de profesionales ingenieros de nuestro país, ya que existía muy poca información sobre estos y su aplicación. Se optó por realizar el presente sondeo tipo encuesta.

Antes de comenzar el estudio comparativo de los distintos métodos de empalmes, era de esperarse que los empalmes mecánicos serían los menos conocidos por lo que se procedió a realizar un pequeño sondeo para conocer qué tanta divulgación técnica tenían dichos empalmes entre una muestra de profesionales ingenieros de la ciudad de Santo Domingo.

Para el sondeo tipo encuesta, se seleccionó una muestra de 50 ingenieros profesionales en el área, pertenecientes a instituciones públicas y empresas constructoras de sector privado. Donde como requisito para formar parte del sondeo tipo encuesta, aparte de ser ingeniero, era el de responder que eran y para que se utilizaban los empalmes, automáticamente se fallaba en una de estas preguntas se procedía a descartar la persona para la participación en la encuesta.

A continuación, se presentarán las preguntas realizadas en la encuesta, seguida de las respuestas obtenidas y su posterior interpretación:

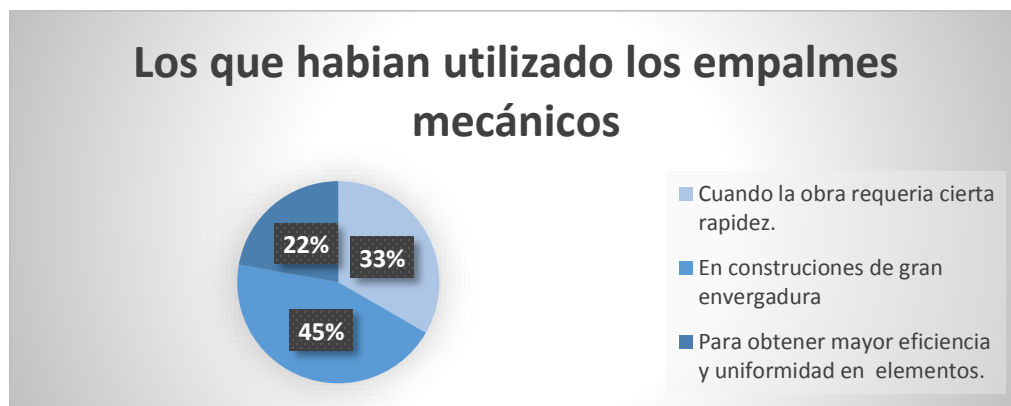
5. ¿Qué tipo de empalmes conoce o ha utilizado?



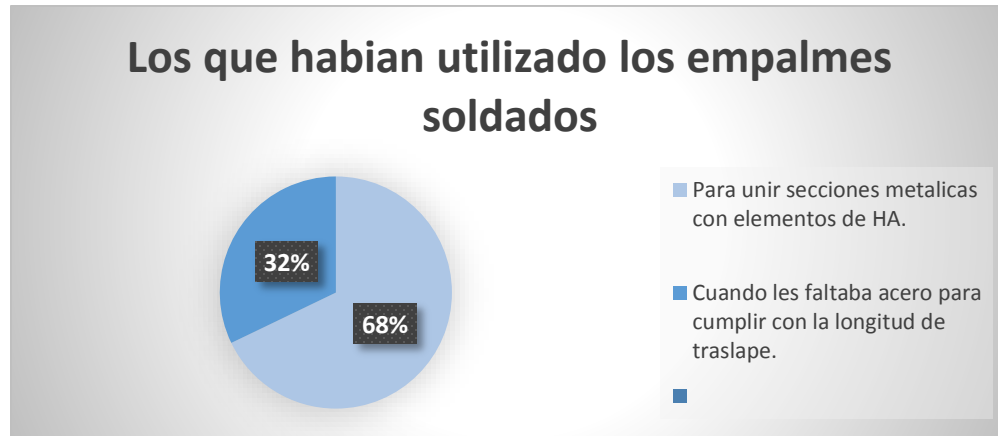
1 Gráfico Sondeo

En este gráfico podemos ver que solo el 18% de los encuestados han utilizado durante su carrera los tres métodos de empalme, el 26% ha trabajado solamente con los empalmes tradicionales por traslape y el 56% (la mayoría) conoce o alguna vez han trabajado solo con los empalmes por traslape y los soldados.

