

UNIVERSIDAD CENTRAL DE COSTA RICA

VICERRECTORÍA ACADÉMICA

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

TESIS PARA OPTAR POR EL GRADO DE LICENCIATURA EN INGENIERÍA

CIVIL

**ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE CONTROL, DEL
CORRECTO ARMADO DEL ACERO PARA CONCRETO
REFORZADO**

Autor: Hansell Mauricio Ramírez Badilla

Tutor: Claudio Zúñiga Serrano

SEDE ARANJUEZ

19 DE ABRIL DEL 2022

Índice

• Capítulo 1.....	8
1.1 Problema de Investigación	8
1.2 Pregunta de la investigación.....	8
1.3 Antecedentes	9
1.4 Objetivo General	17
1.5 Objetivo Específicos	17
1.6 Alcances	18
1.7 Limitaciones	18
• Capítulo 2.....	20
2.1 Historia.....	20
2.2 Producción del acero de refuerzo	23
2.3 Caracterización del acero de refuerzo (varilla)	24
2.4 Normas de las varillas	27
2.5 Pruebas de calidad.....	30
2.6 Longitudes de ganchos a 90°, 135° y 180°	32
2.7 Traslapes y empalmes, entre varillas.....	41
2.8 Tipos de Cimentaciones, Columnas y Vigas.....	43
2.8.1 Cimentaciones	43
2.8.1.1 Fundaciones Superficiales	43
2.8.1.2 Fundaciones Intermedias	44

2.8.1.3 Fundaciones Profundas.....	44
2.8.2 Vigas.....	46
2.8.3 Columnas.....	47
• Capítulo 3.....	49
3.1 Transporte y recepción del acero.	50
3.2 Despiece del Acero.....	52
3.3 Preparativos para Armado del Acero.	55
3.4 Preparación del acero de refuerzo.	63
3.5 Corte de las varillas de acero.....	64
3.6 Doblado de las varillas de acero.....	65
3.7 Armado e Instalación de las armaduras de acero de refuerzo.	69
3.8 Rendimientos de tiempo.....	77
3.8.1 Paso a desnivel La Bandera	78
3.8.2 Paso a desnivel Guadalupe.....	79
3.8.3 Ampliación paso Firestone, proyecto OBIS	80
3.8.4 Pilotes de Pilotes de Costa Rica.....	81
3.8.5 Casa de habitación en Hacienda Los Reyes.....	82
• Capítulo 4.....	84
Aplicación	84
• Capítulo 5.....	116
5.1 Conclusiones y Recomendaciones	116

5.2 Referencias	117
5.3 Anexos.....	120
5.3.1 INA, 2022, Prueba de Varilla Contratada.....	120
5.3.2 Steel Resources, 2021, Prueba de Varilla de Origen.....	123
5.3.3 Kaptan D., 2021, Prueba de Varilla de Origen.....	123
5.3.4 Jiangsu S., 2018, Prueba de Varilla de Origen.....	124
5.3.5 Arcelor M., 2020, Prueba de Varilla de Origen.....	124
5.3.6 Eurobau, 2022, Ejemplo de Despiece.....	125
5.3.7 Meco, 2021, Ejemplo de Despiece	127
5.4 Imágenes.....	128
5.4.1 Imagen 1, Proyecto La Bandera, Banco de Doblado Manual, autoría propia	128
5.4.2 Imagen 2, Proyecto La Bandera, amarras en armadura, autoría propia.....	129
5.4.3 Imagen 3, Proyecto La Bandera, amarras en armadura, autoría propia.....	130
5.4.4 Imagen 4, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, amarras en armadura, autoría propia	131
5.4.5 Imagen 5, Proyecto La Bandera, armadura con recubrimiento, autoría propia	132
5.4.6 Imagen 6, Proyecto Puente Saprissa, levantamiento de armaduras, autoría propia	133
5.4.7 Imagen 7, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, levantamiento de armaduras, autoría propia	134

5.4.8 Imagen 8, Proyecto La Bandera, barra de apoyo para la armadura, autoría propia	135
5.4.9 Imagen 9, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, barras de apoyo para la armadura, autoría propia.....	136
5.4.10 Imagen 10, Ampliación paso Firestone, losa de fundación, autoría propia..	137
5.4.11 Imagen 11, Ampliación paso Firestone, armado de columna, autoría propia	138
5.4.12 Imagen 12, Ampliación paso Firestone, armado de columna, autoría propia	139
5.4.13 Imagen 13, Ampliación paso Firestone, armado de pedestal, autoría propia	140
5.4.14 Imagen 14, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia	141
5.4.15 Imagen 15, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia	142
5.4.16 Imagen 16, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia	143
5.4.17 Imagen 17, Casa Hacienda Los Reyes, armado de columna, autoría propia	144
5.4.18 Imagen 18, Casa Hacienda Los Reyes, armado de pedestales en serie, autoría propia	145
5.4.19 Imagen 19, Casa Hacienda Los Reyes, armadura de pedestal, autoría propia	145
5.5 Índice de Tablas	¡Error! Marcador no definido.

Resumen.

El objetivo principal, de este trabajo de tesis, es elaborar un manual que sirva de guía y ayuda para la realización de trabajos constructivos en el país, específicamente de las armaduras de acero de refuerzo, esto ante la falta de un instructivo que se pueda tener a mano y el cual ayude a minimizar, en lo posible, errores que se cometen en campo, los que terminan en atrasos y en pérdidas económicas. Al ser uno de los materiales más caros en construcción, se deben minimizar esos errores. Con este material, cuando se generan errores en corte o doblados es de difícil reutilización; por ello, en este documento se abarcan los puntos más importantes y de más relevancia para cuando se vayan a realizar las armaduras de acero de refuerzo, se detallan las consideraciones a tomar mencionadas en el *Código sísmico de Costa Rica*, como también en el reglamento ACI; se mencionan medidas mínimas a considerar para ganchos, anclajes, longitudes de desarrollo, traslapes, distancias entre traslapes, entre otras, siempre y cuando se tomen todas las consideraciones que se mencionan en dichos reglamentos, y dando a entender que se debe seguir también lo indicado en los planos estructurales, los cuales fueron hechos por profesionales del área.

Se inicia realizando las consideraciones a tomar, para la recepción y almacenaje del material, revisiones que se deben hacer y pruebas de material que se deben solicitar a laboratorios especializados en pruebas de materiales. Como segundo punto se abarca lo relacionado con los despieces, para entrar seguidamente al corte y doblado del material, para terminar en el armado y colocación de las armaduras de acero.

Todo esto se suma para dar con un manual, el cual, aunque corto, logra abarcar todo lo esencial y necesario, para lograr confeccionar armaduras de acero de refuerzo para el concreto reforzado, de manera eficiente y de calidad.

Se logra concluir que, en el país, se siguen dando errores por parte de los constructores, algunos por desconocimiento y otros por ser la manera que siempre han realizado el trabajo, los cuales terminan en atrasos en obra y en costos altos que encarecen la construcción, y se pueden corregir al leer y buscar, en este manual, las recomendaciones y consideraciones a tomar.

Capítulo 1.

1.1 Problema de Investigación

Dado que no se conoce con exactitud la influencia del acero en las estructuras de concreto, rendimientos y desperdicios que se dan por un mal armado, donde muchos de los errores denotan un desconocimiento en datos, como los largos de traslapes, ganchos, patas y otros, correcto armado en nudos, donde se desconocen también las características del acero, dependiendo de su grado y de su trabajabilidad.

Se analizó el faltante de una manual que aclare, guíe y disponga de las mejores maneras de trabajar correctamente el figurado del acero de refuerzo, y que dé como resultado un aumento de la productividad y del rendimiento, y disminuyendo las mermas de material, permitiendo el ahorro en costos considerables en la construcción. Por consiguiente, se unificará en un solo trabajo todo lo concerniente al acero, desde su llegada al proyecto, su revisión, características a tomar en cuenta, cuidados de almacenaje y manejo, puntos a tomar en cuenta para su modulado evitando desperdicio, cálculo correcto de los elementos para formado de las armaduras, revisión de detalles en la confección de las piezas y su apropiado corte y doblado, correcto procedimiento para el armado y colocado del acero, dando como resultado beneficios en tiempos, y a la postre en ahorro de costos.

Para ello, el autor del presente trabajo investigativo se dará a la tarea de analizar los detalles estructurales brindados en normar, y en visitas a campo, que permitan determinar las falencias y sus posibles correcciones.

1.2 Pregunta de la investigación

¿Cuáles son las maneras correctas y óptimas para el armado, que dan como resultado mejoras en la productividad, rendimiento y en la calidad de la construcción?

1.3 Antecedentes

Los siguientes antecedentes son trabajos realizados, donde se denotan perspectivas de uno o varios puntos, a los cuales se desea analizar e investigar en el presente trabajo de tesis. Aunque el tema principal no es abarcado en ninguna de las investigaciones que se van a detallar más adelante, estas servirán de guía y comparación, para así lograr el resultado esperado.

1.3.1 Juan Pablo Montero Moreira, *Cuantificación de rendimientos y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura*. Tesis de Licenciatura en el Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Este trabajo tuvo como objetivo principal elaborar un banco de datos basado en la productividad y los rendimientos, que sirva como herramienta para la programación y planeación de proyectos, dando una estimación de costos en la confección de estructuras de concreto reforzado en edificios modulares. Para este caso se tomó como proyecto el condominio 6-30, el cual era un complejo habitacional conformado de dos torres de 100 apartamentos cada una. El trabajo se basó en un nuevo método constructivo, que permite la elaboración de estructuras en forma monolítica basadas en las prestaciones de la formaleta Forsa, para lo cual la torre A fue la que sirvió de parámetro, donde se efectuaron las mediciones necesarias para la realización del trabajo. En la parte constructiva, se requirió analizar con detalle los trabajos que tenían mayor peso de trabajo, hasta el punto de generar estudios de las prestaciones de cada uno de los materiales usados en la implementación de la construcción.

Al finalizar el proyecto, se lograron determinar los patrones de medida en los procesos de confección y colocación de refuerzo de acero, colocación y remoción de formaleta, así como la colocación de concreto, que servirán de base para proyectos futuros del mismo método constructivo, como lo fue la torre B, del condominio 6-30, ya que la labor constructiva cuenta con

las mismas características de forma reiterada, logrando así determinar los factores que influyeron en el desempeño de las diversas tareas.

1.3.2 Marcos Gervacio Jiménez, *Detallado de acero de refuerzo en estructuras de concreta altura*. Tesis de Licenciatura en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Esta investigación comenta la necesidad del refuerzo para el concreto como elemento efectivo en la compresión y tensión de las estructuras, determinando las características del acero producido en México, para con ello analizar sus esfuerzos en cortante, cargas axiales, flexión y torsión. Ya con los estudios realizados se elaboró una metodología comparativa, en la cual se analizaron dos métodos constructivos, donde se detalló cómo trabaja el acero en elementos como vigas, columnas, zapatas, muros, entre otros, siguiendo las normas especificadas para la construcción en México, para lograr así determinar y dar las respuestas necesarias de cuál o cuáles aceros sirven o trabajan mejor de acuerdo con el método constructivo y con el elemento que se tenga que construir, detallando las propiedades geométricas, cantidades y correcta posición del acero de refuerzo, para lograr, junto con el concreto, una estructura idónea, ya que ambos materiales se unen de muy buena manera: uno compensa las deficiencias del otro, y viceversa.

El corte de las barras, el colocado correcto del acero, la formación adecuada de estribos, suman para dar con lo indicado como detallado de acero; esto tiene tanta importancia económica como estructural, porque se consiguen estructuras adecuadamente dúctiles.

Dentro de las especificaciones que se dan como criterios generales para que el detallado del acero sea óptimo, se brindan las siguientes:

- Se deben buscar detalles estructurales sencillos y repetitivos.
- Toda barra debe estar correctamente anclada.

- Los recubrimientos deben ser los adecuados.

La búsqueda de economía no debe limitar los requisitos estructurales necesarios para la construcción ni la calidad de los materiales; lo que busca el detallado es un balance entre lo estructural y lo económico, mediante un adecuado uso de los materiales.

1.3.3 Yeni Fuquen Fuquene y Ángela Niño Castillo, *Influencia de rendimientos y desperdicios para optimizar la calidad y costos en obras de construcción*. Tesis de Licenciatura en la Universidad Santo Tomás, Perú.

Este trabajo detalla los rendimientos y desperdicios que se pueden generar en obras civiles de construcción, para lo cual se tomaron como muestra seis construcciones y se evaluaron los tiempos que dura un trabajador o cuadrilla realizando las diversas tareas que conlleva una construcción. Entre las tareas evaluadas están las cimentaciones, mampostería y losas; como unidad de medición en varias de esas tareas se utilizó la de los metros cuadrados, mientras que en otras se usó el tiempo como método de medición, para lo que en la medida de desperdicio se usó el mismo sistema por el cual los trabajadores hacen las mediciones, carretillos, baldes, ml de material, entre otros.

En la parte de rendimiento se analizaron los factores que influyen directamente, como lo son la cantidad de personas en cuadrilla y la experiencia de los trabajadores.

En el tema de desperdicio también se estudió el impacto que genera, desde el punto de medio ambiente, así como el económico, ya que se debe analizar el manejo adecuado de los desechos, y que se debe asumir un costo por acarreo de estos hasta el lugar de depósito.

Estos análisis dieron como resultado una base de datos con rendimientos, la cual despejó que los contratos por tareas realizadas eran óptimos y aumentaban la productividad. Sin embargo,

se detalló que en algunos casos esta productividad afectaba negativamente la calidad, pues se llevaba a cabo de manera rápida sin tomar en cuenta la eficacia, y por la parte del cálculo de desperdicios, se detectó que había falencia en la planeación, ejecución y en los controles de inventario de los materiales, ya que muchos sobrantes no eran tomados en cuenta luego, porque no se reportaban y había errores en el uso de los materiales.

1.3.4 Katherine Mendoza Jesús y Jonathan Martinez Palacios, *Mejoramiento de la productividad en acero y encofrado de placas*. Tesis de Licenciatura en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Este trabajo se realizó analizando la productividad en un proyecto de seis torres, comprendida cada una de 16 pisos, utilizando enfoques y herramientas propuestas en el Institute Lean Construction. Para ello se analizaron los lugares en la construcción que más problemas presentaban en cuanto a productividad, y se buscaría mejorar el sistema constructivo que se estuviera utilizando, empezando por mejorar los espacios de trabajo buscando un flujo continuo. Luego se analizaron los ritmos de las diferentes cuadrillas que estuvieran laborando, para así determinar las variables que afectaban la productividad.

Con ese análisis descrito, procedieron a aplicar las mejoras que obtuvieron en los mismos segmentos de la construcción de otras dos torres, y con ello validaron que las soluciones e implementaciones efectuadas brindaron una mejora sustancial en la productividad, y que con ello se logró la optimización de costos y tiempos en cuanto a la primera torre analizada.

Entre las conclusiones encontradas, que ayudarían a tener una mayor productividad, se tiene que se deben plantear desde un inicio las áreas de almacenaje, figurado y armado, permitiéndose un flujo adecuado de todas las tareas, eliminando en lo posible actividades que no

agregan valor, como lo son los traslados de un sector a otro de materiales, los cuales deben estar colocados lo más cerca que se pueda de los lugares en que se van a colocar.

Con este trabajo se lograron identificar también variables de factor humano, problemas de organización, la necesidad de esquematizar todos los procesos y tomar en cuenta controles de calidad y seguridad, todo esto con el fin de obtener una buena planificación, la cual pueda ser usada para conseguir esa mejora deseada.

1.3.5 *Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado*, Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador.

De acuerdo con lo tratado en la guía, se muestra una metodología práctica a seguir en el diseño de elementos de hormigón armado, mediante las consideraciones y exigencias estipuladas en el código ACI-318, para lo cual el trabajo detalla procedimientos a través de análisis y diseños estructurales aplicados para el edificio especificado en el documento, el que sería un edificio de cuatro pisos, con 3.06m de altura entre cada piso y con medidas de 6mx6m en planta.

Particularmente en lo concerniente a acero y su colocado, se especifican y detallan vagamente puntos sobre su colocación. Dentro de los detalles están los diámetros de varilla, la mención sobre cómo realizar el corte y dobléz, referencias sobre cómo debe ser la colocación del acero y, por último, los dos tipos de acero a usar en el proyecto que menciona el documento. Lo que sí se detalla es que se debe tener especial consideración al momento de supervisar y verificar la resistencia, el grado, tamaño del acero, espaciado entre elementos horizontales y verticales de acero, la calidad y efectividad de soportes y amarres del acero, ya que especifica que la colocación inapropiada del acero de refuerzo puede conducir a agrietamientos severos del concreto, a corrosión del refuerzo acero y a deflexiones excesivas.

Todo esto lleva a que el armado del acero de refuerzo en concreto armado debe ser tratado con sumo cuidado, y dársele todas las consideraciones que lo amerite, para lo cual, todo armado empieza desde la revisión del acero a utilizarse, donde este deberá estar libre de capas de corrosión. Sin embargo, se menciona que una película delgada de oxidación es aconsejable porque incrementa la adherencia del acero al hormigón, y se da hasta el punto del colocado, donde en este se debe contemplar que el refuerzo tenga el recubrimiento estipulado, tanto en los detalles estructurales como en los indicados en normas como la ACI; para esto se deberá hacer uso de cubos de hormigón, barras espaciadoras, entre otros. Otro punto mencionado y a contemplar es el de las consideraciones para tomar en lugares de congestión, donde el espaciado deberá considerarse de acuerdo con el tamaño nominal de los agregados en la mezcla de concreto estipulada.

1.3.6 Carlos Rondón S. M., *Manual de armaduras de refuerzo de hormigón*, Gerdau AZA de Chile.

Carlos da en este manual una amplia visión de lo que conlleva la realización de armaduras de varillas de acero, específicamente de la marca Gerdau, basado en las normativas chilenas vigentes de cuando él hizo este estudio, y muestra como objetivo principal el control que se debe tener con las varillas a la hora de su recepción, como características físicas, revisión de certificados de calidad, y explica la manera de fabricación de las barras. De esta manera, en seis capítulos describe: proceso de fabricación, control de calidad en molinos, recomendaciones de transporte y almacenamiento, funcionalidad del acero en estructuras armadas, interpretación de planos, especialización de los trabajadores. En los capítulos cuarto y quinto se dan normas, requisitos y recomendaciones para la fabricación de armaduras, tanto en el método tradicional, o sea, en campo, como en la forma industrial, y por último se describen las maneras de protección de los elementos

armados, donde se debe tener cuidado con los agentes que producen el fenómeno de la corrosión, hasta del correcto recubrimiento que debe tener el acero presente en concreto reforzado.

Todo esto da, así, como resultado, una amplia ayuda práctica, orientada a encontrar respuestas esenciales a las interrogantes relacionadas con materias que corresponden a la actividad del armado de estructuras de acero, e indica como posible ayuda diversa referencia y bibliografía, las cuales sirven para encontrar interrogantes que hayan quedado con el tema descrito. Al final, se describen detalles constructivos de hormigón armado y ejemplos de prácticas generales para la inspección de las armaduras.

1.3.7 Luisa Fernanda C. V., *Determinación de las variables que afectan el rendimiento de la mano de obra en la construcción de edificaciones en el municipio de Armenia*, Trabajo de Grado para Máster en la Universidad EAFIT.

La realización de este trabajo se basó en analizar variables que afectan el rendimiento de mano de obra en España, específicamente en el área de Armenia. Para ello evaluaron 15 actividades en 18 obras que presentaban un mismo patrón constructivo; aunque lo planteado fueron 26 actividades, esto no fue posible, debido a los distintos sistemas constructivos. Entre las actividades consideradas estuvieron armado de acero de columnas, corte de acero, figurado del acero, entre otras.