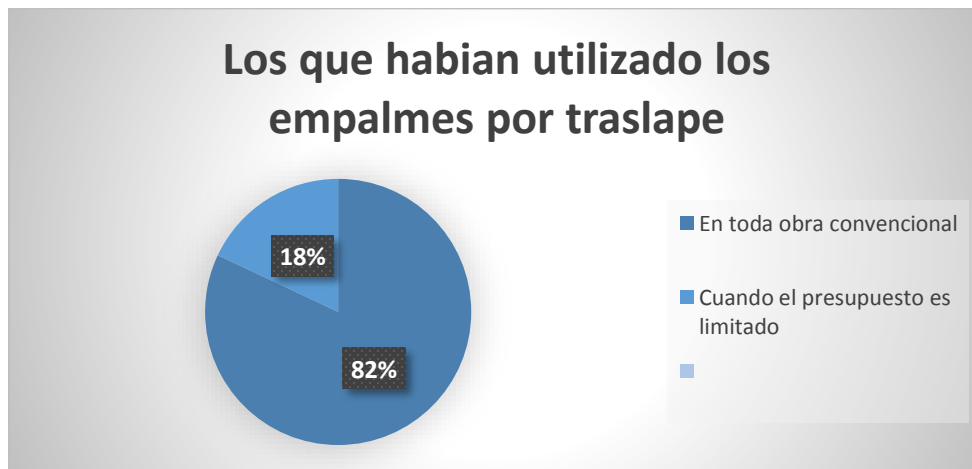
2. ¿En cuáles circunstancias ha utilizado estos empalmes?



2.1 Gráfico Sondeo



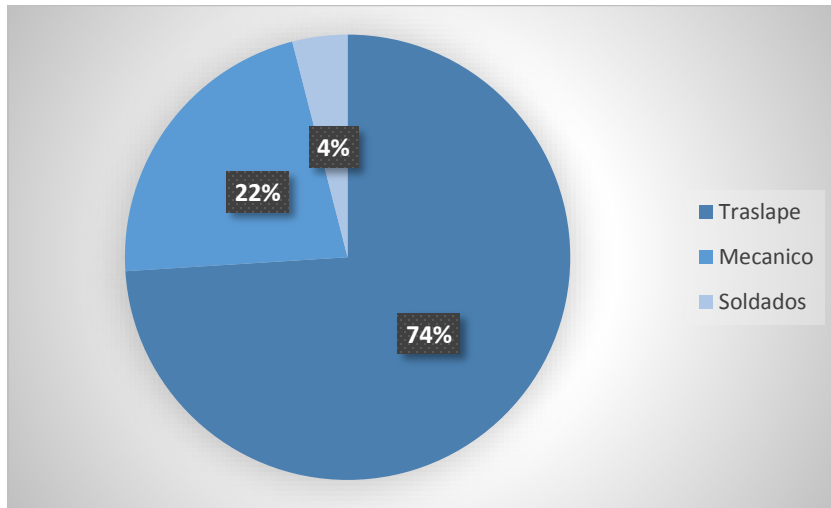
2.2 Gráfico Sondeo



2. 3 Gráfico Sondeo

En estos gráficos podemos ver que al momento de elegir un método de empalme los aspectos por los que más se rigen los ingenieros son eficiencia, rapidez y economía. Algunos contestaron que en condiciones “normales” aplicaban el método de empalme por traslape ya que los demás métodos hacían que la tarea de empalmar barras de acero fuera más tediosa.

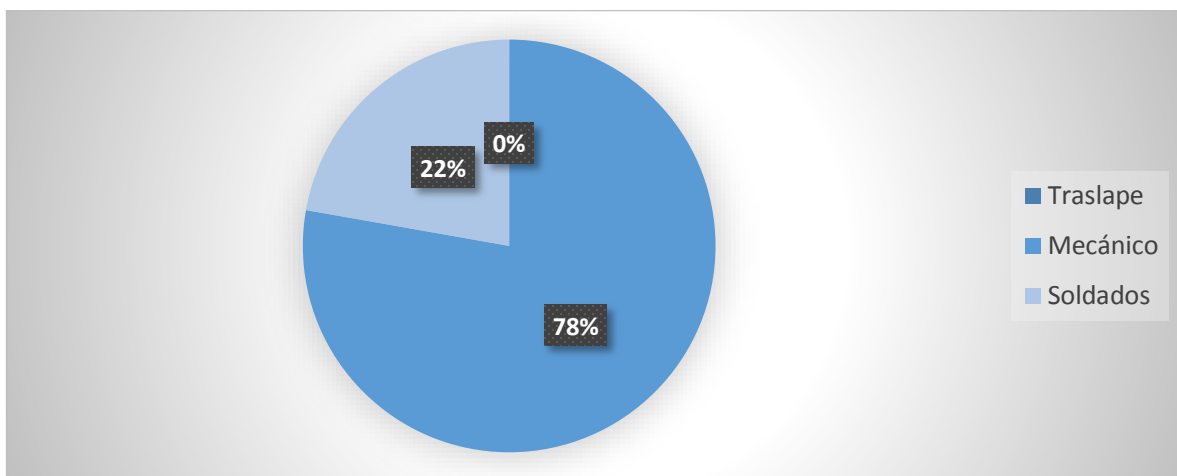
3. ¿Cuál método de empalme le ha resultado más efectivo?



3. Gráfico Sondeo

El 74% de los entrevistados prefieren la utilización de los empalmes por traslape principalmente por el costo y según ellos por su efectividad, ya que nunca se han presentado fallas en los elementos trabajados por traslape.

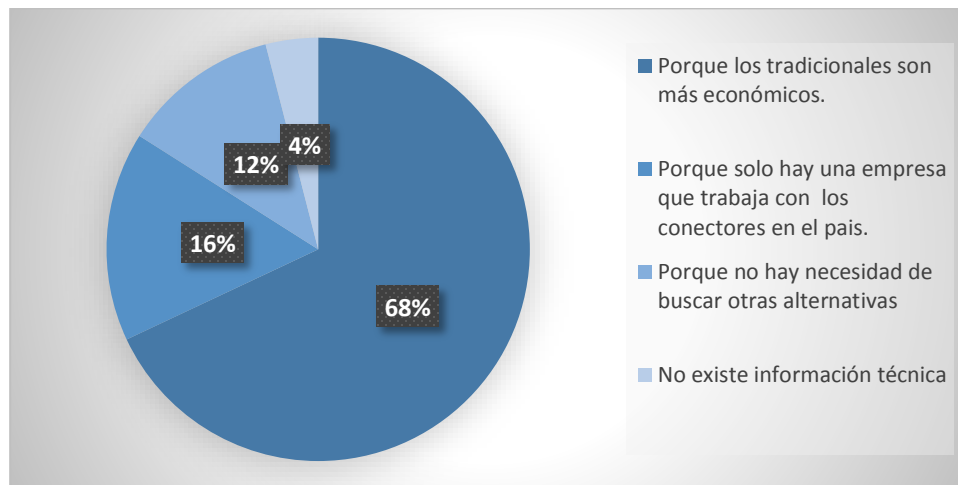
4. ¿Cuál método de empalme le ha resultado más costoso?



4. Gráfico Sondeo

La gran mayoría de los entrevistados que habían trabajado con los tres métodos de empalmes, coincidieron en que los empalmes mecánicos son más costosos que los otros métodos.

5. ¿Por cuál motivo, considera usted, se utilizan actualmente otros métodos de empalmes no tradicionales en el país?




5. Gráfico Sondeo

Unos de los argumentos principales que daban los ingenieros entrevistados, era que aparte de que el método por traslape es el más económico, no había quejas de fallas durante su implementación, por lo que si cumplían su cometido no habría razón por incurrir en mayores gastos aplicando otros métodos.