El estudio propuesto permitió el análisis de un tema que es aplicado en todo proyecto constructivo; esto ayuda a entender mejor y a tener claro cómo se deben realizar las planeaciones y ejecuciones de las obras, beneficiando los requerimientos técnicos y también la parte financiera de cada proyecto. Por ello es fundamental entender los rendimientos que se pueden tener en mano

de obra, tener claros los puntos que la influyen, y ya con esto determinar los mejores procesos que den con un rendimiento deseado y óptimo.

Con este trabajo se logró determinar que existen factores claros en todo proyecto, pero que muchas veces son omitidos en las puesta en marcha en las obras, como, por ejemplo, la ubicación geográfica, ya que no es lo mismo construir en una zona plana que en una muy quebrada; las culturas de la región pueden afectar a los mismos trabajadores; el clima de la región en la cual se va a efectuar la obra, porque un clima muy frío, caliente o hasta muy húmedo, afecta el rendimiento de los trabajadores y con ello la mano de obra.

1.3.8 Oscar M. G. C., *Aspectos fundamentales del concreto reforzado*, México: Limusa.

La primera edición de este libro fue en 1974, con el fin de mostrar cómo pueden establecerse procedimientos de diseño de miembros de concreto reforzado. Ya para la cuarta edición del 2005 se encuentran ejemplos resueltos que vinieron de obras materializadas, lo que ayuda a dar respuestas a obras que se puedan efectuar en la realidad, y se dan explicaciones sobre temas relacionadas con las diferentes fuerzas que impactan los elementos estructurales de las obras.

Entre sus temas se caracterizan los elementos que conforman el concreto reforzado (concreto y acero), se mencionan las posibilidades que brinda el empleo de acero, y cómo ayuda a contrarrestar muchos de los esfuerzos que impactan las estructuras, colaborando, así, a tener construcciones más resistentes y eficientes, con ello dando solución a muchos de los problemas de diseño estructural que se presentan al realizar proyectos de construcción, esto con la ayuda de figuras, lenguaje claros y ejemplos ilustrativos, y esto ayuda también a tener una mayor claridad

de criterios técnicos, de los cuales todo profesional o estudiante, en pos de ser profesional con conocimiento en construcción, debería poseer.

En otro de sus temas se mencionan ampliamente, en uno de sus capítulos, los controles de calidad que se deben realizar en los diferentes elementos de concreto reforzado, como también las pruebas de calidad que se deben realizar a los diferentes elementos que componen el concreto reforzado, entre ellos el acero. Todas estas pruebas, indica el libro, se basan en el Reglamento ACI-318 del American Concrete Institute, lo que hace es tomar y explicar lo que dice el reglamento de una manera práctica y sencilla.

1.4 Objetivo General

- Crear un manual de control, del correcto armado del acero en concreto reforzado, que ayude en el día a día de la eficiencia en la construcción.

1.5 Objetivo Específicos

1. Establecer la apropiada preparación del acero a usarse en el concreto reforzado, por medio de indicaciones de fabricantes y de las normas.
2. Determinar las generalidades en el armado e instalación del acero para concreto reforzado mediante el análisis de observación en sitio.
3. Identificar el nivel de rendimiento y la productividad mediante el análisis de tiempos, en el armado de acero para concreto reforzado, estableciendo el orden a seguir en el armado.
4. Analizar el correcto modulado del acero, para una mayor facilidad en su colocación en el concreto reforzado y disminuyendo la merma del acero.

1.6 Alcances

- Se abarcarán únicamente armaduras de acero, realizadas de varillas de acero. Los tipos de armaduras serán las usadas en fundaciones, columnas y vigas, puntualmente.
- Este trabajo se enfoca solamente en las varillas de acero y no en otro tipo de material.
- Los puntos que se desarrollarán podrán ser usados en todo tipo de construcciones que tengan, dentro de su estructura, concreto armado.
- Las propuestas de corte y doblado podrán variar de acuerdo con las especificaciones técnicas de los proyectos constructivos.
- El trabajo realizado pretende mejorar y reforzar contenidos o maneras de trabajo, las cuales podrían resultar en pérdidas de tiempo y de costo en las obras.
- No se tomarán en cuenta diseños estructurales, más que las recomendaciones generales dadas en la norma ACI y al *Código sísmico de Costa Rica*.

1.7 Limitaciones

- Este trabajo está limitado a construcciones que tengan, dentro de su modelo constructivo, concreto reforzado.
- Únicamente será para construcciones en Costa Rica, debido al uso del *Código sísmico de Costa Rica* dentro de sus referencias.
- Solamente se tomarán en cuenta procedimientos, maquinaria y métodos usados en Costa Rica.
- El manual no pretende responder qué está bueno y qué está malo, sino solo presenta procesos y métodos que pretenden ser más efectivos, eficientes y mayor calidad.

- Por temas de pandemia, la visita a proyectos y reuniones con personal especializado en armado de estructuras es limitado.

Capítulo 2.

2.1 Historia

El concreto reforzado está basado en dos materiales particulares y específicos, como lo son el concreto y el acero de refuerzo. Con respecto al concreto, los primeros rastros de su empleo se encuentran en el Asia Menor unos 6.000 años antes de Cristo (a.C.); si bien en una forma primitiva se han encontrado, correspondientes a la cultura babilónica, centenares de tablas de barro cocidas al sol, empleadas para construcciones de toda índole, con una adecuada adición de finos. Sin embargo, una aplicación más próxima a lo que hoy en día lleva tal nombre, se tiene en torno a los 4.000 años a.C. en el Antiguo Egipto, donde se empleaba en forma general para la unión de bloques de piedra tallada.

Unos dos siglos a.C., se aplicó en China un procedimiento a base de barros con alto contenido de piedra natural, para la construcción de la imponente Muralla China; en ella se consolidaban grandes masas de arcilla mezcladas con trozos de roca, siguiendo una alineación determinada, agregando solamente la cantidad de agua necesaria para que la mezcla fuese trabajable. La Muralla China se extiende en una longitud mayor de los 2.450 km, por terrenos bastante accidentados, con una altura constante de 16m, y un ancho de 8m, sin contar magnitud de torres, bastiones, puertas y otros. Puede calcularse que el volumen empleado de material apisonado que se utilizó en dicha obra es de 260.000.000 m³.

En la Roma Imperial, 100 años a.C., fue iniciado el empleo de cal apagada con tierra puzolánica. Este procedimiento que se cultivó hasta unos cuatro siglos más tarde se extendió a multitud de obras, muchas de las cuales fueron originales.

La época moderna del concreto nace cuando Smeaton, en 1756, utiliza la marga calcinada de cal, para la construcción del faro de Eddystone, en Inglaterra.

El concreto reforzado debe su evolución a las etapas históricas de los elementos que lo integran: acero y concreto, que fueron protagonistas del desarrollo comercial. En el campo de la construcción, la industria del acero ya operaba independiente hasta 1818, cuando Vicat, ingeniero de puentes y carreteras, formuló un proceso para regular las propiedades de los materiales que se extraían de las canteras, los cuales en ese momento eran de calidad incierta para el resultado del producto final. Al mismo tiempo se dio al mortero y más tarde al concreto, y la confiabilidad para usarlos en la construcción en cualquier lugar y momento.

En 1850 había solo cuatro fábricas de cemento en Inglaterra (entre ellas la famosa Portland) y una en Francia. El desarrollo definitivo coincidió con la Revolución Industrial, que llevó por el mundo una importante modificación del aparato productivo; por ejemplo, en Los Estados Unidos de América se inventaron los hornos rotativos, lo que incrementó considerablemente la productividad; la piedra caliza (materia prima) y el carbón (energía) permitieron mejorar el producto a menor costo; la organización de distribución se implementó (agencias, comercios, publicidad) y la investigación se intensificó (las fábricas tenían sus propios laboratorios, principalmente en Alemania). Así el concreto fue inferido por el reforzamiento del acero.

Los usos del concreto reforzado no son bien conocidos. Muchos de los trabajos iniciales fueron hechos por dos franceses, Lambot y Joseph Monier. Alrededor de 1850, Lambot construyó un bote de concreto reforzado con una red de alambres o barras paralelas. Sin embargo, se le acredita a Monier la invención del concreto reforzado, ya que en 1867 él recibió la patente para la construcción de receptáculos de concreto reforzado con una malla de alambre de hierro; su meta era, al trabajar con este material, obtener un bajo peso sin tener que sacrificar resistencia. De 1867 a 1881 Monier recibió patentes para la fabricación de

durmientes, losas de piso, puentes peatonales, edificios y otros elementos de concreto reforzado en Francia y en Alemania.

E.L. Ransome, de San Francisco, California, usó concreto reforzado en los primeros años de la década en 1870 y fue inventor de las barras corrugadas, para las que obtuvo la patente en 1884. Estas barras, que eran cuadradas en su corte transversal, se torcían en frío con una vuelta completa de una longitud de no más de 12 veces el diámetro de la barra. El propósito de torcerlas era proporcionar mejor adherencia entre el concreto y el acero.

Thaddeus Hyatt, un americano, fue probablemente la primera persona en analizar correctamente los esfuerzos en una viga de concreto reforzado, y en 1877 publicó un libro de 28 páginas titulado *An account of some experiments with Portland cement concret, combined with iron as a building material*. Este libro encaminó el uso del concreto reforzado.

Aun cuando por 1890 no se entendían todavía con claridad las funciones del concreto reforzado, otro francés, Francois Coignet, prescribió la dosificación, los armados, el cálculo, la norma de elaboración del material y la de las materias primas, y teorizó lo básico, que sirvió para el desarrollo de varios sistemas, que consisten todos en ahogar el acero en el concreto para formar vigas, muros, losas, tubos, columnas, entre otros, y donde la forma del acero marcaba la diferencia. Hennebique colocaba anillos para controlar el cortante de manera más económica y Ransome alineaba espirales de acero para tener adherencia con el concreto.

Arena, grava, cemento y agua propiamente dosificados y acero colocado adecuadamente eran los ingredientes del nuevo material, donde la diferencia (comportamiento mecánico, dosificación y forma y configuración del acero) lo distinguió de los sistemas en uso de esa época (Jiménez G., 2005).

En el ámbito costarricense, con la expansión de la Revolución Industrial en todo el mundo, el material por predilección fue el acero y con él, la proliferación de obras típicas de este periodo histórico que, como todos, llegó de forma tardía a Costa Rica. De esta época se cuenta con obras tan relevantes como el Edificio Metálico en 1895 (Escuela Buenaventura Corrales B.) y la iglesia de Grecia en 1840. Fue de esta manera que, el final del siglo XIX y los inicios del siglo XX, se caracterizaron por la construcción de grandes obras como el teatro-cine Variedades en 1881, el antiguo Instituto de Alajuela en 1887, la antigua Escuela República Argentina en 1888, el Liceo de Costa Rica en 1903, el edificio Steinvorth en 1907, la estación del Ferrocarril al Atlántico en 1908, la antigua Escuela Vitalia Madrigal en 1910, el Castillo azul en 1910, el edificio de Gobernación y Correos de Heredia y la librería Lehmann en 1914, el edificio de Correos y Telégrafos de San José (1917), entre otros (Pendones, 2019).

2.2 Producción del acero de refuerzo

Para la fabricación del acero de refuerzo, en el mundo se desarrollaron compañías designadas como molinos, las cuales se encargan de la producción de este; como ejemplos de esas compañías hay nombres como Gerdau AZA, Arcelor Mittal, Habas, Corinca, Kaptan, entre otras.

La producción del acero inicia desde la selección y procesamiento de trozos de acero en desuso, como lo es la chatarra; este material es el mayor porcentaje de materia prima en la producción del acero de refuerzo. Los otros elementos que lo componen son ferroaleaciones, oxígeno, cal, entre otros.

El acero se produce en cargas de hasta 60 ton cada una, y se funde a una temperatura de 1630 °C, donde pasa a estar en estado líquido, y donde a esa temperatura se eliminan todas las impurezas que puedan venir en el material de chatarra.

Este material es muestreado para revisar su composición química, y así ajustar de acuerdo con el grado de varilla que se quiera producir en ese momento. Posterior a la corrección se procede con el colado del acero, donde se producen palanquillas, para luego con estas palanquillas pasar al proceso de laminación en caliente; ahí las palanquillas producidas en el paso anterior son calentadas de nuevo a una temperatura de 1200 °C, lo que las deja en un estado plástico, y esto va a permitir que el material sea estirado hasta el diámetro de varilla que se requiere, formando su estriado mediante prensas y cortado en las longitudes estándar de ventas.

El producto terminado tiene que volver a pasar por pruebas de calidad y de certificación, ya que a nivel mundial el acero debe regirse por normativas, como lo son ISO, ASHHTO, ASTM, entre otras, con el fin de que el material resultante cumpla con todos los requisitos necesarios para los cuales se vaya a usar. En la construcción esto es fundamental, porque los diseños estructurales se basan en las capacidades de resistencia ya demostrados en los diferentes materiales (Rondón, 2005).

2.3 Caracterización del acero de refuerzo (varilla)

El acero de refuerzo se produce y comercializa mayormente en barras rectas de largos de 6m, 9m y 12m, como en rollos de peso aproximado a las dos toneladas; estas se producen con nervios longitudinales y resaltes inclinados con respecto a su eje, llamados estrías, con el propósito de aumentar la capacidad de adherencia del acero con el concreto, generando mayor área de contacto. Estas corrugas deben estar distribuidas de manera uniforme en la

varilla y no se debe exceder un máximo del 70% del diámetro nominal con corrugas; las corrugas que van en sentido inclinado deben estar entre 45° y 70° con respecto al eje longitudinal de la varilla (“Acero de refuerzo”, UNAM). Cabe mencionar que dentro del mercado nacional e internacional también existen las varillas y alambres lisos, pero estos son usados solo en ciertos casos, como es especificado en el reglamento ACI: “20.2.1.1 Las barras y alambres no prees forzados deben ser corrugados, excepto las barras y alambre lisos que se permiten para ser utilizados en espirales” (ACI-318S-14, p. 345). También el mismo reglamento especifica con cuáles normas deben cumplir esas barras y alambres lisos: “20.2.1.4 Las barras lisas para refuerzo en espiral deben cumplir con las normas ASTM A615M, A706M, A955M, o A1035M” (ACI-318S-14, p. 346). Estas corrugas ayudan a que se trabaje en conjunto, obteniendo una adherencia suficiente entre concreto y acero; esta es obtenida ya sea mecánicamente o por medio de la adhesión entre el concreto y el acero de refuerzo.

Las varillas se identifican de acuerdo con su origen, grado y diámetro correspondiente; a algunas también se les agrega si son tipo W, lo que las volvería varillas apropiadas para ser soldadas. Esta propiedad fue tomada dentro de las propiedades de varillas que cumplen con la norma ASTM A706. De hecho, el reglamento ACI 318 lo especifica y concluye que “20.2.1.5 Las barras de refuerzo, utilizadas en las parrillas de barras corrugadas soldadas deben cumplir con las normas ASTM A615M ó ASTM 706M.” (ACI-318S-14, p. 346). Esto se complementa con el comentario en el mismo reglamento, que indica:

“La norma ASTM A706 cubre barras de refuerzo de acero de baja aleación las cuales pueden ser usadas para aplicaciones que requieren propiedades controladas de tracción o

soldabilidad. La soldabilidad es lograda en la norma ASTM A706M limitando o controlando la composición química y el equivalente de carbono” (ACI-318S-14, p. 345).

Los diámetros de fabricación de las varillas van desde la #3 correspondiente a 3/8”, hasta la #11 que corresponde a 1 2/5”, y en partidas específicas puede haber producción de diámetros mayores, esto si algún diseño lo solicita.

En Costa Rica se manejan dos grados de varilla, el grado 40 y grado 60; el grado 60 cuenta con una resistencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, mientras que el grado 40 está en valores de $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$. En el país también ya se están empezando a usar varillas grado 80, lo que llevaría a un desarrollo de armaduras con mayor grado de resistencia, y que requerirían menor área de acero necesario dentro del concreto armado, pero por el momento, al ser poco su uso, el costo sumado a la disponibilidad del acero en diferentes calibres se vuelve ineficiente.

Los grados son normados de acuerdo con la ASTM 706 y 615, porque las propiedades del acero son fundamentales en la composición como un todo del concreto armado.

La caracterización de las varillas o barras estándar se da en el apéndice A del ACI 38-14; entre las características dadas están diámetro, área y peso, donde todos los productores de acero deben cumplir con lo indicado, o bien acercarse milimétricamente y miligrámicamente a estas designaciones.

Tabla 1

Tabla de medidas de las varillas

BARRAS ESTÁNDAR DE ASTM

Barra No.*	Diámetro nominal, mm	Área nominal, mm²	Masa nominal, kg/m
10	9.5	71	0.560
13	12.7	129	0.994
16	15.9	199	1.552
19	19.1	284	2.235
22	22.2	387	3.042
25	25.4	510	3.973
29	28.7	645	5.060
32	32.3	819	6.404
36	35.8	1006	7.907
43	43.0	1452	11.38
57	57.3	2581	20.24

Fuente: Ramírez, H. (2022)

2.4 Normas de las varillas

La norma ASTM A706, correspondiente para varillas grado 60, especifica los criterios técnicos y químicos con los que deben contar los aceros a usarse para concreto reforzado. Dentro de la norma está la siguiente tabla, la cual da criterios como la designación, el peso nominal, diámetro, área transversal, perímetro y los requerimientos para las corrugas o estriado con los que deben contar las varillas corrugadas. Los tres requerimientos que hay de ello son: el espaciado máximo, la altura mínima y el máximo de perímetro que debe cubrir las corrugas.

Tabla 2

Deformed bar designation Numbers, Nominal Weights (Masses), Nominal Dimensions, and Deformation Requirements. ASTM A706/A706M-09b

Bar Designation No.	Nominal Weight, lb/ft [Nominal Mass, kg/m]	Nominal Dimensions ^A			Deformation Requirements, in. [mm]		
		Diameter, in. [mm]	Cross-Sectional Area, in. ² [mm ²]	Perimeter, in. [mm]	Maximum Average Spacing	Minimum Average Height	Maximum Gap (Chord of 12.5 % of Nominal Perimeter)
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]	0.262 [6.7]	0.015 [0.38]	0.143 [3.6]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]	0.350 [8.9]	0.020 [0.51]	0.191 [4.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]	0.437 [11.1]	0.028 [0.71]	0.239 [6.1]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]	0.525 [13.3]	0.038 [0.97]	0.286 [7.3]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]	0.612 [15.5]	0.044 [1.12]	0.334 [8.5]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.700 [17.8]	0.050 [1.27]	0.383 [9.7]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]	0.790 [20.1]	0.056 [1.42]	0.431 [10.9]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]	0.889 [22.6]	0.064 [1.63]	0.487 [12.4]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]	0.987 [25.1]	0.071 [1.80]	0.540 [13.7]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]	1.185 [30.1]	0.085 [2.16]	0.648 [16.5]
18 [57]	13.60 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]	1.58 [40.1]	0.102 [2.59]	0.864 [21.9]

^A The nominal dimensions of a deformed bar are equivalent to those of a plain round bar having the same weight [mass] per foot [metre] as the deformed bar.

Fuente: ACI-318S-14

Mientras que para la norma ASTM A615, correspondiente al grado 40, se encuentra la siguiente tabla, donde especifica los mismos criterios que los descritos anteriormente para la norma ASTM A706, pero con diferentes parámetros.