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y PRESUPUESTO

Cronograma de actividades

Actividades	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero
Coordinación y elección de la investigación a estudiar	XX				
Aprobación de tema a estudiar	X				
Consulta a asesor	X				
Inicio de investigación					
Desarrollo de investigación					
Visita a empresa ING.ARQ.L&F		X	X	X	
Realización de ensayo en Atteco					XX
Análisis de resultados					
Conclusión de investigación					
Entrega final de investigación					X

X	Actividades de uno o pocos días
	Actividades de mayor duración

Presupuesto de desarrollo de la investigación

No.	Actividad	Costo
1.00	Transporte	3,900.00
2.00	Ensayo en laboratorio	14,500.00
3.00	Impresión de material	1,200.00
4.00	Empastado de material	1,700.00
5.00	Imprevistos	550.00
6.00	Refrigerios	500.00
	Total	22,350.00

CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en este trabajo y basándonos en las preguntas de investigación y los objetivos establecidos en el capítulo I, se concluye lo siguiente:

- Apoyándonos en el análisis del mercado dominicano, se demuestra que los empalmes por traslape son más económicos en comparación con otros métodos de empalme.
- Se razona, que a mayor diámetro los costos de empalmes por traslape se asemejan a los costos de empalmes mecánicos.
- Se confirma, que los empalmes mecánicos poseen resistencia del 125% al 150 % mayor a los empalmes por traslape.
- Se evidencia, que los empalmes mecánicos son más funcionales ya que su implementación resulta más confiable, segura y resistente.
- Se adjudica, la falta de implementación de los empalmes mecánicos a los altos costos y a la falta de divulgación técnica de los mismos.

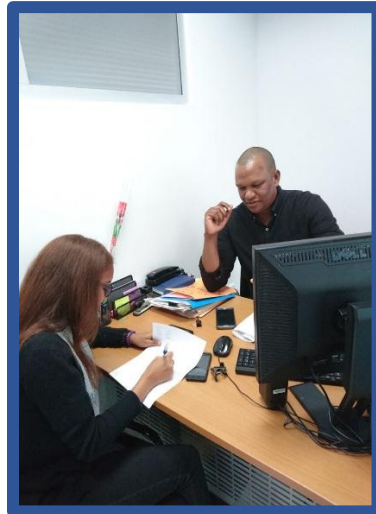
RECOMENDACIONES

- Se recomienda a las entidades gubernamentales encargadas de elaborar los reglamentos de construcción en la República Dominicana, incluir la utilización obligatoria de empalmes mecánicos a determinadas condiciones constructivas. (congestionamiento en barras, aumento de la relación a/c, en construcciones que sobrepasen 15 pisos, entre otros).Es necesaria la revisión de distintos casos.
- Como unos de los principales inconvenientes que entorpece utilización de empalmes mecánicos es el costo de la fabricación de insumos, se insta la creación de fábricas de conectores mecánicos con la finalidad de abaratar costos, ya que en el país solo existe una empresa dedicada a la distribución de los mismos.
- Se propone la implementación de charlas, cursos o talleres donde los empalmes mecánicos sean difundidos y adquieran mayor participación en las obras civiles dominicanas.
- Aconsejamos la apertura de instituciones gubernamentales que se dediquen exclusivamente al desarrollo de tecnología e investigación en el área de la ingeniería civil, para que nuevos procesos constructivos que son utilizados internacionalmente sean estudiados, evaluados y difundidos con el propósito de que el sector construcción en el país se desarrolle y optimice.

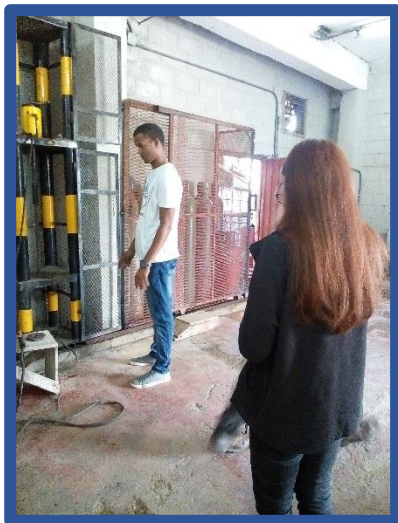
BIBLIOGRAFÍA

- Arriagada Meza, R. (2007). *“Estudio Experimental En Empalmes De Armaduras En Elementos De Hormigón Armado Sometidos A Tracción”*. Licenciatura. Universidad Austral De Chile.
- Alvis Fonseca, D. And Guerra Bejarano, J. (2017). Análisis Técnico, Económico Y Constructivo Del Uso De Empalmes Mecánicos Roscados En Edificaciones. Licenciatura. Universidad Distrital Francisco José De Caldas.
- James R. Cagley y Richard de Apple. (1998, Enero 07). Comparación de costos de empalmes Bar - Butt mecánica Versus Lap. *Concrete International*, 20, 55-56.
- Miranda, J. ed., (n.d.). Evaluación Económica y Financiera. In: *Gestión de Proyectos*, 4th ed. pp.45-57.
- American Concrete Institute (2014). *Requisitos para Reglamento para Concreto Estructural*. USA: ACI.
- Islas, R. ed., (2015). *Adherencia y Anclaje*. México.
- “Estructuras de Hormigón Armado”, de Fritz Leonhardt, Tomo III. El Ateneo.1977.
- López Flores, Andrés. Valle Ramos, Nicolás. (2012). *“Estudio de Empalme Mecánico de Varillas Corrugadas Mediante Conectores Cilíndricos Huecos y Diseño construcción del Sistema Hidráulico Móvil Prensado”*. Licenciatura. Escuela Politécnica del Ejército.
- Cuevas Velasquez, Rennerr. Avendaño, Gilberth. “Implementación de empalmes mecanicos en el acero de refuerzo para elementos de concreto armado”. UNAM, Nicaragua.
- Guerra Berjano, Jhon. Alvis Fonseca, Diego. (2017). “Análisis Técnico, Económico Y Constructivo De Empalmes Mecánicos En Edificaciones”. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá.
- Carlos Llopis, Unidad 8: Empalmes y Anclajes, p.36.
- James R. Cagley y Richard de Apple. (1998, Enero 07). Comparación de costos de empalmes Bar - Butt mecánica Versus Lap. *Concrete International*, 20, 55-56.

ANEXOS



Anexo 1. Realizando sondeo en constructoras privadas.



Anexo 2. Realizando pruebas en laboratorio Atteco.



Análisis de Precio: Conectores Fundidos # 8
 Proyecto :
 Dirección : Santo Domingo

Armado: ø 1"
 Fecha : Dic. 2017

Informaciones Generales						
A	Conectores #8 Fundidos	75.00	Und	Rendimiento/Días		
B	Espesor de Barra	1"	Pulgada			
C	Longitud de Conector	7.00	Cm			
No.						
		Cantidad	Unidad	Precio Uni	Valor RD\$	Sub total
D	Suministro					1875.00
	Suministro Conector Fundidos	75.00	Und.	25.00	1,875.00	
E	Equipos					6778.57
	BG 400 Portable Pres	1.00	Día	1,506.43	1,506.43	
	PE 400 Hidráulica Pump	1.00	Día	2,378.57	2,378.57	
	#8 BG 400 Die Set	1.00	Día	543.57	543.57	
	Planta Eléctrica Trifa sea 50KVA	1.00	Día	1850.00	1,850.00	
	Equipo de Oxicorte(Oxigeno y Acetileno)	1.00	Día	500.00	500.00	
F	Material Consumible					2742.92
	Gasoil	10.00	Gal	220.00	2,200.00	
	Aceite Hidráulico	0.10	Gal	429.20	42.92	
	Miselnano(Guantes,Casco,Botas,Ect.)	1.00	PA	500.00	500.00	
G	M.O					10500.00
	Capataz	1.00	Día	2,000.00	2,000.00	
	Ayudantes	6.00	Día	1,000.00	6,000.00	
	Operador de Bomba Hidraulica	1.00	Día	1,500.00	1,500.00	
	Sereno	1.00	Día	1,000.00	1,000.00	
H	Otros					3500.00
	Transporte Planta y Bomba	2.00	Viajes	1,500.00	3,000.00	
	Limpieza Final	1.00	PA	500.00	500.00	
I	Sub - Total					25,396.49
	Gastos Generales		19.6%		4,977.71	
	Sub- Total General				30,374.20	
	ITBIS		18%		5,467.36	
	Total General					35,841.6