Tabla 3

Deformed bar designation Numbers, Nominal Weights (Masses), Nominal Dimensions, and Deformation Requirements. ASTM A615/A615M-12

Bar Designation No.	Nominal Weight, lb/ft [Nominal Mass, kg/m]	Nominal Dimensions ^A			Deformation Requirements, in. [mm]		
		Diameter, in. [mm]	Cross-Sectional Area, in. ² [mm ²]	Perimeter, in. [mm]	Maximum Average Spacing	Minimum Average Height	Maximum Gap (Chord of 12.5 % of Nominal Perimeter)
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]	0.262 [6.7]	0.015 [0.38]	0.143 [3.6]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]	0.350 [8.9]	0.020 [0.51]	0.191 [4.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]	0.437 [11.1]	0.028 [0.71]	0.239 [6.1]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]	0.525 [13.3]	0.038 [0.97]	0.286 [7.3]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]	0.612 [15.5]	0.044 [1.12]	0.334 [8.5]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.700 [17.8]	0.050 [1.27]	0.383 [9.7]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]	0.790 [20.1]	0.056 [1.42]	0.431 [10.9]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]	0.889 [22.6]	0.064 [1.63]	0.487 [12.4]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]	0.987 [25.1]	0.071 [1.80]	0.540 [13.7]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]	1.185 [30.1]	0.085 [2.16]	0.648 [16.5]
18 [57]	13.60 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]	1.58 [40.1]	0.102 [2.59]	0.864 [21.9]

^A The nominal dimensions of a deformed bar are equivalent to those of a plain round bar having the same weight [mass] per foot [metre] as the deformed bar.

Fuente: ACI-318S-14

Estas normas descritas anteriormente, aunque son de origen estadounidense, se aplican en Costa Rica, ya que, en ellas se basa INTECO, ente acreditador de certificados de este país.

La legislación costarricense tiene sus requisitos, los cuales se pueden revisar en el *Código sísmico de Costa Rica*; en él hay requisitos generales de los materiales que se deben emplear en las construcciones en Costa Rica, tanto para la fabricación como para la erección de estos, y viene una parte destinada a lo que es el acero estructural, donde se especifican componentes y uniones. De estas especificaciones que trae el código sísmico costarricense vale recalcar que la mayoría son basadas en las normas de cuatro institutos de Estados Unidos de América, como lo son:

1. Institute of Steel Construction (AISC).
2. American Iron and Steel Institute (AISI).
3. American Welding Society (AWS).
4. American Concrete Institute (ACI).

En la sección 3, capítulo 8, requisitos generales, del *Código sísmico de Costa Rica* (CSCR) (2010), se indica puntualmente que: “Los elementos estructurales de concreto reforzado deben cumplir con las especificaciones del Comité 318 del American Concrete Institute (código ACI 318-08), excepto en lo referente a su capítulo ‘Estructuras sismorresistentes’ que es sustituido por este capítulo” (p. 101).

En el subcapítulo 8.1.2 Resistencia de materiales, el código también especifica los grados de acero con los cuales se permite trabajar en Costa Rica:

Acero: El acero de refuerzo debe cumplir la norma ASTM A 706. Se permite utilizar acero ASTM A 615 de grado 40 y grado 60, si:

- a. El esfuerzo real de cedencia no sobrepasa el esfuerzo especificado en más de 1 250 kg/cm².
- b. La relación de la resistencia última en tracción al esfuerzo de cedencia

real no es inferior a 1.25. (CSCR, 2010, p. 102)

En el reglamento ACI, están las especificaciones requeridas para los temas del acero utilizado en concreto reforzado para todo proyecto de construcción; por ello es un documento indispensable para usarse como referencia, ya que, como se vio, el CSCR lo toma tal cual.

2.5 Pruebas de calidad

Para la revisión de los grados del material, existen pruebas de fluencia y tensión que se les aplican a las varillas, y comprobar que estas cumplen con lo requerido. Estas pruebas son realizadas primeramente por los molinos que producen las varillas, para ellos poder comprobar que el material que venden cumple con las normas. La norma general que se debe cumplir y en las que se basan las pruebas, es la norma ASTM A370, la cual repone métodos de testeo para determinar las propiedades mecánicas del acero, el acero inoxidable y otros productos de aleación relacionados. El objetivo de este protocolo es evaluar la conformidad de estos materiales con las especificaciones propuestas por la jurisdicción del comité A01 de ASTM.

Se trata de un método de testeo que también está disponible para otros propósitos, al igual que otros estándares ASTM de testeo mecánico. Así, el objetivo de aplicarlo puede ser igualmente la evaluación de componentes después de su utilización en diferentes tareas, o el testeo para la aceptación de un comprador.

Este estándar mide la resistencia de estos materiales al ser tensados o doblados, así como su dureza o su firmeza ante impactos de diferente naturaleza. Por lo tanto, proporciona unos parámetros a partir de los cuales se obtiene información exacta y valiosa para fabricantes y compradores, respecto a las características de este material y sus capacidades. Los métodos de testeo mecánico permiten determinar las propiedades físicas de los

materiales que se muestrean. La norma procura obtener resultados fiables, comparables y reproducibles; para ello es necesario llevar a cabo el protocolo tal y como se especifica en la norma. En la norma se detalla cómo realizar las siguientes pruebas:

- Tensión
- Dureza
- Brinell (Doblado)
- Testeo de fuerza
- Dureza portable
- Impactos
- Keywords

Sin embargo, para hacer las pruebas existen más normas que se deben tomar en cuenta de acuerdo con todas las variables que se vayan dando durante el análisis.

En el país existen tanto empresas privadas como públicas que realizan estas pruebas; estas empresas y entes deben estar aceptados y regulados por **INTECO** ya que este instituto es el encargado de certificar los laboratorios, métodos y normas que aplican a la hora de hacer las pruebas. Dentro de las empresas y entes que realizan las pruebas están:

Públicos

- Lanamme (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales).
- INA (Instituto Nacional de Aprendizaje).
- ICE (Instituto Costarricense de Electricidad).

Privados

- Castro y de la Torre.
- ITP.
- Vieto.
- Entre otros.

Una vez que se solicita la prueba de calidad a alguno de los laboratorios acreditados en el país, estos se encargan de realizar las pruebas contratadas, cumpliendo con todos los parámetros establecidos, y con los resultados que les generan las pruebas, emiten los

certificados de calidad, los cuales vienen en un informe detallado, sobre las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en cada uno, para verificar el cumplimiento de las varillas a usar en las construcciones. (Véase el anexo 1). Cabe recalcar que la varilla en Costa Rica debe importarse, o bien producirse con altos estándares, por lo que en los molinos de origen (fábricas de varilla y aceros) también deben cumplir con pruebas de calidad, las cuales deben ser constatadas por INTECO; con esto, las varillas siempre deben tener certificado de calidad desde el origen de producción. (Véanse los anexos 4, 5, 6 y 7).

2.6 Longitudes de ganchos a 90°, 135° y 180°

Como se había mencionado con brevedad anteriormente, en elementos de concreto reforzado es necesario que exista adherencia entre el concreto y las barras de refuerzo, de manera que ambos materiales estén íntimamente ligados entre sí. De no existir adherencia, el comportamiento del elemento difiere; los esfuerzos de adherencia se presentan en los elementos de concreto reforzado por dos causas: la necesidad de proporcionar anclaje adecuado para barras, y la variación de fuerzas en estas, debido a la variación del momento a lo largo del elemento. Para ello, se incluyen también consideraciones sobre el traslape, el anclaje, el corte y doblado de barras, ya que en todos estos aspectos interviene la adherencia.

De acuerdo con lo indicado por González Cuevas (2005):

La adherencia o resistencia al deslizamiento tiene su origen en los fenómenos siguientes:

- a) Adhesión de naturaleza química entre el acero y el concreto.
- b) Fricción entre la barra y el concreto, que se desarrolla al tender a deslizar la primera.
- c) Apoyo directo de las corrugaciones de las barras sobre el concreto que las rodea.

En barras lisas sólo existen las dos primeras contribuciones.

Como su aportación a la resistencia al deslizamiento es mucho menor que la debida al apoyo de las corrugaciones sobre el concreto, la adherencia con frecuencia era un factor crítico en el diseño cuando las barras lisas eran de uso común. Por ello era importante contar con anclajes adecuados en los extremos

de las vigas para lograr un comportamiento como arco atirantado. La introducción de las barras corrugadas ha aliviado considerablemente los problemas de adherencia. Además, el mejor comportamiento en adherencia de estas barras ha hecho menos crítico el anclaje en los extremos que con las barras lisas y ha disminuido los agrietamientos y deformaciones con respecto a los usuales en éstas. (p.262.)

En cuanto a las longitudes de desarrollo con las que deben contar los ganchos, el Reglamento ACI 318 presenta ecuaciones muy sencillas, que toman en cuenta las variables principales, como el tamaño de las barras, la resistencia del concreto y el límite de fluencia del acero, en forma explícita, y otras variables, como la posición de las barras y su recubrimiento o separación de otras barras, a partir de factores por los que se multiplica la longitud de desarrollo, denominada en el reglamento *ld*. En el reglamento se presentan dos opciones: la primera, que es la más sencilla, se resume en la tabla 9.1 de dicho reglamento.

El factor *a* se introduce para tomar en cuenta la posición de las barras. Si son altas, o sea, con más de 30 cm de concreto por debajo de ellas, a vale 1.3, y en otros casos vale 1.0. Se puede ver que de esta manera se aumenta la longitud de desarrollo de barras altas por lo comentado en la sección 9.5.2. El factor toma en cuenta la posibilidad de que las barras estén recubiertas con alguna resina epóxica, lo cual se hace en ocasiones para protegerlas de la corrosión. Se le debe asignar un valor de 1.5 cuando las barras estén recubiertas con resina y tengan un recubrimiento de concreto menor que 3db o una separación entre barras paralelas menor que 6db; de 1.2 cuando estén recubiertas con resina, pero tengan recubrimientos de concreto o separaciones mayores que los anteriores; y de 1.0 si no están recubiertas con resina. Se ve que este factor hace aumentar la longitud de desarrollo si las barras están protegidas con resina, ya que esto disminuye su adherencia con el concreto. Si se toma en cuenta que para la mayoría de los casos prácticos *p* es igual a 1, las ecuaciones de la tabla 9.1

son realmente muy sencillas de aplicar. El reglamento especifica que el producto ap necesita tomarse como mayor a 1.7.

Tabla 4

Tabla 25.4.2.2- Longitud de desarrollo para barras corrugadas y alambre corrugado en tracción (ACI 318S-14)

Espaciamiento y recubrimiento	Barras No. 19 ó menores y alambres corrugados	Barras No. 22 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>	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
<p>Otros casos</p>	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1.4 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left(\frac{f_y \Psi_t \Psi_e \lambda}{1.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

Fuente: ACI-318S-14

La segunda opción que presenta el Reglamento ACI 318S-14 consiste en aplicar una ecuación similar a las de la tabla 25.4.2.2 del ACI, pero más general, ya que permite tomar en cuenta, de manera directa y explícita, el diámetro de las barras, el recubrimiento de concreto y la separación entre barras, y la cantidad de refuerzo transversal. Esta ecuación es la siguiente:

ACI 318S-14.

$$\ell_d = \frac{1}{3.5} \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \frac{\alpha\beta\lambda}{\left(\frac{c + K_{tr}}{d_b}\right)} d_b$$

El nuevo factor λ vale 0.8 para barras Nos. 6 y menores, y, 1.0 para barras Nos. 7 y mayores. El término c es el menor de los valores entre la mitad de la separación centro a centro entre barras y la distancia del centro de la barra a la superficie libre de concreto más cercana, en cm; K_{tr} es un índice del acero transversal, que se define como:

ACI 318S-14.

$$K_{tr} = \frac{A_{tr} f_y}{100 sn}$$

Donde A_{tr} es el área total de todo el acero transversal ubicado dentro de la distancia, y que cruza el plano potencial de falla por adherencia, s es la máxima separación entre el refuerzo transversal dentro de la longitud de desarrollo, y n es el número de barras que existen dentro de la longitud de desarrollo o que se traslapan.

En ocasiones, no se dispone de suficiente espacio para alojar la longitud de desarrollo requerida. Se suele, en estos casos, hacer dobleces en el extremo de la barra, de manera que se formen ganchos o escuadras que requieren menos espacio para desarrollar un esfuerzo dado en el acero que una longitud recta. Si estos ganchos o escuadras reúnen determinadas características geométricas, se denominan ganchos *estándar*. Se reseñan a continuación las recomendaciones al respecto del Reglamento ACI 318S-14: este reglamento define una longitud de desarrollo, L_{dh} , para barras en tensión que terminan en gancho estándar. El significado de L_{dh} , así como las características geométricas de los ganchos estándar, pueden apreciarse en la figura 9.21. El valor de L_{dh} , en cm, se obtiene multiplicando por los factores

de modificación de la tabla 9.3 el valor de una longitud de desarrollo básica, dado por la siguiente expresión:

ACI 318S-14.

$$L_{hb} = \frac{0.075 \beta f_y d_b}{\sqrt{f'_c}}$$

L_{hb} = longitud básica de desarrollo para barras con gancho estándar, cm

d_b = diámetro de la barra, cm

f'_c = resistencia del concreto, kg/cm²

β = 1.2 para barras recubiertas con resina epóxica y 1.0 para otros casos

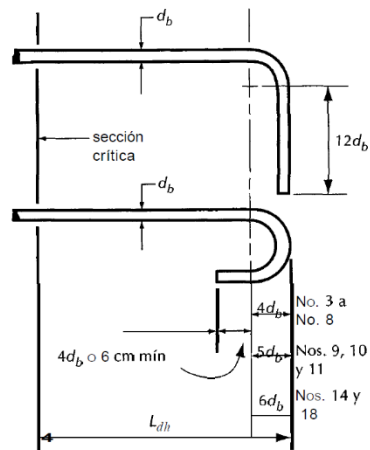


Figura 9.21 Detalles de ganchos estándar según ACI 318S-14

Tabla 5

Tabla 9.3 Factores de modificación de los valores L_{dh} (ACI 318S-14)

Condición	Factor
Ganchos de barras del No. 11 o menores, con recubrimiento lateral (perpendicular al plano del gancho) no menor de 6 cm, y ganchos a 90° con un recubrimiento de la parte recta al extremo del gancho no menor de 5 cm	0.7
Ganchos a 90° de barras del No. 11 o menores, confinados con estribos perpendiculares a la barra cuya longitud se desarrolla, espaciados a no más de $3d_b$ a lo largo de la longitud de desarrollo del gancho; o confinados con estribos paralelos a la barra, espaciados a no más de $3d_b$ a lo largo de la longitud de desarrollo del gancho	0.8
Ganchos a 180° de barras del No. 11 o menores, confinados con estribos perpendiculares a la barra cuya longitud se desarrolla, espaciados a no más de $3d_b$ a lo largo de la longitud de desarrollo del gancho	0.8
Cuando no se requiera la longitud de desarrollo para alcanzar f_y y haya refuerzo por flexión en exceso	$A_s(\text{req.})/A_s(\text{prop.})$

Fuente: ACI-318S-14

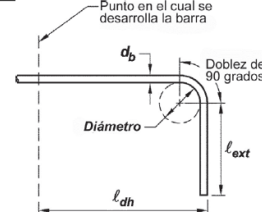
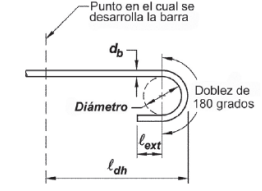
El valor de L_{dh} debe ser por lo menos igual al mayor de los siguientes valores: $8d_b$ o 15 cm. Para barras con gancho estándar situadas en los extremos discontinuos de miembros en que el recubrimiento libre, tanto lateral como superior o inferior, es menor de 6 cm, se especifica que se proporcione confinamiento por medio de refuerzo transversal, con una separación máxima de $3d_b$ en toda la longitud L_{dh} (figura 9. 21.). En tal caso no son

aplicables los factores de 0.8 indicados en la tabla 9.3. Esta situación es típica de los extremos de voladizos y de vigas libremente apoyadas.

De acuerdo con lo también indicado en el reglamento ACI, los dobleces realizados para conformar ganchos deben poseer un diámetro mínimo de doblez; este se divide en dos, debido a su funcionamiento en los diferentes esfuerzos a que son sometidas las estructuras. Estos diámetros mínimos están basados en la capacidad del acero de doblarse sin romperse, y la prevención del aplastamiento del concreto dentro del doblez.

Tabla 6

Tabla 25.3.1 Geometría de gancho estándar para el desarrollo de barras corrugadas en tracción. (ACI 318S-14).

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ^[1] ℓ_{ext} , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
	No. 29 a No. 36	$8d_b$		
	No. 43 y No. 57	$10d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 25	$6d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 29 a No. 36	$8d_b$		
	No. 43 y No. 57	$10d_b$		

^[1] El gancho estándar para las barras corrugadas en tracción incluye el diámetro interior específico del doblez y el largo de la extensión recta. Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la resistencia de anclaje del gancho.

Fuente: ACI-318S-14

Tabla 7

Tabla 25.3.2. Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos, amarras y estribos cerrados de confinamiento. (ACI 318S-14)

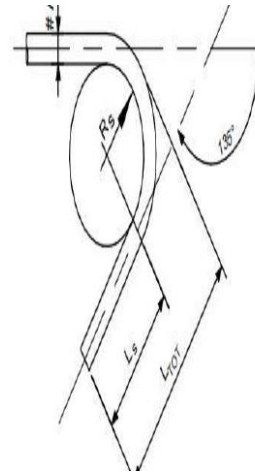
Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ^[1] l_{ext} , mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
Gancho de 135 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		

^[1] El gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento incluye el diámetro interior del doblado específico y el largo de la extensión recta. Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la

Fuente: ACI-318S-14

La normativa ACI 318.14, así como el CSCR 2010, ya que este último se basa en la primera, dan como base y como longitud mínima las siguientes tablas, si en las pasadas ecuaciones, el largo de los ganchos o anclajes a 90° o a 135° , da menor a los que se indican en las tablas, se deben tomar como referencia estas mismas. Para los ganchos a 135° se tiene:

DIMENSIONES DE DOBLECES PARA AROS Y ESTRIBOS (ACI 318-2014)			
ARO	R_s mínimo (mm)	L_s mínimo (mm)	L_{TOT}
#2	15	75	95
#3	20	75	105
#4	25	50	115

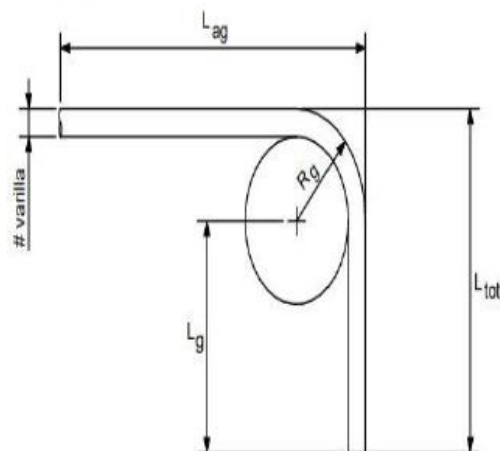


Y para lo que son ganchos sencillos o anclajes, sería:

Varilla	L_g (mm)	R_g (mm)	L_{tot} mínimo (mm)	f_y (kg/cm ²)	L_{ag} (mm) $f'_c=210\text{kg/cm}^2$	f_y (kg/cm ²)	L_{ag} (mm)* $f'_c=210\text{kg/cm}^2$
#2	80	25	105	2800	150	4200	150
#3	115	40	155	2800	150	4200	175
#4	150	50	200	2800	175	4200	250
#5	190	65	255	-	-	4200	300
#6	230	75	305	-	-	4200	350
#7	265	90	355	-	-	4200	400
#8	305	100	405	-	-	4200	475
#9	350	150	500	-	-	4200	550
#10	390	160	550	-	-	4200	600
#11	430	180	610	-	-	4200	650

* Se permite utilizar un factor de reducción de 0.95 en el valor de L_{ag} para las varillas #5 a #11 cuando se utilice concreto con resistencia a la compresión de 245 kg/cm²

Se permite utilizar un factor de reducción de 0.85 en el valor de L_{ag} para las varillas #5 a #11 cuando se utilice concreto con resistencia a la compresión de 280 kg/cm²



DETALLE TÍPICO DE GANCHO

2.7 Traslapes y empalmes, entre varillas

Comúnmente, las barras de refuerzo se fabrican en longitudes que varían de 6 a 12m. Estas medidas no suelen ajustarse a las dimensiones de las estructuras, por lo que resulta necesario recurrir al empleo de empalmes. Por otra parte, por facilidad constructiva, las barras suelen cortarse con el fin de poder trabajar con piezas de menor longitud, lo que facilita su manejo. Hay diversas formas de efectuar el empalme de barras. La más común consiste en traslaparlas. Generalmente el traslape se efectúa con las barras traslapadas en contacto y amarradas con alambre negro. El empalme por medio de traslape suele resultar práctico y económico para las barras de los diámetros menores. Para los diámetros mayores, el empalme traslapado puede implicar un consumo alto de acero, por las longitudes de traslape requeridas, así como un congestionamiento exagerado del armado.

Los reglamentos suelen exigir que los empalmes por soldadura o mecánicos sean capaces de desarrollar el 125% del esfuerzo de fluencia cuando se utilizan en regiones donde él está sujeto al esfuerzo máximo. En regiones donde el esfuerzo del acero es bajo, no es necesario cumplir con este requisito. Según el Reglamento ACI 318-02, los empalmes soldados deben realizarse de acuerdo con las recomendaciones de la American Welding Society. Existe una gran variedad de dispositivos mecánicos para empalme de barras, tanto en tensión como en compresión.

De acuerdo con lo indicado por el ACI-318-14 (p. 454), las longitudes de traslape para empalmes se deben calcular de acuerdo con las tablas 10.7.5.2 y con lo que se indicará adicionalmente en la sección R25.5 – Empalmes.

Entre los puntos adicionales generales, o bien, datos que se deben contemplar a la hora de realizar traslapes de acuerdo con la Sección R25.5 del ACI 318-14, se manifiesta:

- No se deben traslapar paquetes enteros de varilla en una misma zona, por lo cual se dice que no se debe traslapar mas del 50% de un paquete en un mismo punto. Cuando se deba traslapar en una misma zona, se establece que a la longitud de del traslape se le debe sumar entre un 20% y un 33%.

Tabla 8

Tabla 10.7.5.2. Clases de empalmes por traslapo a tracción. (ACI-318S-14)

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

- No se deben hacer traslapos, en zonas de confinamiento, de los llamados nudos, por ejemplo entre vigas y columnas. Para evitar esto, el traslape se debera realizar en el segundo tercio de la longitud que se desea cubrir.
- Para traslapos de varillas de distinto diámetro, se debe tomar, como longitud de empalme, el indicado para la varilla con mayor diámetro a traslapar.
- Para espirales, el empalme entre ellas debe ser media vuelta de la espiral, o bien, lo que se indica en la tabla 25.7.3.6 del ACI 318-14, donde para espirales de varilla corrugada se debe traslapar 48 veces el diámetro de la varilla usada en la espiral, y en su punto de anclaje no requiere gancho, sino media vuelta más de espiral.
- Para columnas circulares, los aros redondos deben tener anclaje perpendicular al eje del miembro, y el traslape entre los anclajes debe ser de al menos 15cm.

- El código también indica, como largo mínimo de traslape, 40 veces el diámetro de la varilla usada, y como mínimo estándar 30cm.
- La distancia entre traslapes de un mismo paquete, va de acuerdo con el largo del traslape usado.

2.8 Tipos de Cimentaciones, Columnas y Vigas

2.8.1 Cimentaciones

Las cimentaciones son los elementos de una edificación que se encargan de transmitir las cargas al suelo, dándoles estabilidad a las estructuras. Las fundaciones se pueden clasificar de distintas maneras; sin embargo, la clasificación más práctica a partir de la profundidad a la cual se deben construir, para lo que se dividen en tres grupos:

1. Fundaciones Superficiales.
2. Fundaciones Intermedias.
3. Fundaciones Profundas.

2.8.1.1 Fundaciones Superficiales

Las fundaciones superficiales suelen estar entre 1 y 3m; estas se pueden usar cuando los estudios de suelo y los elementos a construir presenten las siguientes características:

- Buena capacidad admisible, que den valores de 100 KN/m² hacia arriba.
- Cargas bajas a moderadas por columna.
- Suelos granulares o arcillas no expansivas.
- Estructuras con baja carga lateral.

Entre ejemplos de fundaciones superficiales están:

- Zapatas aisladas.

- Zapatas corridas.
- Zapatas combinadas.
- Vigas de cimentación.
- Losas de fundación.

2.8.1.2 Fundaciones Intermedias

Las fundaciones intermedias suelen estar entre 4 y 6m; esta son fundaciones que de acuerdo con la disposición del estudio de suelo y con el diseño estructural, se deberán enterrar hasta las profundidades mencionadas, pero sin llegar a necesitar pilotes de profundidades considerables.

Algunos tipos de fundaciones intermedias son:

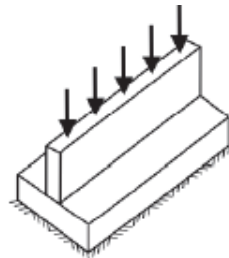
- Zapatas aisladas.
- Pilotes cortos.

2.8.1.3 Fundaciones Profundas

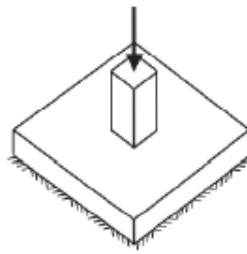
Las fundaciones profundas son las que usualmente van a estar a profundidades de 8m y más; esta son fundaciones que, de acuerdo con la disposición del estudio de suelo y con el diseño estructural, se deberán enterrar hasta las profundidades mencionadas, y SÍ se requerirá la construcción de pilotes. Para ello, es usual verlas en terrenos con las siguientes características:

- Taludes inestables.
- Suelos compresivos o susceptibles a consolidaciones.
- Cargas muy altas y se requiere llegar a estratos específicos, con capacidades de carga específicos.

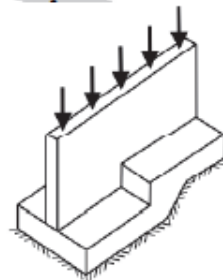
Las siguientes imágenes contienen algunos tipos de cimentaciones, los cuales se describen en el Reglamento ACI 318S-14, capítulo 13.



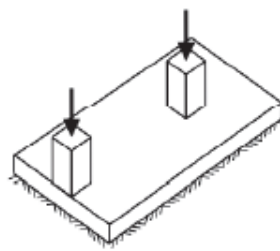
Zapata corrida



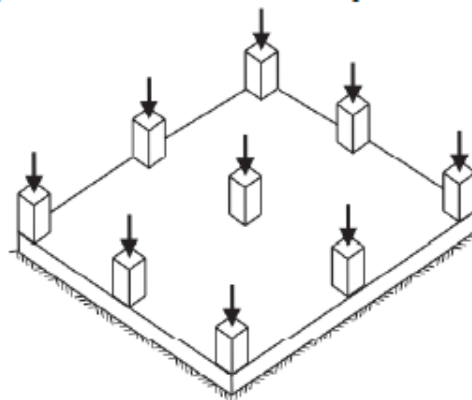
Zapata aislada



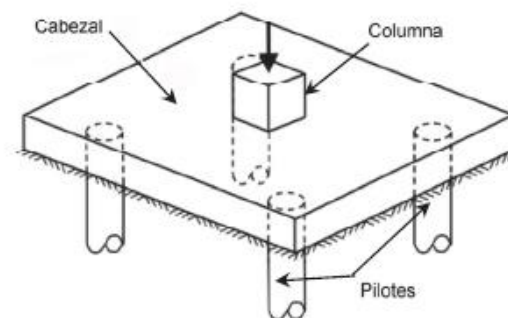
Zapata escalonada



Zapata combinada



Losa de cimentación



Sistema de cimentación profunda con pilotes y cabezales de pilotes

2.8.2 Vigas

Las vigas de concreto armado están diseñadas para soportar cargas lineales, concentradas o uniformes, y pueden ser de un claro o continuas. A estas vigas se les agrega el acero para así soportar las fuerzas por flexión y soportando la tensión a que son sometidas. Las vigas son los elementos estructurales que se encargan de transmitir las cargas a las columnas, y sirven de amarre entre estas.

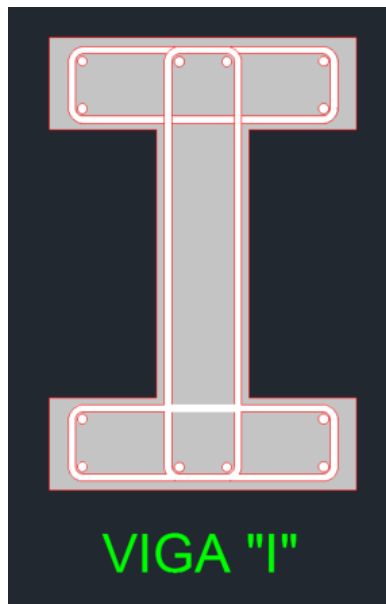
Entre los tipos de vigas están las de forma rectangular, que son las mas usuales en toda edificación; sin embargo, adicionales a estas están las vigas en forma de “I”, las cuales tienen esta configuración, ya que los esfuerzos de compresión y tensión se encuentran en los extremos inferiores y superiores de ellas. Adicional a esto, se vale recalcar que en cuanto al concreto hay una disminución en la cantidad a usar. Con respecto a las rectangulares, las vigas en “I” son comunmente utilizadas en puentes. Otra de tipo de concreto es la que tiene forma de “T”, esta viga es similar a la “I”, solo que sin el ala inferior.

Las vigas cumplen una función estructural, que contribuye a soportar una edificación ante cualquier perturbación que pueda representar un riesgo para la funcionabilidad de la estructura. Las vigas pueden presentar fallas, las cuales se identifican como fallas dúctiles y fallas frágiles.

El diseño de vigas está especificado en el capítulo 9 del ACI 318S-14, y también en el reglamento AISC 360.

Figura 1

Tipo de Vigas



(Ramírez, H. (2022).

2.8.3 Columnas

Tal como se indica en el capítulo 9 del *Código sísmico de Costa Rica*, las columnas son elementos que transmiten los esfuerzos hacia los cimientos, y estas deben estar rellenas completamente por concreto, para lo cual se debe aplicar vibrado, y así la columna quede sin bolsas de aire. Están diseñadas para resistir principalmente los esfuerzos de flexocompresión y cortante. Este código también da una lista de requisitos, descritos seguidamente:

Dimensionales

- El ancho de una columna no debe ser menor que 15 cm.

- La distancia entre apoyos laterales de una columna no debe exceder 30 veces su ancho.
- La longitud de una columna no debe ser menor que 30 cm ni mayor que tres veces su ancho.

Refuerzo longitudinal

- El refuerzo longitudinal debe ser como mínimo de cuatro varillas, una en cada esquina de la columna, cuando sea columna rectangular, y también se solicita un mínimo de cuatro varillas en columnas circulares.
- El área de refuerzo máximo es $0.03 A_g$.
- El área de refuerzo mínimo es $0.005 A_g$.

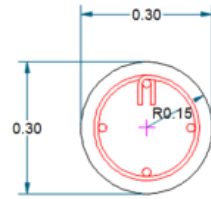
Refuerzo transversal

- La separación máxima del acero transversal es 20cm. La fuerza cortante de diseño no debe ser menor que V_u , producto del análisis, ni menor que V_e , producida en el elemento por rótulas plásticas en sus extremos en condición de doble curvatura. Cuando se requiera acero transversal, los siguientes requisitos deben aplicarse:
- Los aros deben cumplir con lo establecido en los incisos 9.3.5(d), 9.3.5(e), 9.4.3(b), 9.4.3(c) y 9.4.3(d).
- El refuerzo transversal mínimo es $0.0018 S_b$.

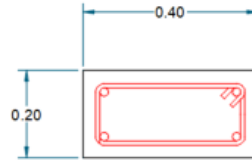
Los diseños de columnas son variados, y se adecuan de acuerdo con la necesidad, por lo cual su forma puede variar hasta por centímetros. Los siguientes son ejemplos de diseños y conformaciones de columnas.

Figura 2

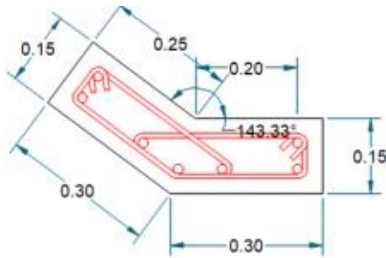
Tipo de Columnas



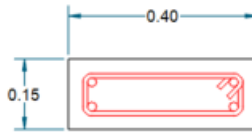
4#3 AROS #3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C13)



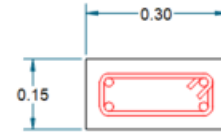
4#4 AROS #3 @ 15 cm
COLUMNA TIPO (C14)



7#3 AROS #3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C5)



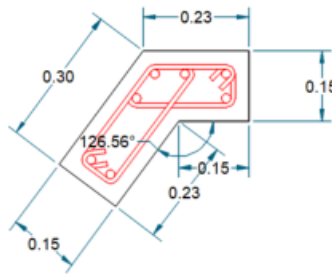
4#4 AROS #3 @ 15 cm
COLUMNA TIPO (C1)



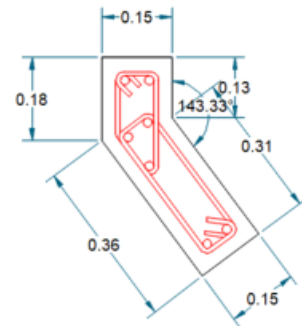
4#3 AROS #3 @ 15 cm
COLUMNA TIPO (C2)



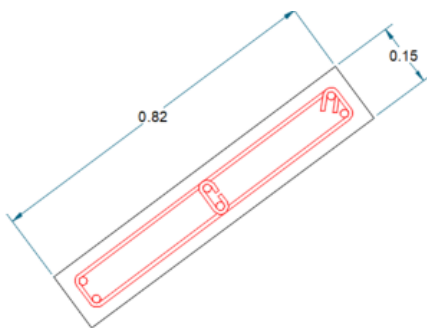
6#3 AROS Y GANCHOS
#3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C9)



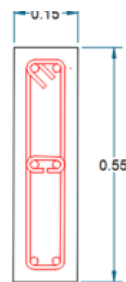
7#3 AROS #3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C6)



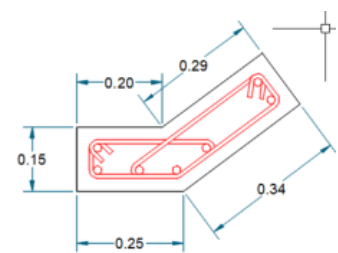
7#3 AROS #3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C7)



6#3 AROS Y GANCHOS
#3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C10)



6#3 AROS Y GANCHOS
#3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C11)



7#3 AROS #3 @ 20 cm
COLUMNA TIPO (C12)

Fuente: Ramírez, H. (2022).

Capítulo 3.

3.1 Transporte y recepción del acero

El transporte del acero a la obra se realiza generalmente en camiones de un eje, o dos ejes, tráileres con carretas de 12m de largo. El largo del vehículo debe ir de acuerdo con el largo del material a transportar, para evitar que las barras se arrastren sobre el pavimento o sobresalgan de la superficie del largo del piso. La carga debe ser uniformemente repartida y amarrada, en forma conveniente, para lograr la estiba correcta de los paquetes. En Costa Rica está prohibido que la carga exceda del largo normal de la plataforma del vehículo, esto según la Ley de tránsito, para evitar accidentes; sin embargo, es algo que en la práctica no se da, pues se ven con frecuencia camiones con cargas que sobresalen de ellos, tanto en la parte trasera como encima de la visera del camión.

Para cuidar tanto la integridad de la varilla como la seguridad del viaje, la carga debe ser amarrada correctamente con lingas, fajas o cadenas, y si se encuentra en época lluviosa, o bien, el material se dirige hacia un lugar del país donde las condiciones meteorológicas favorecen que llueva constantemente, el material se debe tapar con lonas, que impidan el paso del agua, la cual, por sus propiedades, dañaría el material, produciéndole herrumbre.

Una vez que el material llega a la obra, es recomendable que sea descargado lo más cercano o en el mismo lugar de almacenaje, pues el acero, al ser un material pesado, y cuyos largos pueden estar entre 6 metros y 12 metros, no es fácil de estar moviéndolo de un lugar hacia otro. Al mismo tiempo, lo recomendable es que el material sea almacenado lo más cerca del lugar de su uso, porque estos movimientos podrían consumir bastante tiempo, y resultar riesgosos.

En la descarga debe estar presente el personal de proveeduría, o en su caso, la persona encargada del proyecto, para poder revisar el material solicitado versus el entrante; con ello

evitar atrasos en la obra, por algún material que haya llegado incorrecto, o bien material en mal estado que no vaya a ser aceptado por parte de la supervisión. Para esto existe una lista de detalles y características que se recomienda revisar, sin importar el cómo se adquirió el material. En Costa Rica, el acero de refuerzo se puede adquirir de tres maneras: en varillas de largo estándar y comerciales, el acero figurado y cortado según solicitud, y como tercera opción acero figurado, cortado y armado. Para cualquiera de las tres maneras se deberían revisar:

1. Largo de las varillas solicitadas.
2. Forma del acero solicitado.
3. Diámetro del acero solicitado (este se debe encontrar impreso a lo largo de la varilla).
4. Grado de resistencia del material solicitado (este se debe encontrar impreso a lo largo de la varilla).
5. Estado visual del acero (sin herrumbre).
6. Cantidad de material solicitado

Una vez pasada esta primera lista de revisión, el material debe ser descargado; para ello es aconsejable que el material sea manejado con equipo mecánico, el cual agiliza la descarga y se ahorra tiempo, de tipos como grúas o excavadoras. Si la cantidad de material es relativamente pequeña, este podría ser descargado de manera manual.

El lugar de almacenaje debe también contar con ciertas características, y adicional a ello el almacenaje debe hacerse con ciertas consideraciones, como lo son:

1. Las barras y elementos de acero de refuerzo deben estar separados por diámetro, grado y tamaños.

2. El acero debe estar ordenado, de manera que el acero que vaya a ser utilizado más próximamente en obra sea el que esté encima, o bien a mano y de fácil acceso para su uso.
3. Las barras que sobresalgan deben estar demarcadas para evitar accidentes, y el acero se debe encontrar ordenado.
4. El lugar de almacenaje debe ser techado, para evitar que le caiga lluvia. Adicional a ello, debe estar ventilado, para evitar que la humedad se concentre entre los paquetes de las varillas.
5. El acero no debe colocarse directamente en el suelo, sino que debe estar elevado, ya sea con tucos de madera o bien un mueble de almacenaje que facilite su acomodado.
6. También es recomendable identificar, con un cartel o pizarra, a qué elemento corresponde ese acero.

3.2 Despiece del Acero

Para el conformado se debe hacer un despiece de acero; esto consiste en realizar un cálculo en cuanto a cantidades y formas, tomando en cuenta todas las especificaciones técnicas que se indiquen en planos, como lo son recubrimientos, largo de patas y ganchos, longitudes de traslape, grados de la varilla y diámetro de las varillas. Todo esto se debe ir cumpliendo elemento por elemento, empezando desde los cimientos hasta llegar a las vigas coronas y losas techo.