Anexo 6. Presupuesto Empalme Fundido por AR.INGL&F



Armado: ô 1"
Fecha : 43,070.00

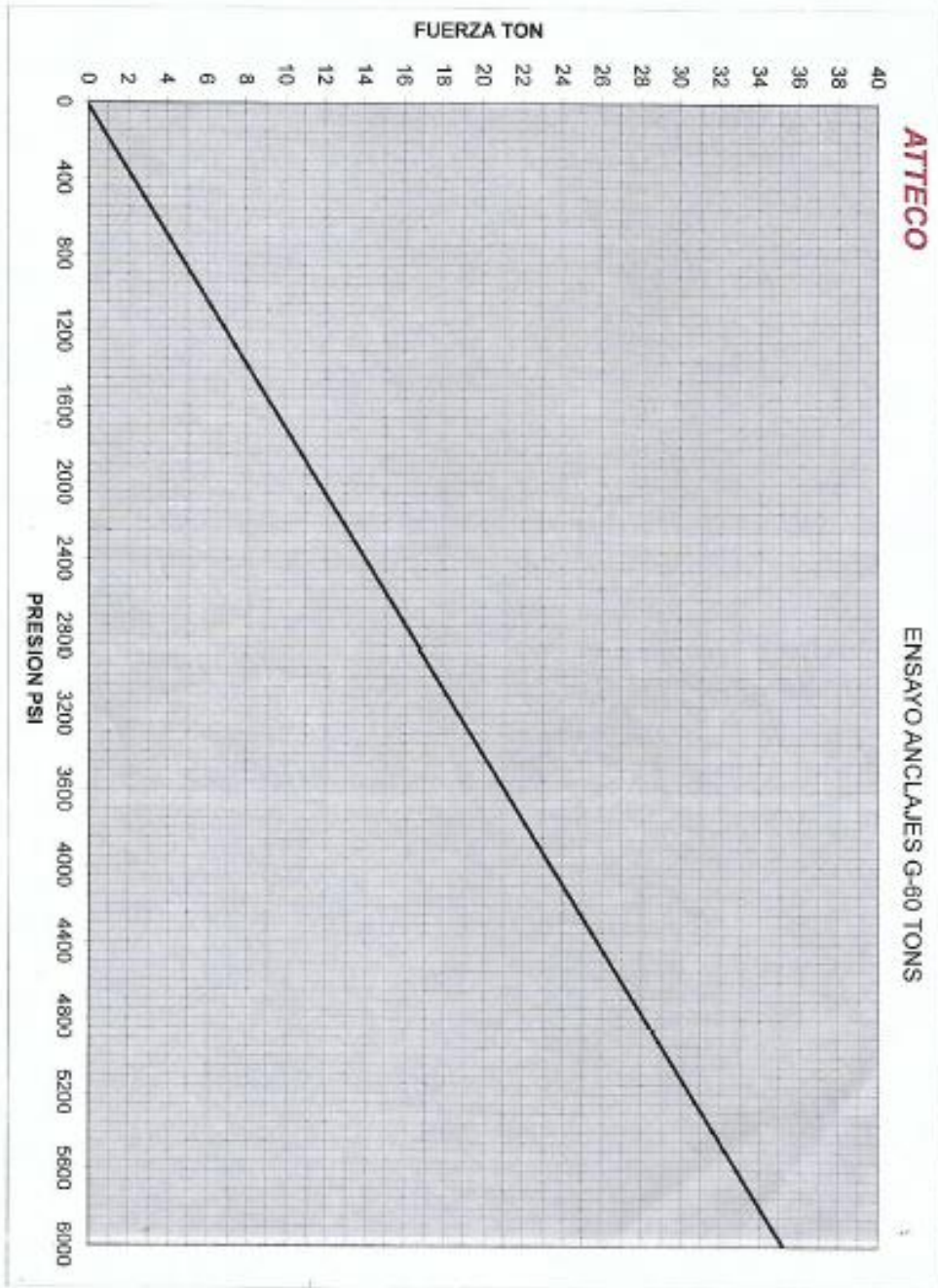
Análisis de Precio: Conectores Mecánico # 8

Proyecto :

Dirección : Santo Domingo

Informaciones Generales						
		100.00	Und	Rendimiento/Días		
A	Conectores #8 Bargrip "XL"	1"	Pulgada			
B	Espesor de Barra	15.00	Cm			
C	Longitud de Conector					
No.	Partidas	Cantidad	Und.	Precio Uni.	Valor RD\$	Sub total
1	Suministro					79,611.00
	Suministro Conector Bargrip "XL"	100	und	796.11	79611.00	
2	Equipos					6,278.57
	BG 400 Portable Prensa	1	Día	1506.43	1506.43	
	PE 400 Hidráulica Pump	1	Día	2378.57	2378.57	
	BG 400 Die Set	1	Día	543.57	543.57	
	Planta Eléctrica Trifa sea 30KVA	1	Día	1850.00	1850.00	
3	Material Consumible					1,707.30
	Gasoil	5	Gal	220.00	1100.00	
	Aceite Hidráulico	0.25	Gal	429.20	107.30	
	Miselanoe (Guantes, Casco, Botas, Ect.)	1	PA	500.00	500.00	
4	M.O					8,300.00
	Capataz	1	Día	2000.00	2000.00	
	Ayudantes	4	Día	1000.00	4000.00	
	Operador de Bomba Hidráulica	1	Día	1500.00	1500.00	
	Sereno	1	Día	800.00	800.00	
5	Otros					3,700.00
	Transporte Planta y Bomba	2	Viajes	1500.00	3000.00	
	Limpieza Final	1	pa	700.00	700.00	
	Subtotal					99,596.87
			19.6%			19,520.99
	Gastos Generales					119,117.86
	Subtotal General		18%			21,441.21
	ITBIS					
	Total General					140,559.07

Anexo 7.Presupuesto Empalmes Mecánicos por AR.INGL&F



Anexo 8. Gráfica de conversión PSI a TON, utilizada en los ensayos de laboratorio.



COTIZACION

ATENCION DE	MARIELA GONZALEZ
CLIENTE	MARIELA GONZALEZ
DEPARTAMENTO	
DIRECCION	
PROYECTO	TESIS DE GRADO
TRABAJO:	ENSAYOS DE LABORATORIO

FECHA COTIZACION : 12/01/2014
 NUMERO COTIZACION : 1900001

ITEM	DESCRIPCION	UD	PRECIO	CANT	TOTAL RD\$
1	REALIZACION DE ENSAYO A TRACCION	UD	3,800.00	6.00	22,800.000
2	INFORME FINAL	PA	4,500.00	1.00	4,500.000
SUBTOTAL					27,300.00
IBIS 18%					4,914.00
TOTAL COTIZADO					32,214.00

ESPECIFICACIONES:

SE TOMARON EN CONSIDERACION LAS ESPECIFICACIONES ENVIADAS POR EL CLIENTE AL MOMENTO DE SOLICITAR ESTA COTIZACION. ES RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE SUMINISTRAR, TRANSPORTAR Y RECIBIR LAS COLUMNAS AL LABORATORIO. EN LA FACTURACION LAS CANTIDADES SERAN LAS FINALMENTE REALIZADAS EN LABORATORIO. SE ESTIMA LA DURACION DE LOS TRABAJOS DE 1 DIA DE LABORATORIO Y 1 DIA MAS PARA ENTREGA DEL INFORME. DISPONIBILIDAD INMEDIATA.