Ante esto, ya sea que el despiece lo realice el encargado de obra o asistente, o bien, una empresa subcontratada, el encargado de realizarlo debe tener amplio conocimiento en lectura e interpretación de planos, para que el despiece sea lo más exacto posible. El

encargado de realizar el despiece deberá elaborar y entregar lo que se llama un plano de taller, que consiste en hacer un dibujo de cada elemento y realizarle una fragmentación al acero, de las piezas totales que se requerirían para conformar dicho elemento. Todas estas piezas en que se separa la estructura deben tener una identificación distinta una de otra dentro de un mismo elemento, para evitarle confusión al armador. Este plano debe ser específico lo mayormente posible, ya que muchas veces los encargados de armar las estructuras son operarios de obra que no cuentan con el conocimiento necesario, aunque muchos de estos operarios, con solo ver la estructura, ya saben cómo se deberá armar y qué elementos deberá tener.

En el plano del taller (véanse los anexos 5.3.7 y 5.3.8) se especifica todo lo mencionado en el primer párrafo, y más específicamente lo siguiente:

- Resistencia especificada, tipo y calidad o grado del acero de la armadura.
- Tamaño y posición de todos los elementos estructurales y de la armadura.
- Longitud de anclaje de la armadura, posición y longitud de los empalmes por traslapes.
- Deben contener todos los antecedentes de las armaduras. Es recomendable

que muestren los elementos en planta con sus elevaciones y cortes.

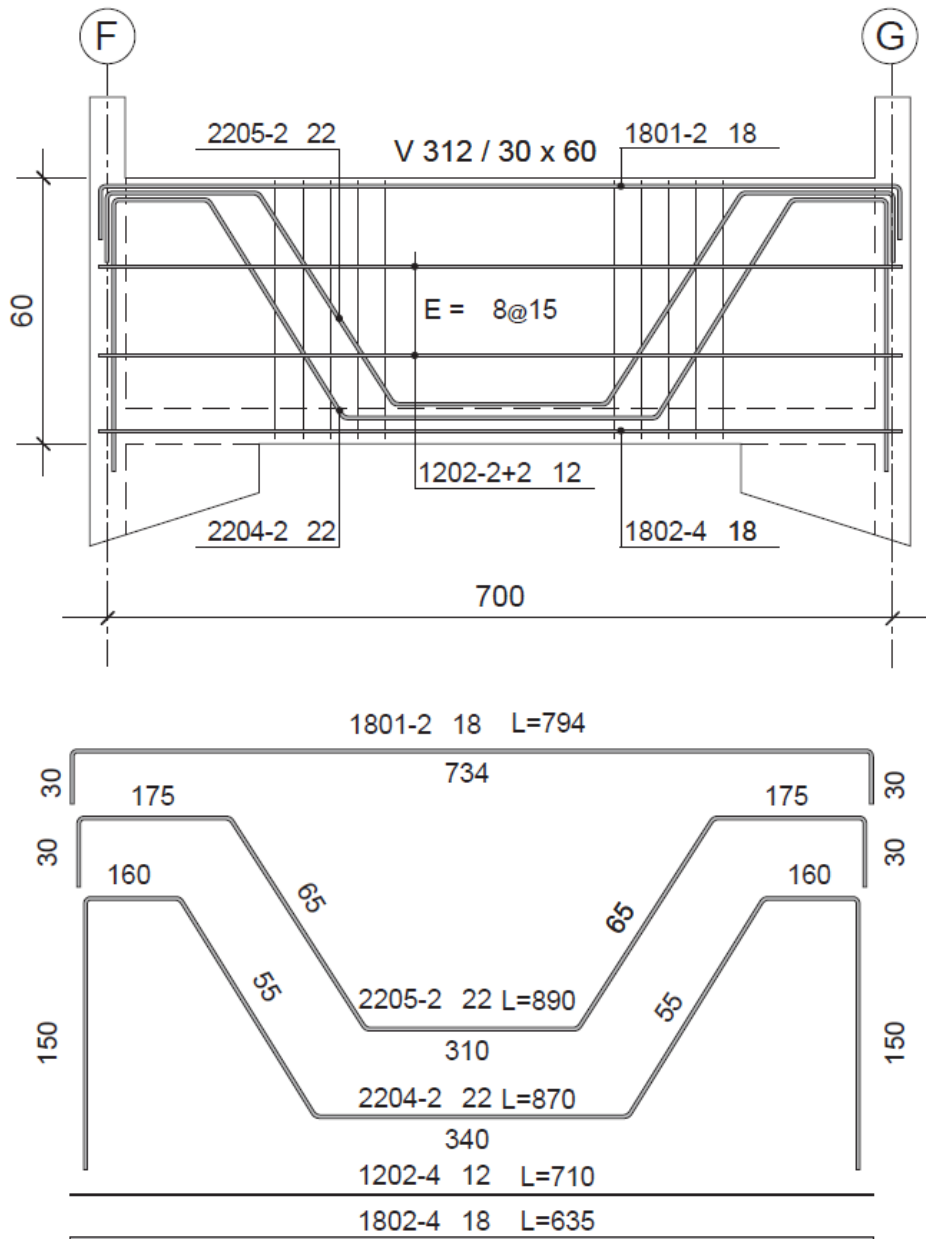
- Las medidas se deben colocar con su largo total, de extremo a extremo, ya que no se debe contemplar solo la parte recta, para evitar errores, sino que también se debe anotar que no es aconsejable contemplar los estiramientos, o bien el mayor consumo de la varilla; esto va de acuerdo con el ángulo en que se deben doblar las piezas: si el ángulo es menor a 90° la varilla va a consumir más varilla que la que se contempla,

y si el ángulo es mayor o igual a 90°, la varilla suele estirarse, por lo cual se consumirá menos varilla por figura.

La imagen siguiente es un ejemplo de cómo se puede realizar un despiece:

Figura 3

Ejemplo 1 de Despiece



(Ramírez, H. (2022)).

Una de las variables importantes en la utilización del acero, particularmente cuando las armaduras son fabricadas con el método tradicional de mano de obra en terreno, es el adecuado aprovechamiento de las barras para reducir las pérdidas que inevitablemente se producen, ya sea por razones de diseño, por un mal aprovechamiento longitudinal de las barras, debido a los largos disponibles en el mercado o a un inadecuado criterio aplicado por parte del personal encargado de esta operación. El sistema para optimizar los cortes puede ser manual, trabajo laborioso que obliga a tener orden, dedicación y rigurosidad, que demanda importantes horas. También, mediante alguno de los programas computacionales, que son muy eficientes, ya que están basados en algoritmos genéricos, que permiten rápidamente revisar todas las variables.

Cabe mencionar que en el país existen empresas que se dedican al suministro de acero ya figurado, y los cuales poseen varilla en rollo. Los diámetros de varilla que se pueden suministrar aquí son de la #2 a la #5; estos rollos vienen con largos que pueden andar en 2000m lineales, generando que no se produzca desperdicio en las solicitudes que se hagan de parte del cliente, provocando un rendimiento del material, que da un ahorro en construcción.

3.3 Preparativos para Armado del Acero.

Para el armado de acero se requieren trabajadores entendidos en el oficio, identificados como armadores, dirigidos adecuadamente por sus maestros de obras y encargados, para obtener mejores rendimientos y calidad de la mano de obra, especialmente la fabricación realizada con el método tradicional, vale decir, no industrializado.

El encargado del armado debe guiar a los demás armadores, para lo que debe cumplir ciertas características, las cuales son de suma importancia para que el armado sea eficiente y de calidad:

- Debe saber interpretar, con claridad, los planos y especificaciones técnicas de estructuras de hormigón armado y los elementos que las componen, los planos de arquitectura y de especialidades, la simbología y las representaciones gráficas complementarias.
- Debe tener nociones de dibujo técnico.
- En lo posible, debe tener conocimientos de computación a nivel principiante (Word y Excel).
- Debe saber trazar los ejes y, en general, replantear una edificación.
- Debe comprender las diferentes técnicas, prácticas y métodos usuales, en cada etapa de la construcción.
- Debe conocer las características y especificaciones técnicas de los materiales y su aplicación en la construcción.
- Debe ser capaz de ubicar los diferentes materiales de una obra.
- Debe saber usar, correctamente, toda clase de equipos y herramientas empleadas en cada actividad.
- Debe entender la terminología técnica empleada por los profesionales de la construcción.
- Debe saber manejar al personal, conocer de relaciones humanas y comprender el lenguaje o jerga empleado por los trabajadores de la construcción.
- Debe saber distribuir los trabajos y tareas del personal de acuerdo con la categoría y capacidad de cada uno de sus miembros.
- Debe saber implementar los sistemas de encofrados o moldajes, rampas, carreras y andamios, y saber de su capacidad de resistencia y seguridad.

- Debe conocer, dominar y hacer cumplir las normas, instrucciones y exigencias de prevención, higiene y seguridad.
- Debe conocer los rendimientos de mano de obra.

Al ser un trabajo que en campo se convierte totalmente manual, y que en industria se pueden tener ciertas ventajas, igual no se exime de que sea un trabajo altamente riesgoso, por lo que en el país hay exigencias en cuanto a salud laboral se refiere. Dentro de los riesgos a los cuales están expuestos los trabajadores están:

1. Ruido: puede generar disminución auditiva, para esto los trabajadores deberán usar tapones de oídos u orejeras.
2. Daños corporales: se generan por esfuerzos excesivos, que resultan en heridas, cortes, fracturas y contracturas. Para esto el trabajador deberá contar con el EPP (Equipo de Protección Personal) adecuado, como guantes de cuero, mangas anticorte, anteojos, cascos y zapatos de seguridad. Si se trabaja en alturas, el trabajador debe contar con líneas de vida que eviten caídas desde alturas considerables.

Al tener definida la mano de obra, se debe seguir con la escogencia de las herramientas y maquinaria necesarias para que el armado de estructuras se dé de una manera eficiente y con calidad. La siguiente es una lista de equipos requeridos para corte, doblado y armado del acero, tanto en campo como de manera controlado en una industria:

Corte

- Cizalla o metabos
- Cinta métrica
- Banco de corte
- Pinzas.

Imagen 4.

Ejemplo Cizalla



- (Ramírez, H. (2022). *Imagen de cizalla. Planta de ferralla de Abonos Agro*).
- Cinta Métrica (imagen recuperada de <https://agglobal.com/productos/019906>.)

Doblado

- Bancos de doblado
- Bulones
- Medidores de ángulos digitales
- Cinta métrica
- Grifas
- Pinzas.



Preci
0.02
0.5 m

- (Ramírez, H. (2022). *Imagen de banco de doblado, Planta de ferralla de Abonos Agro*)
- Imagen de Grifa, imagen recuperada de <https://www.vidri.com.sv/producto/38825/Grifa-1-4-x-3-8-pulg.html> (2022).

Armado

- Pinzas para amarrar el alambre negro
- Banco de armado
- Cinta métrica.



- 2022, imagen recuperada de <https://capris.cr/stanley-95ib84284-tenaza-corte-completo-12-304-mm.html>.
- 2022, imagen recuperada de <https://www.construplaza.com/Materiales/Aceros/Alambres/>.

En la industria se usan máquinas llamadas estribadoras, las cuales son las encargadas de figurar y producir el material. Estas máquinas son alimentadas por los rollos de varilla mencionadas anteriormente en este trabajo, son más eficientes que doblarlas manualmente; sin embargo, su uso amerita un alto consumo eléctrico, mantenimiento de esas máquinas, y

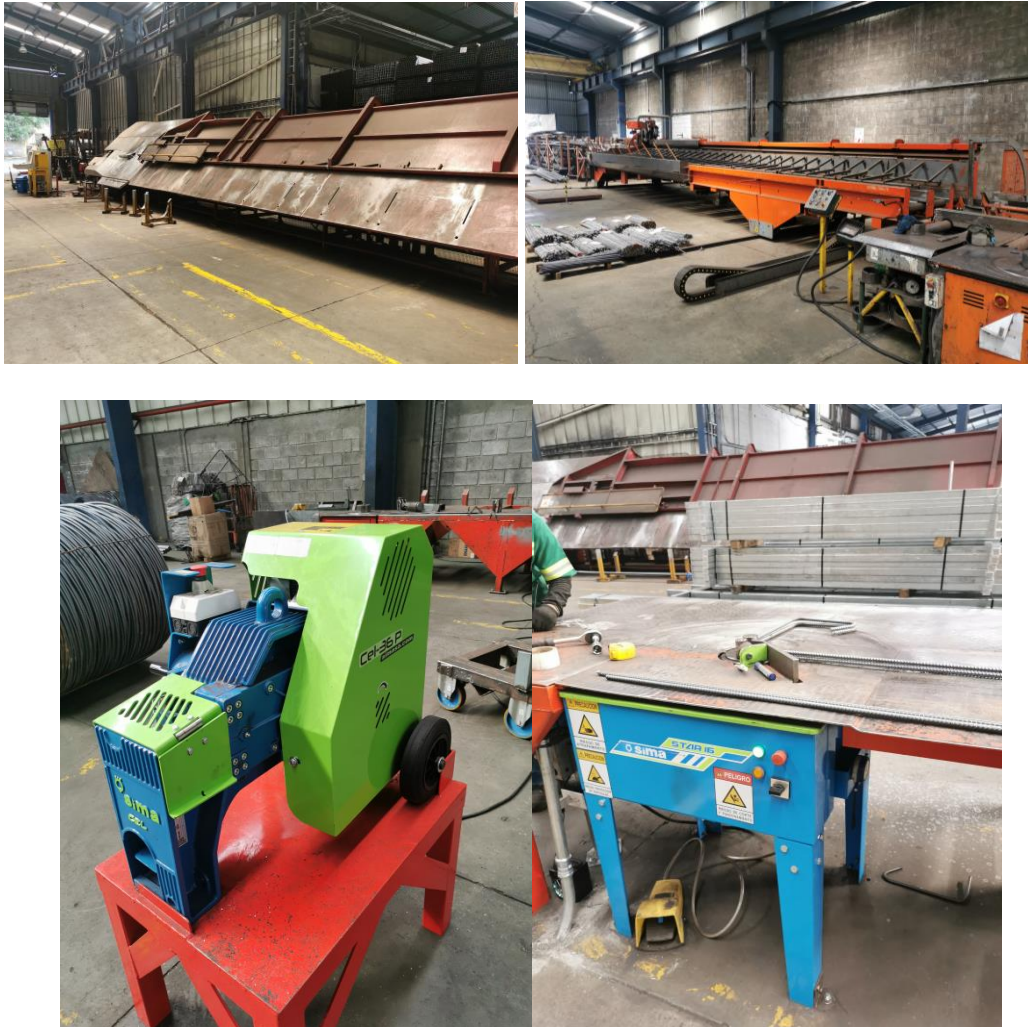
operadores de máquinas, quienes son más especializados que los dobladores en campo, y por lo tanto, van a tener un costo mayor a la hora de ver salarios.

En el mundo existen diversas marcas para máquinas estribadoras, bancos de doblado y corte, cizallas y dobladoras. Entre las marcas más usuales y conocidas se encuentran:

- MEP
- Schnell
- Sima
- Silla.



(Ramírez, H. (2022). *Imagen de Coil 16 y Banco de doblado, planta de ferralla de aceros*).



(Ramírez, H. (2022). *Imagen de Mep 16, Optibat, Cizalla y Dobladora Sima, planta de ferralla de aceros Abonos Agro*)

Para lograr que se dé un armado eficiente, también se pueden usar andamios, grúas telescópicas, montacargas, grúas puente, gatas hidráulicas y carretillos, todos estos para transportar y levantar las armaduras de una manera eficiente y segura. Muchas de las armaduras van a tener pesos considerables; por eso, se hace la recomendación de usar equipos mecánicos que permitan un manejo más ágil de ellas.

3.4 Preparación del acero de refuerzo.

Lo primero consiste en darle una revisión al acero y limpiar superficialmente lo que comprometa un adecuado corte, doblado y armado, ya que esto podría desencadenar un daño en la estructura final, por lo cual se recomienda retirar aceites, grasas, barro, costras, escamas y herrumbre suelta adherida al acero. Según la conversación con ingenieros y encargados de armado, las películas de oxidación delgadas o descamaciones, que pueden verse con un color gris oscuro, o bien un color marrón claro, no son del todo dañinas para las barras y concreto, sino que más bien, comentan que aumenta la adherencia de la varilla con el hormigón y, de hecho, el Instituto Americano de Concreto (ACI) ha hablado y realizado pruebas sobre dicho punto y ha llegado al mismo resultado que el comentado.



(Ramírez, H. (2022). *Aros con capa de óxido. Paso a desnivel La Bandera*)

Las escamas, o bien herrumbre, que sí se deben retirar, son lo correspondiente a lo que se encuentre suelto. Estas impurezas se pueden retirar de varios métodos manuales y mecánicos, como lo son: pasar escobones, cepillos de acero, o bien existen tómbolas, en las cuales se mete la varilla junto a arena, y se pone a dar vuelta, para que la arena retire las impurezas.



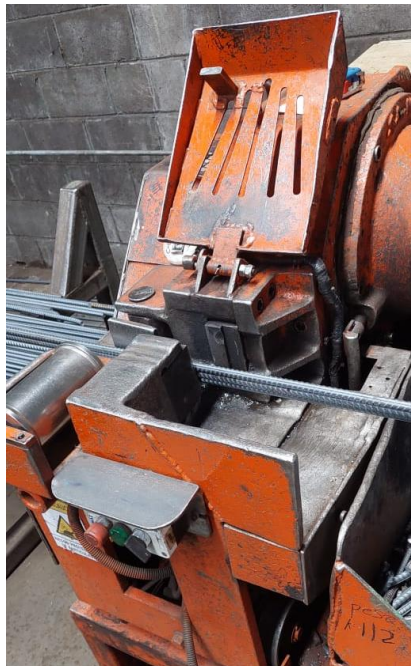
(Ramírez, H. (2022). *Tómbola, planta de ferralla de aceros Abonos Agro*).

Con los planos de taller y despieces del acero de refuerzo listos, se procede a iniciar tanto el corte como el doblado, para lo cual el encargado de obra debe definirle al encargado del armado el orden en que se deben ir realizando las labores, para que este coordine al personal de acuerdo con las necesidades.

3.5 Corte de las varillas de acero.

El corte de varilla es el primer punto por coordinar, y se le hace el corte donde sea necesario, ya que si la medida de las figuras, o bien barras que se necesiten, dan alguna de las medidas estándar usadas en Costa Rica (6m-9m-12m), lo mejor es solicitar el material en dichas medidas, y así la eficiencia en proyecto es aún mayor. Cuando sí se deba realizar el corte, el comité ACI 315 especifica que los cortes de las barras deben efectuarse en frío, siempre con las barras en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de las barras, y de

acuerdo con los largos indicados en los planos, según lo indicado por Carlos Rondón en *Manual de armaduras de refuerzo de hormigón* (2005, p.48): “el aprovechamiento de las barras para reducir las pérdidas de material ya sea por razones de aprovechamiento en longitud o bien por un corte mal hecho”, es de los puntos que se deben evitar en trabajos en campo. En la industria esto se da más controlado, y se trata de aprovechar cada centímetro de las varillas. El corte usualmente se realiza con cizallas, en las cuales, según la capacidad de estas, se podría hasta cortar varias varillas de un solo corte.



(Ramírez, H. (2022). *Cizalla, planta de ferralla de aceros Abonos Agro*).

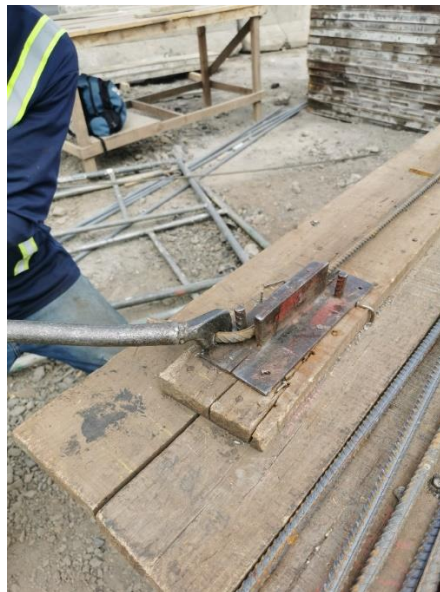
3.6 Doblado de las varillas de acero.

Lo especificado por las normas vigentes es que los elementos que conforman las armaduras deben doblarse en frío, a menos que el ingeniero estructural permita otra cosa, y ninguna armadura debe doblarse si está parcialmente embebida en el hormigón, excepto cuando así se indique en los planos de diseño. No obstante, las condiciones de la obra pueden hacer necesario doblar barras que se encuentran embebidas en el hormigón, siendo esto lo

más usual cuando se construyen columnas y muros, ya que a los bastones verticales se les dejan puntas saliendo, a las cuales, según el diseño deben realizárseles anclaje en la viga, lo que implica elaborar dobles, y porque se realiza al final, por facilidad de construcción, a la hora de meter aros, o bien los blocks.

Como regla general, se recomienda que los dobleces de las barras con nervios longitudinales sean efectuados con alguno de ellos en contacto normal con los bulones.

Tal como se muestra en el ejemplo de la fotografía siguiente, el doblado en campo muchas veces se realiza con grifas, y en bancos diseñados para este efecto, los cuales tienen una serie de perforaciones donde son instalados, en la mejor de las veces, bulones de acero de diferentes diámetros; sin embargo, en la mayoría de las veces son usados pines (véase la imagen 1) y hasta unos clavos, los que son distribuidos apropiadamente con el objeto de definir los diámetros de curvatura deseados. Muchas veces esta curvatura no es la recomendada por la ACI, y eso resulta en elementos reventados y agrietado en la parte del doblez.



(Ramírez H. (2022). *Banco de doblado manual, proyecto Paso a desnivel La Bandera*).

El doblado recomendado, y siguiendo especificaciones, es con bulones que sí dan el radio recomendado por la ACI, como se verá en la siguiente imagen:



(Ramírez, (H.) 2022, Dobladora, planta de ferralla de Aceros Abonos Agro).

El diámetro mínimo que se debe contar para los doblados, según la ACI-318-14, están dados en la siguiente tabla, donde este no debe ser menor para evitar que las barras se sometan a esfuerzos excesivos y que estas lleguen a quebrarse, generar grietas o fisuras, haciendo que las piezas sean inutilizables.

Tabla 9

Tabla de Diámetros mínimos de doblado (ACI-318S-14)

Elemento	d_n Barra mm	Angulo del Doblez	d_n Mínimo de Doblado	Extensión K
Barra con gancho normal	10 a 25	180°	6 d_n	4 d_n 65 mm
	28 a 36	180°	8 d_n	4 d_n 65 mm
	10 a 25	90°	6 d_n	12 d_n
	28 a 36	90°	8 d_n	12 d_n
Estribos y ganchos de amarra	8 a 16	90°	4 d_n	6 d_n
	18 a 25	90°	6 d_n	12 d_n
	8 a 16	135°	4 d_n	6 d_n
	18 a 25	135°	6 d_n	6 d_n
Gancho sísmico de un estribo, traba o cerco	8 a 25	90° y 135°	6 d_n	6 d_n 75 mm

Fuente: ACI-318-14, cap.25

De la parte de producción industrial, existen máquinas que son automáticas, a las cuales se les configura, se les forma, con ángulos, medidas y cantidades; algunas de estas máquinas producen hasta en 3D, a gran velocidad y con un gran porcentaje de homogeneidad entre todas las figuras. Estas máquinas estribadoras en Costa Rica se manejan para varillas #2 a la #6; a nivel mundial existen máquinas de estas que trabajan rollos de varilla de hasta el #10. En industria, tanto el levantamiento de elementos como de estructuras que se están armando es más sencillo, ya que se cuenta con equipos como grúas puentes, montacargas, perras hidráulicas, entre otras, haciendo las tareas más sencillas.

Como desventaja de la industria, se tiene que el material debe ser trasladado desde la bodega de producción hasta los proyectos, lo que genera un gasto, y tomando en cuenta que, si se lleva de una vez armado, el rendimiento de transporte es mucho menor, debido al volumen que representan las armaduras ya listas. Cuando se mandan los elementos listos para armar en campo, el traslado es más eficiente; sin embargo, si los elementos a enviar son de gran envergadura, se deben tomar en cuenta el ancho y la altura máxima que pueden transportar los camiones y tráileres, y adicional que algunas figuras pueden representar que la carga se vuelva inestable.



(Ramírez, H. (2022). *Coil 16 y Mep 16, planta de ferralla de aceros Abonos Agro*)

3.7 Armado e Instalación de las armaduras de acero de refuerzo.

Para el armado e instalación, el corte y doblado se debió realizar tomando en cuenta todas las secciones del código ACI 318-14, donde se denotan longitudes de desarrollo, longitudes de anclajes y empalmes, espaciamiento entre los empalmes y largo de ganchos. Para cada elemento de una construcción, las referencias a seguir de acuerdo con el reglamento ACI son diferentes; todas las diferentes tablas, debido al tipo de elemento y a las fuerzas que soporta, se pueden homologar en una sola tabla, la cual tomará en cuenta todas las medidas mínimas, donde se deben considerar y tomar como base los tamaños más grandes que den los datos, esto para dejar como mínimo la medida que abarca al elemento que más sufre.

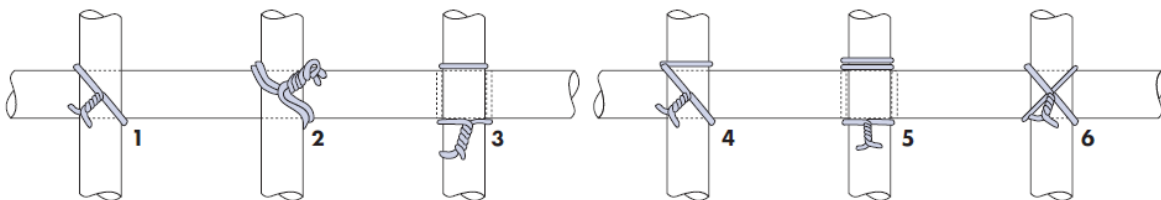
A causa de que en el armado se deben tomar en cuenta todas las referencias anteriores, el personal encargado de realizarlo debe ser especializado en el área y, de la mano con el encargado de obra, debe saber interpretar todas las especificaciones que se brinden en planos y planos de taller de cada elemento, para conllevar un proyecto eficiente y seguro.

Las armaduras se deberán instalar de manera firme, que se encuentren debidamente niveladas, aplomadas y amarradas. El tema de las amarras varía de acuerdo con el profesional; lo más usual es que en todos los pegues que tengan una armadura, las amarras cubran el 70% de estos pegues (véanse las imágenes 2, 3 y 4), para así lograr una armadura firme a la hora del armado. También es importante para una vez que se esté chorreando el concreto, ya que este genera fuerzas tanto verticales como horizontales, para ello las amarras y que el acero no ceda y este se mantengan en su lugar. Estas amarras son de alambre negro recocido; este alambre usualmente se vende en rollos de 45kg aproximadamente, y se calcula tomando el peso de la armadura del acero y calculando un 3 al 5% de su peso; por ejemplo, si son 1000kg que pesa la armadura, se debe presupuestar comprar de entre 30 a 50kg de alambre negro. Las amarras son colocadas de maneras específicas; la más usual, y como se conoce en Costa Rica, es la denominada pata de gallo. Sin embargo, existen otros tipos, como se verá enseguida, y estas se mencionan en el *Manual de armaduras de refuerzo de hormigón*, de Carlos Rondón (p. 125):

1. Amarra rápida (pata de gallo): consiste en hacer pasar el alambre en diagonal alrededor de las dos barras, con las dos puntas hacia arriba, para, posteriormente, retorcerlas con el alicate hasta que queden apretadas, cortando las puntas sobrantes o doblándolas hacia adentro. Este tipo de amarra es el más usual en losas y placas de fundación.
2. Amarra simple con doble alambre: es una versión igual a la anterior, pero, en este caso, el alambre es puesto doble, con el objetivo de soportar barras más pesadas.
3. Amarra envolvente: es una clase de amarra muy efectiva, pero relativamente complicada: aunque no ejerce el mismo efecto de torsión en las barras cruzadas, a veces es usada en vigas con puentes. En este tipo de amarra, el alambre se pasa

alrededor de la mitad de una de las barras, haciendo una envoltura de media vuelta por cualquier lado, para luego llevar ambos extremos por sobre la otra barra, sacándolos hacia adelante y abrazando la primera barra, donde las puntas son retorcidas y cortados los excedentes.

4. Amarra para muros: es una amarra en la cual se pasa el alambre alrededor de la barra vertical de la malla, dándole una y media vuelta, pasándolo diagonalmente alrededor de la intersección y retorciendo ambos extremos juntos, hasta que la unión quede firme, y se cortan los extremos excedentes.
5. Amarra retorcida: es una variedad de la amarra envolvente, pero más firme y es usada, habitualmente, en parrillas o enrejados pesados que tienen que ser levantados con grúa o pluma. En este caso, al alambre se le hace dar una vuelta completa alrededor de una de las barras, procediendo enseguida, tal como para la amarra envolvente, y pasando sobre la otra barra, ya sea en forma paralela o en diagonal, y retorciendo ambos extremos sobre la primera barra.
6. Amarra cruzada: esta amarra, con forma de 8, tiene la ventaja de causar poca o nada de torsión en las barras.



En el mercado nacional existen otros tipos de amarras, las cuales son plásticas, y también existen herramientas que se promocionan como que son más eficientes para colocar las amarras; sin embargo, aún no son muy usadas, debido a su costo.

De la misma manera, existen las llamadas conexiones mecánicas, usadas donde se deben unir barras para dar una longitud mayor, y se colocan en vez de empalmar las varillas con la longitud de traslape indicado en el ACI; estas se encuentran mencionadas en el Código ACI 318-14, en la sección 12.14.3, e indican que se permite el uso de conexiones mecánicas bajo ciertas condiciones, como lo son:

- El empalme completo debe desarrollar al menos en un 125% de la tensión de fluencia f_y especificada en las barras empalmadas.
- Donde no se cumpla el punto anterior, los empalmes mecánicos solo se pueden usar en varillas de diámetros menores a 16mm.
- Es recomendable consultarle, al ingeniero estructural responsable, las precauciones a tomar, especialmente cuando sean usadas en zonas sísmicas.

El uso de estas conexiones mecánicas está condicionado también por ciertos factores como lo son:

- Su precio, por lo que se debe realizar un análisis de costo, y ver si el costo de este acople es menor que el costo del empalme de la varilla.
- Donde se deba colocar una gran área de acero, y no se logren ubicar empalmes debido a que el área de acero supera lo permitido, y también donde el espaciamiento de las barras no se cumpla, es aconsejable pensar en el uso de acoples mecánicos. La siguiente tabla es un ejemplo de espaciamientos que se menciona en la ACI.

Tabla 10

Manual de Armaduras

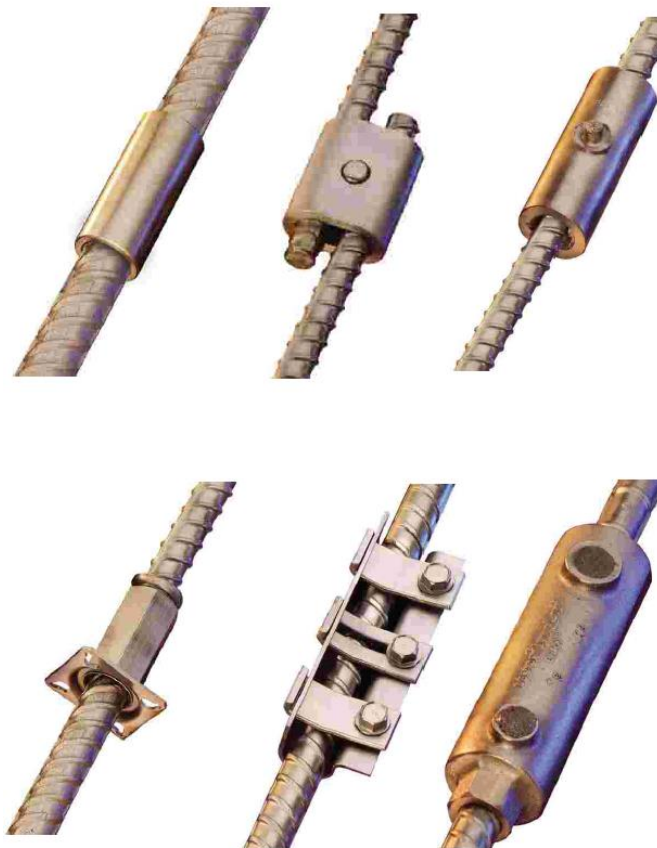
Espaciamiento o Separación Mínima entre Barras (mm)										
Elemento	Diámetro de la barra (mm)									
	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
Columnas	40	40	40	40	40	40	45	45	50	50
Vigas	25	25	25	25	25	25	30	30	35	35

Fuente: Rondón (2005, p. 130).

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, es solo un ejemplo, y siempre debe prevalecer lo estipulado en planos, ya que estos fueron diseñados por un ingeniero estructural.

Ejemplos de acoples mecánicos:

Manual de armaduras de refuerzo de hormigón, Rondón, (p. 129)



Para la colocación de las armaduras, se deben tomar en cuenta también los recubrimientos que se indican en planos que debe tener cada elemento, con respecto al suelo y a las formaletas (véase la imagen 5). En muchos casos las armaduras son colocadas con separadores, a los cuales, cuando separan la armadura de la tierra, en Costa Rica se les denominan helados o dados, fabricados de concreto. También, para estos casos existen separadores plásticos; en casos de doble mallas, lo usual es que se usen las denominadas sillas o diablillos, cuya fabricación es de varillas.

Las siguientes imágenes son ejemplos de dados de concreto y de sillas:



(Ramírez, H. (2022) *Dados y Separadores, Proyecto Paso a desnivel La Bandera*).



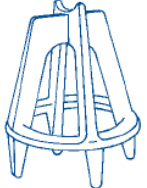


Para cuando se deben separar las armaduras en vertical como columnas, o bien, en horizontal como lo son las vigas, de las formaletas, se usan dados de concreto de menor

dimensión que los de las fundaciones, o también separadores plásticos, que son los más usuales en estos elementos.

La siguiente tabla ejemplifica algunos de los separadores plásticos que existen en el país:

Tabla 11

Manual de Armaduras

Separadores y Soportes Plásticos		
	Alto : 1,8 a 15 cm	Espaciador de barras superiores para ser usado en enfierraduras horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.
	Alto : 1,8 a 5 cm	Espaciador de barras superiores con sujetador de abrazadera para ser usado en trabajos horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.
	Alto : 1,8 a 12,5 cm	Silla alta para ser usada en losas y paneles de muro.
	Alto : 6,5 a 16 cm	Silla alta variable para trabajos verticales y horizontales.
	Para recubrimientos de hormigón de 2 a 8 cm con incremento cada 1 cm	Rueda espaciadora, generalmente para ser usada en trabajos verticales. La abrazadera del espaciador permite un mínimo contacto con los moldajes. Aplicable para barras de refuerzo de muros, pilares y columnas.

Fuente: Rondón (2005, p. 131)

El armado en campo suele ser más lento que el industrializado, debido a que en la industria se trabaja bajo techo con elementos como puentes grúas, mientras que en campo, la mayoría de las veces se trabaja bajo el sol, en la otra se les coloca un techo improvisado y el levantamiento de las armaduras es realizado con tecles manuales, y cuando la armadura es grande, se recurre a grúas telescópicas para lograr levantarlas y mantenerlas seguras para que su colocado sea seguro y correcto (véanse las imágenes 6 y 7). Sin embargo, uno de los puntos positivos de hacer las armaduras en campo, es que se realizan al lado de donde se deben colocar, ahorrando tiempo, que tener que esperar a que sean trasladadas desde la industria hasta la obra, y otro punto a tomar en cuenta es que a las armaduras en campo se les pueden realizar los cambios que sean necesarios, o bien, cambios que sean solicitados por los profesionales encargados, mientras que cuando son en industria, algunas veces se pierden elementos y tiempo, debido a cambios que llegan ya una vez se han hecho o se están realizando las armaduras.

Para llevar a cabo el armado de una manera correcta, muchas veces es necesario usar barras de varilla, las cuales se colocan como tensores o bien puntos de apoyo (véanse las imágenes 8 y 9), para sostener las armaduras en su lugar; estas piezas muchas veces quedan embebidas dentro de la armadura y no se pueden recuperar; estas barras, o bien aros de guía, se deben contemplar en la cuantía de acero, y esto muchas veces no es hecho.

Entre las herramientas y equipos necesarios para realizar el armado de una manera eficiente y segura, hay:

- Tecles
- Alicates
- Pinzas
- Niveles
- Cintas Métricas
- Cuerda

- Grifas
- EPP.
- Tubos para doblar puntas de acero

3.8 Rendimientos de tiempo.

Los siguientes rendimientos, de los diferentes procesos constructivos, fueron tomados en campo. En cada proyecto de los elegidos se empleaban distintos procesos, como corte y doblado en campo e industrial, armado en campo e industrial, como se verá en la siguiente tabla, la cual se encuentra en el trabajo de Carlos Rondón, *Manual de armaduras de refuerzo de hormigón* (2005, p. 87), donde se ven los porcentajes de cómo se distribuye el figurado y armado en Europa, tanto si es en campo, industria, o bien mixto.

Tabla 12

Manual de Armaduras

Tabla 4.9.2.1 Absorción del Acero por Plantas Industriales de C&D en Europa					
Distribución del Acero	Alemania	España	Francia	Italia	Promedio
Solo corte y doblado	25%	15%	15%	25%	20%
Corte, doblado y pre-armado	35%	35%	40%	30%	35%
Instalado en obra (servicio completo)	40%	50%	45%	45%	45%

Fuente: Rondón (2005, p. 87)

Un punto muy importante, en los rendimientos, también tiene que ver mucho con el mix de varillas que se usan en el proyecto, ya que si en el proyecto se usan mayoritariamente varillas delgadas (de #2 a #5), el rendimiento va a ser mucho menor que en un proyecto que usa varillas gruesas (de #6 a #11).

Como lo menciona Juan Pablo Montero Moreira, en su trabajo de tesis (2010, p. 16): “La obtención de rendimientos se puede hacer por tareas específicas, o, por tramos de procesos; dependiendo del grado de estratificación que se requiera, pues muchas veces se

requiere estudiar actividades en específico”. Por ello, se visitaron ciertos proyectos, y de los cuales se tuvo que visitar la industria, ya que se tenían subcontratados el figurado, el armado, o bien ambos, y en todos se cuantificaron tiempos en general, no de actividades en específico.

3.8.1 Paso a desnivel La Bandera

En este proyecto el figurado (corte y doblado) se realizó de manera industrial en la planta de ferralla de aceros Abonos Agro, y su armado fue hecho en campo por personal especializado en armado, de un subcontratista de Puentes y Calzadas. Los despieces con los cuales se hicieron el figurado y armado fueron realizados por el ingeniero Alejandro González, de Puentes y Calzadas, quien también era encargado de parte del proyecto. El proyecto para el armado contaba con equipo mecánico de levantamiento, como el de las grúas, lo que beneficia la colocación del armado.

Vale mencionar que también se figuró una leve cantidad de material en campo, esto por necesidades y urgencias que tenía la constructora; eso sí, se recalca que las varillas que doblaron en campo eran de diámetros menores a la varilla #5. El ciento por ciento de la varilla gruesa (superior al #6) se dobló en la planta de Aceros Abonos Agro. Este proyecto consumió aproximadamente 1700 ton de acero.