FORMA DE PAGO:

50% ANTICIPO Y RESTO POR A LA ENTREGA DEL INFORME

RECIBIDO

ACEPTADO

REPUBLICA DOMINICANA
 C/ República de Colombia #64 - Arroyo Hondo - Santo Domingo - Tel: (809) 9228399 - Fax: (809) 5228569

Anexo 9. Cotización laboratorio Ateco.



Dextra Manufacturing

REPAIRGRIP EQUIPMENT DATA SHEET

DMG40 Repairgrip Set:-

Function: Processing of the end of the rebar to crimp a connecting sleeve to the rebar end

Application: Used for all Repairgrip coupler processing on 16mm-40mm rebars

Operation: Manual operation via a hand valve control on the power unit.

Technical Specification:

Supply:	5 core 2.5mm ² cable of 3 phase+ Neutral +Earth,
Voltage:	380-420V 50Hz/440-480V 60hz
Rated power:	3.0/3.45kw
Rated Amp:	16A
Max working pressure:	80Mpa (800 Bar)
Weight:	225kg
WxHxL:	60 x 80 x 80cm
Capacity:	16-40mm rebar 16-32mm on DMG650 crimping head 36-40mm on DMG800 crimping head
Manufacturer:	Dextra Manufacturing Co.,Ltd.
Country of Origin:	Thailand
Harmonized Customs Code:	



Specification subject to change, equipment supplied may differ from detail; above.
www.dextragroup.com

DMG40/1/1010

Anexo 10. Especificación de equipos utilizados para empalmar con conectores mecánicos.

Sleeves dimensions

(Approximate dimensions in millimeters)

Product Code	Bar diameter (mm)	Sleeve dimensions			
		O.D. (mm)	I.D. (mm)	L (mm)	Weight (kg)
FPOT1000001	10	21	13	80	0.15
FPOT1200001	12	24	14	100	0.25
FPOT1600001	16	32	20	100	0.40
FPOT2000001	20	37	24	100	0.45
FPOT2200001	22	40	26	150	0.85
FPOT2500001	25	45	30	160	1.10
FPOT2800001	28	53.5	34	130	1.40
FPOT3200001	32	57	38	180	2.00
FPOT3600001	36	63	43	180	2.60
FPOT4000001	40	70	48	250	3.70

Anexo 11. Dimensiones de los conectores.



Dextra Manufacturing

Page 1 of 1

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

As per EN 10204-2.1

We hereby certify that the products listed below have been manufactured in our factory and are in conformity with our specifications

CUSTOMER NAME	ARQ.ING.I&F SRL
PURCHASE ORDER NUMBER	EMAIL 24 APRIL
INVOICE DATE	02/06/2014
INVOICE NUMBER	68820
ETA	10/06/2014
L/C NUMBER	
DATE OF CREDIT	
ISSUING BANK	

Traceability Information:

Item	Product Code	Product Description	Box No	Marking Number	Raw Material Lot#	Qty	Total Qty
1	FPOT2500001	Repair Grip Coupler for rebar RG25	K144-01138	RG25DM1227092116	2116	10	10
Total							10

Anexo 12. Certificación de aprobación para uso de empalmes mecánicos.



Dextra Manufacturing

MILL CERTIFICATE RESULTS					
Date	: -	Length (mm.)	: 4000-5800	Lot No. 2116	
Certificate no.	: 12353-2-03	Quantity(pcs)	: 329		
Steel Grade	: A106B	Weight (kg)	: 10772		
Size (mm)	: 45x7.5				

CHEMICAL COMPOSITION (WT%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	V
Result	0.20	0.22	0.51	0.025	0.003	0.16	0.11	0.01	0.001	0.004

MECHANICAL PROPERTIES							
Heat no.	Yield Strength (MPa)		Tensile Strength (MPa)		Elongation (%)		Impact (J) (-40 °C)
11-215452	335	325	455	455	56	56.5	-

Ultrasonic Test	Result
	-

We hereby certify that the products listed herein have been manufactured in our factory and are in conformity with our specifications.

Anexo 13. Resultados de certificación. Propiedades mecánicas y químicas.