Tabla 13

Rendimientos Paso a desnivel La Bandera

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta de Aceros Abonos	#2 - #5	0.43
	Agro	#6 - #11	1.5
	Proyecto	#2 - #5	0.28
Armado	Proyecto	#2 - #5	0.28
		#6 - #11	0.92

Fuente: Ramírez, H. (2022)

(Véanse las imágenes 1, 2, 3, 5 y 8.)

3.8.2 Paso a desnivel Guadalupe

Este proyecto lo produjo la misma empresa constructora que el anterior. En este proyecto el figurado (corte y doblado) se realizó de manera industrial en la planta de ferralla de aceros Abonos Agro, y su armado fue hecho en campo por personal especializado en armado de un subcontratista de Puentes y Calzadas. Los despieces fueron realizados desde España por personal directamente de Puentes y Calzadas. En el proyecto para el armado contaban con equipo mecánico de levantamiento, como lo es el de las grúas, lo cual beneficia la colocación del armado.

Al igual que el proyecto anterior, también se figuró una leve cantidad de material en campo, esto por necesidades y urgencias que tenía la constructora, y también se recalca que las varillas que se doblaron en campo eran de diámetros menores a la varilla #5. El 100% de

la varilla gruesa (superior a #6) se dobló en la planta de Aceros Abonos Agro. Este proyecto consumió aproximadamente 1200 ton de acero.

En este proyecto los tiempos de armado fueron menores, ya que con este se vieron mejoras que podían realizarse para cuando entraron al proyecto La Bandera, donde lograron solventarlos. Los tiempos de figurado sí son los mismos, debido a que el proceso en industria ya se encuentra estandarizado.

Tabla 14

Rendimientos Paso a desnivel Guadalupe

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta Aceros Abonos Agro	#2 - #5	0.43
		#6 - #11	1.5
	Proyecto	#2 - #5	0.28
Armado	Proyecto	#2 - #5	0.23
		#6 - #11	0.78

Fuente: Ramírez, H. (2022)

(Véanse las imágenes 4, 7 y 9).

3.8.3 Ampliación paso Firestone, proyecto OBIS

Este proyecto lo produjo la empresa constructora Codocsa. En este proyecto el figurado (corte y doblado) se elaboró de manera industrial en la planta de Aceros Rocha, y su armado fue hecho en campo por personal especializado en armado de la misma empresa Aceros Rocha. Los despieces fueron también realizados por personal de Aceros Rocha; esta captura de que una sola empresa haga todo, puede beneficiar en cierta parte al proyecto, ya que todo es manejado por uno solo y sabe el ritmo de trabajo a llevar. Sin embargo, si no

existiera un control cruzado de revisión, un solo error podría generar un importante atraso. En el proyecto para el armado contaban con equipo mecánico de levantamiento, como lo es el de las grúas, lo cual beneficia la colocación del armado.

Al igual que el proyecto anterior, también se figuró una leve cantidad de material en campo, esto por necesidades y urgencias que tenía la constructora.

En este proyecto los tiempos de armado fueron menores, ya que con este se vieron mejoras que podían realizar para cuando entraron al proyecto La Bandera, y lograron solventarlos. Los tiempos de figurado sí son los mismos, debido a que el proceso en industria ya se encuentra estandarizado.

Tabla 15

Rendimientos Ampliación paso Firestone

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta Aceros Rocha	#2 - #5	0.41
		#6 - #11	1.42
Armado	Proyecto	#2 - #5	0.25
		#6 - #11	0.81

Fuente: Ramírez, H. (2022).

(Véanse las imágenes 10, 11, 12 y 13).

3.8.4 Pilotes de Pilotes de Costa Rica

Este proyecto lo produjo la empresa constructora Pilotes de Costa Rica. En este proyecto el figurado (corte y doblado) se realizó de manera industrial en la planta de Aceros Abonos Agro, al igual que su armado. Los despieces fueron también hechos por personal de

Aceros Abonos Agro. Como se armó en la planta de producción, el tema de logística de envío de las armaduras tiene sus consideraciones, como por ejemplo poco peso, pero considerable volumen. Este proyecto comprendía 95 ton de acero solamente #5 y #8.

En este proyecto los tiempos de armado fueron menores, ya que el armado en industria se vuelve más controlado, además de tener mayores facilidades, como grúas puente y un área amplia bajo techo para la labor de armado.

Tabla 16

Rendimientos Pilotes para Pilotes de Costa Rica

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta Aceros Abonos Agro	#2 - #5	0.88
		#6 - #11	1.5
Armado	Planta Aceros Abonos Agro	#2 - #5	0.22
		#6 - #11	0.95

Fuente: Ramírez, H. (2022).

(Véanse las imágenes 14, 15 y 16).

3.8.5 Casa de habitación en Hacienda Los Reyes

Este proyecto no fue realizado por una constructora como tal, sino que la empresa Dobles & Hernández Arq., contrató los servicios de un maestro de obras, quien posee personal para construir proyectos tipo casas de habitación. Este proyecto abarcaba solamente 12 ton de acero, donde el 100% era delgado, lo que se comprende de varilla #2 a #5, por lo cual los tiempos de armado se vuelven más bajos, debido a que no hay mezcla entre varillas

gruesas y delgadas; a esto se suma que tanto en figurado como en armado se realizó también el 100% en campo.

Tabla 17

Residencia en Hacienda Los Reyes

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	En Proyecto	#2 - #5	0.35
Armado	En Proyecto	#2 - #5	0.12

Fuente: Ramírez, H. (2022)

(Véanse las imágenes 17, 18 y 19).

Todos los datos suministrados en el Capítulo 3 fueron revisados y tomados de acuerdo con lo conversado y con las diversas anotaciones que se hicieron, en las distintas visitas a campo realizadas con profesionales a cargo de la obra, o bien a cargo de labores dentro de la construcción. Enseguida se detallan los nombres de algunas de las personas que se tomaron en cuenta para todas estas consultas:

Tabla 18

Personas consultadas en proyectos.

Persona	Título	Puesto en Obra	Empresa
Alejandro González González	Ingeniero Civil	Encargado de Armaduras	Puentes y Calzadas
Robert Acuña Rocha	-	Encargado	Aceros Rocha
Miguel Valerio	Arquitecto	Despiezador	Aceros Rocha
Luis Hernández	Arquitecto	Supervisión	Dobles & Hernández Arq.
Karen Hernández Badilla	Arquitecta	Supervisión	Dobles & Hernández Arq.
Cristopher Zeledón Masís	-	Armador	Aceros Abonos Agro
Yader Márquez García	-	Armador	Aceros Abonos Agro

Fuente: Ramírez, H. (2022)

Capítulo 4.

4.1 Aplicación

El siguiente manual se creó con base en toda la información detallada en este documento, y detallando todas las recomendaciones y sugerencias brindadas por expertos en el tema con quienes se pudo conversar, mediante visitas a campo. Adicionado a esto, la experiencia acumulada por el autor del presente trabajo investigativo a lo largo de seis años en el campo del figurado de acero.

Se espera que el documento sirva de guía y oriente a los miembros del personal encargado de obras, a tener una noción de qué hacer en el momento del armado de acero, y si desconocen algún tema, o cómo realizar cierta tarea, les sirva para evacuar dichas dudas.



**Manual de Control, del
correcto Armado del Acero
para Concreto Reforzado**

Índice

.....	1
Historia del Acero de Refuerzo	4
Caracterización del acero refuerzo	5
Especificaciones de la Varilla	5
Normativas ASTM A706 (G60)	6
ASTM A615 (G40)	6
Pasos para el correcto manejo del acero:	7
1. Transporte del Material	7
2. Recepción del Material	7
3. Revisión del Material.....	8
Pruebas usuales para las Varillas en campo:	8
Pruebas usuales para las Varillas en Laboratorios:	8
4. Almacenaje del Material.....	9
Pasos para el figurado del acero:	10
1. Despiece del Acero	10
Equipo y conocimiento necesario mínimo, para realizar un correcto despiece:	12
2. Preparación del Acero, Limpieza:	13
Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:..	13
3. Figurado del acero, Corte en sitio:.....	13
Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:..	14
4. Figurado del acero, Doblado en sitio:	15

Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:..	16
5. Figurado del acero, Industrializado:.....	18
Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:..	19
Largo mínimo de ganchos:	20
Largo mínimo de Anclajes:	21
Largo mínimo de Traslapes:	22
6. Armado del acero:.....	23
Ejemplos de acoples mecánicos que se pueden encontrar en el país:	25
Ejemplos de sillas separadoras de malla y de dados separadores de la armadura con el suelo:	26
Ejemplos de separadores plásticos y su especificación de posible uso:.....	27
7. Rendimientos en tiempo:	28
Mix de varillas gruesas y delgadas, figurado industrializado y armado en campo:	28
Mix de varillas gruesas y delgadas, figurado y armado industrializado:	29
Mix de varillas delgadas, figurado y armado en campo:	29
Conclusiones y Recomendaciones adicionales:.....	29

Historia del Acero de Refuerzo

Se le acredita a Monier la invención del concreto reforzado ya que en 1867 él recibió la patente para la construcción de receptáculos de concreto reforzado con una malla de alambre de hierro, su meta era al trabajar con este material, obtener un bajo peso sin tener que sacrificar resistencia. De 1867 a 1881 Monier recibió patentes para la fabricación de durmientes, losas de piso, puentes peatonales, edificios y otros elementos de concreto reforzado en Francia y en Alemania.

E.L. Ransome, de San Francisco, usó concreto reforzado en los primeros años de la década en 1870 y fue inventor de las barras corrugadas, para las que obtuvo la patente en 1884. Estas barras, que eran cuadradas en su corte transversal, se torcían en frío con una vuelta completa de una longitud de no más de 12 veces el diámetro de la barra. El propósito de torcerlas era proporcionar mejor adherencia entre el concreto y el acero.

En el ámbito costarricense, con la expansión de la revolución industrial en todo el mundo, el material por predilección fue el acero y con él, la proliferación de obras típicas de este periodo histórico que, como todos, llegó de forma tardía a Costa Rica. De esta época contamos con obras tan relevantes como el Edificio Metálico en 1895 (Escuela Buenaventura Corrales B.) y la Iglesia de Grecia en 1840.



Caracterización del acero refuerzo

En Costa Rica se manejan 2 grados de varilla, el grado 40 y grado 60, el grado 60 cuenta con una resistencia $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$, mientras que la grado cuarenta está en valores de $f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$, estos grados son normados de acuerdo con la ASTM.

La caracterización de las varillas o barras estándar se dan en el apéndice A del ACI 38-14, entre las características dadas esta, diámetro, área y peso, en donde todos los productores de acero deben cumplir con lo indicado.

Especificaciones de la Varilla

VAR	DIAMETRO (cm)	DIAMETRO (in)	PESO (kg/m)
#2	.635	1/4	.248
#3	.95	3/8	.56
#4	1.27	1/2	.994
#5	1.59	5/8	1.552
#6	1.91	3/4	2.235
#7	2.22	7/8	3.042
#8	2.54	1	3.973
#9	2.87	1 1/8	5.06
#10	3.23	1 1/4	6.404
#11	3.58	1 2/5	7.907

Normativas ASTM A706 (G60)

Bar Designation No.	Nominal Weight, lb/ft [Nominal Mass, kg/m]	Nominal Dimensions ^A			Deformation Requirements, in. [mm]		
		Diameter, in. [mm]	Cross-Sectional Area, in. ² [mm ²]	Perimeter, in. [mm]	Maximum Average Spacing	Minimum Average Height	Maximum Gap (Chord of 12.5 % of Nominal Perimeter)
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]	0.262 [6.7]	0.015 [0.38]	0.143 [3.6]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]	0.350 [8.9]	0.020 [0.51]	0.191 [4.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]	0.437 [11.1]	0.028 [0.71]	0.239 [6.1]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]	0.525 [13.3]	0.038 [0.97]	0.286 [7.3]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]	0.612 [15.5]	0.044 [1.12]	0.334 [8.5]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.700 [17.8]	0.050 [1.27]	0.383 [9.7]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]	0.790 [20.1]	0.056 [1.42]	0.431 [10.9]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]	0.889 [22.6]	0.064 [1.63]	0.487 [12.4]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]	0.967 [25.1]	0.071 [1.80]	0.540 [13.7]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]	1.185 [30.1]	0.085 [2.16]	0.648 [16.5]
18 [57]	13.60 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]	1.58 [40.1]	0.102 [2.59]	0.864 [21.9]

^A The nominal dimensions of a deformed bar are equivalent to those of a plain round bar having the same weight [mass] per foot [metre] as the deformed bar.

Tomado de: Deformed bar designation Numbers, Nominal Weights (Masses), Nominal Dimensions, and Deformation Requirements. ASTM A706/A706M-09b

ASTM A615 (G40)

Bar Designation No.	Nominal Weight, lb/ft [Nominal Mass, kg/m]	Nominal Dimensions ^A			Deformation Requirements, in. [mm]		
		Diameter, in. [mm]	Cross-Sectional Area, in. ² [mm ²]	Perimeter, in. [mm]	Maximum Average Spacing	Minimum Average Height	Maximum Gap (Chord of 12.5 % of Nominal Perimeter)
3 [10]	0.376 [0.560]	0.375 [9.5]	0.11 [71]	1.178 [29.9]	0.262 [6.7]	0.015 [0.38]	0.143 [3.6]
4 [13]	0.668 [0.994]	0.500 [12.7]	0.20 [129]	1.571 [39.9]	0.350 [8.9]	0.020 [0.51]	0.191 [4.9]
5 [16]	1.043 [1.552]	0.625 [15.9]	0.31 [199]	1.963 [49.9]	0.437 [11.1]	0.028 [0.71]	0.239 [6.1]
6 [19]	1.502 [2.235]	0.750 [19.1]	0.44 [284]	2.356 [59.8]	0.525 [13.3]	0.038 [0.97]	0.286 [7.3]
7 [22]	2.044 [3.042]	0.875 [22.2]	0.60 [387]	2.749 [69.8]	0.612 [15.5]	0.044 [1.12]	0.334 [8.5]
8 [25]	2.670 [3.973]	1.000 [25.4]	0.79 [510]	3.142 [79.8]	0.700 [17.8]	0.050 [1.27]	0.383 [9.7]
9 [29]	3.400 [5.060]	1.128 [28.7]	1.00 [645]	3.544 [90.0]	0.790 [20.1]	0.056 [1.42]	0.431 [10.9]
10 [32]	4.303 [6.404]	1.270 [32.3]	1.27 [819]	3.990 [101.3]	0.889 [22.6]	0.064 [1.63]	0.487 [12.4]
11 [36]	5.313 [7.907]	1.410 [35.8]	1.56 [1006]	4.430 [112.5]	0.967 [25.1]	0.071 [1.80]	0.540 [13.7]
14 [43]	7.65 [11.38]	1.693 [43.0]	2.25 [1452]	5.32 [135.1]	1.185 [30.1]	0.085 [2.16]	0.648 [16.5]
18 [57]	13.60 [20.24]	2.257 [57.3]	4.00 [2581]	7.09 [180.1]	1.58 [40.1]	0.102 [2.59]	0.864 [21.9]

^A The nominal dimensions of a deformed bar are equivalent to those of a plain round bar having the same weight [mass] per foot [metre] as the deformed bar.

Tomado de: Deformed bar designation Numbers, Nominal Weights (Masses), Nominal Dimensions, and Deformation Requirements. ASTM A615/A615M-12

Pasos para el correcto manejo del acero:

1. Transporte del Material

- El largo del vehículo debe ir de acuerdo con el largo del material a transportar, para evitar que las barras se arrastren sobre el pavimento o sobresalgan de la superficie del largo del piso.
- La carga debe ser uniformemente repartida y amarrada, en forma conveniente, para lograr la estiba correcta de los paquetes.
- La carga debe ser amarrada correctamente con lingas, fajas o cadenas.
- Si se encuentra en época lluviosa, o bien, el material se dirige hacia un lugar del país en donde las condiciones meteorológicas favorecen que llueva constantemente, el material se debe tapar con lonas, que impidan el paso del agua, el cual, por sus propiedades, dañaría el material, produciéndole herrumbre.

2. Recepción del Material

- El material se debe descargar lo más cercano o en el mismo lugar de almacenaje, el acero al ser un material pesado, y cuyos largos pueden estar entre 6 metros y 12 metros, no es fácil de estar moviéndolo de un lugar hacia otro. Al mismo tiempo, lo recomendable es que el material sea almacenado lo más cerca del lugar de su uso, estos movimientos podrían consumir bastante tiempo, y resultar riesgosos.
- En la descarga, debe estar presente el personal de proveeduría, o en su caso, la persona encargada del

proyecto, para poder revisar el material solicitado versus el entrante, con ello evitar atrasos en la obra, por algún material que haya llegado incorrecto, o bien material en mal estado que no vaya a ser aceptado por parte de la supervisión.

3. Revisión del Material

Pruebas usuales para las Varillas en campo:

En campo no se puede realizar pruebas a la varilla, más que observaciones, para lo cual, se debe revisar los siguientes puntos:

- Largo de las varillas solicitadas.
- Forma del acero solicitado.
- Diámetro del acero solicitado (este se debe encontrar impreso a lo largo de la varilla).
- Grado de resistencia del material solicitado (este se debe encontrar impreso a lo largo de la varilla).
- Estado visual del acero (sin herrumbre).
- Cantidad de material solicitado

Pruebas usuales para las Varillas en Laboratorios:

- Tensión
- Fluencia
- Doblez

Estas pruebas deben aplicarse y cumplir, de acuerdo con lo especificado en la norma ASTM A370 y se deben enviar a realizar a laboratorios certificados en el país, en Costa Rica existen varios.



4. Almacenaje del Material

- Las barras y elementos de acero refuerzo, deben estar separadas, por diámetro, grado y tamaños.
- El acero debe estar ordenado de manera que el acero que vaya a ser utilizado más próximamente en obra sea el que este encima o bien a mano y de fácil acceso para su uso.
- Las barras que sobresalgan deben estar demarcadas para evitar accidentes, y el acero se debe encontrar ordenado.
- El lugar de almacenaje debe ser techado, para evitar que le caiga lluvia. Adicional a ello debe estar ventilado, para evitar que la humedad se concentre entre los paquetes de las varillas.
- El acero no debe colocarse directamente en el suelo, debe estar elevado, ya sea con tucos de madera o bien un mueble de almacenaje que facilite su acomodado.
- También es recomendable identificar con un cartel o pizarra, a que elemento corresponde ese acero.



Pasos para el figurado del acero:

1. Despiece del Acero

Consiste en realizar un cálculo en cuanto a cantidades y formas, tomando en cuenta todas las especificaciones técnicas que se indiquen en planos, como lo son recubrimientos, largo de patas y ganchos, longitudes de traslape, grados de la varilla y diámetro de las varillas, todo esto se debe ir cumpliendo elemento por elemento, para lo cual se brindan los siguientes consejos:

- Se debe tener la seguridad con contar con la última versión de los planos.
- Para cada despiece de cada elemento, se debe realizar un plano de taller el cual debe contemplar:
 - ❖ Resistencia especificada, tipo y calidad o grado del acero de la armadura.
 - ❖ Tamaño y posición de todos los elementos estructurales y de la armadura.
 - ❖ Longitud de anclaje de la armadura, posición y longitud de los empalmes por traslapes.
 - ❖ Deben contener todos los antecedentes de las armaduras.
 - ❖ Es recomendable que muestren los elementos en planta con sus elevaciones y cortes.

- ❖ Las medidas se deben colocar con su largo total, de extremo a extremo, ya que, no se debe contemplar solo la parte recta, para evitar errores
- Todo elemento que no venga detallado se debe consultar, no se deben asumir diámetros, cantidades, ni, dimensiones.
- Cada elemento debe estar identificado de manera distinta, para evitar errores a la hora de usar las piezas en el armado.
- Se recomienda empezar desde fundaciones, seguir con columnas y muros, luego vigas y de ultimo vigas.
- Cuando sean elementos largos y lleven traslape, se debe considerar usar las varillas en su largo estándar (6-9-12m), y que el traslape se haga con otra varilla mas larga, esto para subir el rendimiento.
- Se recomienda que las medidas de las figuras se den desde la parte externa de las varillas, para así lograr disminuir errores.
- Se debe calcular separadores en dobles losas, que su ancho sobrepase los 10cm, estos separadores se calculan, restando los diámetros superiores e inferiores, mas los anchos de las 2 varillas superiores, y 1 de las inferiores. Y se recomienda calcular un separador o silla por metro cuadrado, no existe una formula de como calcular esta cantidad.
- En el despiece también se debe contemplar si el figurado va a ser movido en camiones, que el largo máximo de las figuras sea del mismo largo de las plataformas del camión.

- Se debe considerar calcular los bastones verticales de columnas y muros, en forma de "L", sin doblarle el anclaje superior, ya que puede entorpecer, a la hora de meter los aros, o bien, los blocks.
- Se debe realizar todo final de barras, con una pata, la cual brinde mayor adherencia al concreto.
- Siempre se deben seguir las indicaciones que se brindan en los planos, como largos de patas y ganchos, traslapes, y recubrimientos.
- Los ganchos se deben considerar varias veces con una pata abierta, no a 180°, esto para que facilite su colocado, esto se debe revisar con los armadores, para ver si es opción doblar en campo la pata que no se terminó de doblar.
- Las barras superiores de la doble losa, en placas aisladas aisladas, se debe contemplar si por su largo y la cantidad de pedestales que posean, se realice en 2 partes, traslapándose.
- En aros circulares o espirales, usadas en pilotes o columnas, es recomendable realizarlas de unos 3cm mas anchos, para que su colocación sea más sencilla, y los mismas se ajustan en su armado.

Equipo y conocimiento necesario mínimo, para realizar un correcto despiece:

- Computadora.
- Programa Autocad.
- Programa Excel.
- Programa que ejecute PDF's.

2. Preparación del Acero, Limpieza:

Lo primero consiste en dar una revisión al acero y limpiar superficialmente lo que comprometa un adecuado corte, doblado y armado, ya que esto podría desencadenar un daño en la estructura final, por lo cual, se recomienda retirar aceites, grasas, barro, costras, escamas y herrumbre suelta adherida al acero. Según en conversación con Ingenieros y encargados de armado, películas de oxidación delgadas o escamaciones, que pueden verse con un color gris oscuro o bien un color marrón claro, no son del todo dañinas para las barras y concreto, más bien, comentan que aumenta la adherencia de la varilla con el hormigón, y de hecho, el instituto americano de concreto (ACI) ha hablado y realizado pruebas sobre dicho punto



Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:

- Cepillo de acero.
- Escobón.
- EPP

3. Figurado del acero, Corte en sitio:

El corte de varilla es el primer punto por coordinar, y se le realiza el corte en donde sea necesario, ya que, si la medida de las figuras o bien barras que se necesiten, dan alguna de las medidas estándar usadas en Costa Rica (6m-9m-12m) lo mejor es solicitar

el material en dichas medidas y así, la eficiencia en proyecto es aún mayor, es este punto se debe tomar en cuenta que las varillas estiran o bien se roban cm y esto depende del grado en que se va a doblar la figura, por ejemplo, si una figura va a llevar ángulos abiertos hasta 90° , la varilla va a tender a estirar, y si los dobleces son cerrados o bien superiores a 90° , la varilla va a robarse centímetros. Adjunto tabla dada en la compañía Aceros Abonos Agro, en el departamento de ferralla, en la cual ya por experiencia han sacado la cuantía de lo que la varilla estira o bien roba usualmente, esto por tipo de varilla.

Ø	Estiramiento (cm)	
	$0^\circ-90^\circ$	$91^\circ-180^\circ$
2	+1	-1
3	+3	-3
4	+4	-4
5	+5	-5
6	+6	-6
7	+6.5	-6.5
8	+7	-7
9	+8	-8
10	+8	-8
11	+9	-9

Cuando si se deba realizar el corte, el comité ACI 315 especifica que los cortes de las barras deben efectuarse en frío, siempre con las barras en ángulo recto con respecto al eje longitudinal de las barras, y, de acuerdo con los largos indicados en los planos. El corte usualmente se realiza con cizallas en las cuales, según la capacidad de esta se podría hasta cortar varias varillas de un solo corte.

Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:

- Cizalla.

- Cinta Métrica.
- Calculadora
- EPP



4. Figurado del acero, Doblado en sitio:

Lo especificado por las normas vigentes es que los elementos que conforman las armaduras deben doblarse en frío, a menos que el ingeniero estructural permita otra cosa, y ninguna armadura debe doblarse si está parcialmente embebida en el hormigón, excepto cuando así se indique en los planos de diseño, No obstante, las condiciones de la obra pueden hacer necesario doblar barras que se encuentran embebidas en el hormigón, siendo esto lo más usual cuando se construyen columnas y muros, ya que los bastones verticales se les deja puntas saliendo, las cuales según el diseño deben realizárseles anclaje en la viga, lo que implica realizar dobles, y por qué se realiza al final, por facilidad de construcción, a la hora de meter aros o bien los blocks.

Como regla general, se recomienda que los dobleces de las barras con nervios longitudinales sean efectuados con alguno de ellos en contacto normal con los bulones.

Tal como se muestra en el ejemplo de la fotografía siguiente, el doblado en campo muchas veces se realiza con grifas, y en bancos diseñados para este efecto, los cuales tienen una serie de perforaciones donde son instalados en la mejor de las veces bulones de acero de diferentes diámetros, sin embargo, en la mayoría de las veces son usados pines (ver imagen) y hasta unos clavos, los cuales son distribuidos no del todo apropiadamente con el objeto de definir los diámetros de curvatura deseados y se realiza el doblado con una grifa, muchas veces esta curvatura no es la recomendada por la ACI, y eso resulta en elementos reventados y agrietados en la parte del doblado.



Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:

- Banco doblado (manual o semiautomático).
- Grifa.
- Medidos de ángulos.
- Cinta Métrica.
- Calculadora.
- EPP
- Pinza
- Alambre negro

Lo adecuado y que debería ser regla en la construcción, sería evitar el uso de estas mesas de doblado que no cumplen con las especificaciones mínimas de doblado, y lo adecuado sería usar dobladoras semi o del todo automáticas, las cuales vienen con bulones adecuados para el correcto doblado de las varillas, ver imágenes de ejemplo.



5. Figurado del acero, Industrializado:

En el mercado nacional existen maquinas las cuales son 100% automatizadas, estas se llaman estribadoras, las cuales cortan y doblan de una vez, a ellas se les configura, forma, ángulos, medidas y cantidades, algunas de estas máquinas producen hasta en 3D, a gran velocidad y con un gran porcentaje de homogeneidad entre todas las figuras, estas máquinas estribadoras son alimentadas por medio de rollos, sin embargo, también podría realizarse desde varilla, solo que afecta su productividad, en Costa Rica se manejan para varillas #2 a la #6, a nivel mundial existen máquinas de estas que trabajan rollos de varilla de hasta varillas #10. El uso de estas maquinas representa alto consumo eléctrico, mantenimiento de las maquinas, y de un operador de máquina, los cuales son más especializados que los dobladores en campo, y por lo tanto, van a tener un costo mayor a la hora de ver salarios, esto viéndole inconvenientes, y todo este costo va metido en el costo que da la empresa a la constructora. En el mundo existen diversas marcas para maquinas estribadoras, bancos de doblado y corte, cizallas y dobladoras, entre las marcas más usuales y conocidas tenemos:

- MEP
- Schnell
- Sima
- Silla



Equipo y conocimiento necesario mínimo, para esta tarea:

- Estribadoras
- Banco doblado (semiautomático).
- Grifa.
- Medidos de ángulos.
- Cinta Métrica.
- Calculadora.

- EPP
- Pinza

Para todo figurado se deben tomar en cuenta las dimensiones mínimas, las cuales son especificadas por el reglamento ACI, siguiente se verán las distintitas a tomar en cuenta, para lograr que el figurado cumpla en toda dimensión, y no se deba desechar material por incumplir alguna de estas:

Largo mínimo de ganchos:

Tipo de gancho estándar	Diámetro de la barra	Diámetro interior mínimo de doblado, mm	Extensión recta ¹⁾ (l_{ext}), mm	Tipo de gancho estándar
Gancho de 90 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$	$12d_b$	
Gancho de 135 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $6d_b$ y 75 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		
Gancho de 180 grados	No. 10 a No. 16	$4d_b$	Mayor de $4d_b$ y 65 mm	
	No. 19 a No. 25	$6d_b$		

¹⁾ El gancho estándar para estribos y estribos cerrados de confinamiento incluye el diámetro interior del doblaz específico y el largo de la extensión recta. Se permite usar una extensión recta más larga en el extremo del gancho. No se considera que esta extensión aumente la

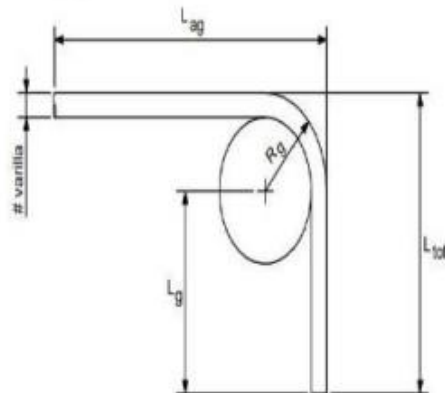
Tabla 25.3.2-Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para estribos, amarras y estribos cerrados de confinamiento. (ACI 318S-14).

Largo mínimo de Anclajes:

Varilla	L_g (mm)	R_g (mm)	L_{tot} mínimo (mm)	f_y (kg/cm ²)	L_{ag} (mm) $f_c=210\text{kg/cm}^2$	f_y (kg/cm ²)	L_{ag} (mm) * $f_c=210\text{kg/cm}^2$
#2	80	25	105	2800	150	4200	150
#3	115	40	155	2800	150	4200	175
#4	150	50	200	2800	175	4200	250
#5	190	65	255	-	-	4200	300
#6	230	75	305	-	-	4200	350
#7	285	90	355	-	-	4200	400
#8	305	100	405	-	-	4200	475
#9	350	150	500	-	-	4200	550
#10	390	160	550	-	-	4200	600
#11	430	180	610	-	-	4200	650

* Se permite utilizar un factor de reducción de 0.95 en el valor de L_{ag} para las varillas #5 a #11 cuando se utilice concreto con resistencia a la compresión de 245 kg/cm²

Se permite utilizar un factor de reducción de 0.85 en el valor de L_{ag} para las varillas #5 a #11 cuando se utilice concreto con resistencia a la compresión de 280 kg/cm²



DETALLE TÍPICO DE GANCHO

Diámetro mínimo interior de doblado y geometría del gancho estándar para anclajes. (ACI 318S-14).

Largo mínimo de Traslapes:

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

Para los traslapes se debe seguir varias recomendaciones, los cuales se deben tomar en cuenta:

- No se debe traslapar paquetes enteros de varilla en una misma zona, por lo cual se dice que no se debe traslapar mas del 50 % de un paquete en un mismo punto. Cuando se deba traslapar en una misma zona, se establece que a la longitud de del traslape se le debe sumar entre un 20% y un 33%.
- No se deben realizar traslapes en zonas de confinamiento, lo llamado nudos por ejemplo entre vigas y columnas, para evitar esto, el traslape se debera realizar en el segundo tercio de la longitud que se desea cubrir.
- Para traslapes de varillas de distinto diametro, se deben tomar como longitud de empalme, el indicado para la varilla con mayor diametro a traslapar.
- Para espirales, el empalme entre ellas debe ser media vuelta de la espiral, o bien, lo que se indica en la tabla 25.7.3.6 del ACI 318-14, en donde para espirales de varilla corrugada se debe tralapar 48 veces el diametro de

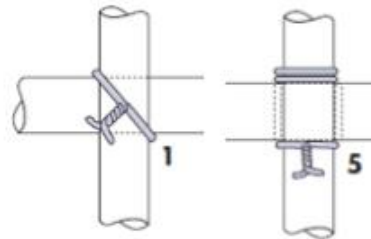
la varilla usada en la espiral, y en su punto de anclaje no requiere gancho, si no, media vuelta mas de espiral.

- Para columnas circulares, los aros redondos deben tener anclaje perpendicular al eje del miembro, y el traslape entre los anclajes debe ser de al menos 15cm.
- El código tambien indica como largo mínimo de traslape, 40 veces el diámetro de la varilla usada, y como mínimo estandar 30cm.
- La distancia entre traslapes de un mismo paquete, va de acuerdo al largo del traslape usado.

6. Armado del acero:

Recomendaciones para realizar un correcto y eficiente armado:

- El personal encargado de realizarlo debe ser especializados en el área y de la mano con el encargado de obra deben saber interpretar todas las especificaciones que se brinden en planos y planos de taller de cada elemento.
- Para que las armaduras queden de manera firme, y no represente un riesgo a la hora de colocarlas, las amarras deberán cubrir el 70% de estos pagues, estas amarras se fabrican de alambre negro recocido, estos se venden en rollos de 45 kg en el mercado nacional, y se calcula, tomando el peso de la armadura del acero y calculando un 3 a 5% de su peso. La forma del amarre mas usada en Costa Rica, es la llamada pata de gallo.
En el mercado nacional ya se pueden encontrar tambien amarras plásticas, y maquinaria que realizan las amarras, pero su costo es una limitante.



- Para traslapes existen las llamadas conexiones mecánicas, estas son usadas en donde se deben unir barras para dar una longitud mayor, y se colocan en vez de empalmar las varillas con la longitud de traslape indicado en el ACI, estas están mencionadas en el Código ACI 318-14, en la sección 12.14.3, El uso de estas conexiones mecánicas está condicionado también por ciertos factores como lo son:
 - ❖ Su precio, se debe realizar un análisis de costo, y ver si el costo de este acople es menor que el costo del empalme de la varilla.
 - ❖ Donde se deba colocar gran área de acero, y no se logre ubicar empalmes debido a que el área de acero supera lo permitido, y también

donde el espaciamiento de las barras no se cumpla, es aconsejable pensar en el uso de acoples mecánicos. La siguiente tabla es un ejemplo de espaciamientos que se menciona en la AC

Espaciamiento o Separación Mínima entre Barras (mm)										
Elemento	Diámetro de la barra (mm)									
	8	10	12	16	18	22	25	28	32	36
Columnas	40	40	40	40	40	40	45	45	50	50
Vigas	25	25	25	25	25	25	30	30	35	35

Ejemplos de acoples mecánicos que se pueden encontrar en el país:



- Para la colocación de las armaduras se debe tomar en cuenta también los recubrimientos que se indica en

planos que debe tener cada elemento, con respecto al suelo y a las formaletas.






- En muchos casos las armaduras son colocadas con separadores, los cuales cuando separan la armadura de la tierra en Costa Rica se le denominan helados o dados, los cuales son fabricados de concreto, también para estos casos existen separadores plásticos; en casos de doble mallas, lo usual es que se usen las denominadas sillas o diablillos, los cuales son fabricados de varillas.

Ejemplos de sillas separadoras de malla y de dados separadores de la armadura con el suelo:



- Para cuando se deben separar las armaduras en vertical como columnas, o bien, en horizontal como lo son las vigas, de las formaletas, se usan dados de concreto de menor dimensión que los de las fundaciones, o también, separadores plásticos que son los más usuales en estos elementos.

Ejemplos de separadores plásticos y su especificación de posible uso:

Separadores y Soportes Plásticos		
	Alto : 1,8 a 15 cm	Espaciador de barras superiores para ser usado en enfierraduras horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.
	Alto : 1,8 a 5 cm	Espaciador de barras superiores con sujetador de abrazadera para ser usado en trabajos horizontales. No es recomendable su uso en losas o pavimentos expuestos a la intemperie.
	Alto : 1,8 a 12,5 cm	Silla alta para ser usada en losas y paneles de muro.
	Alto : 6,5 a 16 cm	Silla alta variable para trabajos verticales y horizontales.
	Para recubrimientos de hormigón de 2 a 8 cm con incremento cada 1 cm	Rueda espaciadora, generalmente para ser usada en trabajos verticales. La abrazadera del espaciador permite un mínimo contacto con los moldajes. Aplicable para barras de refuerzo de muros, pilares y columnas.

Manual de Armaduras, Rondon C., pag.132.

Para realizar el armado de una manera correcta, muchas veces son necesarios usar barras de varilla los cuales se colocan como tensores o bien puntos de apoyo, para sostener las armaduras en su lugar, estas piezas muchas veces quedan embebidas dentro de la armadura y no se pueden recuperar, estas barras o bien aros de guía, se deben contemplar en la cuantía de acero, esto muchas veces no es realizado.



7. Rendimientos en tiempo:

Las siguientes tablas sirven como parámetro para calcular el rendimiento, de acuerdo al tipo de proyecto que se está realizando, al mix de varillas que lleva un proyecto, y al proceso del figurado y armado si es en sitio o bien industrializado.

Mix de varillas gruesas y delgadas, figurado industrializado y armado en campo:

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta Aceros Abonos	#2 - #5	0.43
	Agro	#6 - #11	1.5
	Proyecto	#2 - #5	0.28
Armado	Proyecto	#2 - #5	0.28
		#6 - #11	0.91

Mix de varillas gruesas y delgadas, figurado y armado industrializado:

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	Planta Aceros Abonos	#2 - #5	0.38
	Agro	#6 - #11	0.80
Armado	Planta Aceros Abonos	#2 - #5	0.22
	Agro	#6 - #11	0.95

Mix de varillas delgadas, figurado y armado en campo:

Tarea	Lugar	Ø Varilla	Ton/HH
Corte y Doblado	En Proyecto	#2 - #5	0.35
Armado	En Proyecto	#2 - #5	0.12

Conclusiones y Recomendaciones adicionales:

- Al revisar los rendimientos dados en los proyectos indicados anteriormente, se observa que hay una significativa diferencia, siendo el método industrializado el que presenta mejores tiempos. Si el rendimiento se evalúa de acuerdo con el peso, las obras que posean varillas en diámetros mayores tendrán un rendimiento superior.
- En toda obra, aunque el acero figurado o bien armaduras se subcontraten a una compañía industrializada, es recomendable tener a mano una mesa de corte y doblado, como, personal que sepa realizar dichas tareas, así, si se presenta algún imprevisto y se debe solucionar de inmediato, se tiene con que dar solución.
- Se debe tener certeza de contar con los planos en última versión a la hora de realizar los despieces, y que estos vengan bien detallados, para así, evitar errores, si no se

tiene constancia de algún detalle, no se debe asumir de ninguna manera las generalidades del elemento al cual le hace referencia.

- Si se está de encargado en alguna obra de construcción, se tiene la obligatoriedad, de obtener los materiales de la calidad y tipo que se requiere, y a los mismos se les debe realizar diversas revisiones y pruebas, tanto en campo, como, en laboratorios subcontratados.
- El armado y colocación del acero refuerzo se debe realizar con todas las medidas de seguridad que sean necesarias, para evitar accidentes, las armaduras de acero suelen ser de un gran peso.
- Las armaduras deben programarse de manera que estas estén en el tiempo exacto para ser usadas, no pueden realizarse con mucho tiempo de antelación debido al campo que requiere su almacenaje, las ultimas construcciones que se han ido trabajando, no tienen campo suficiente para este almacenaje, esto debido a la gran saturación de edificaciones que tiene el país, en donde se construye teniendo estructuras en los 4 costados. La opción que se tiene en costa rica, y como ya se ha mencionado, es subcontratar dichos trabajos, y solicitar con antelación las armaduras es posible, ya que estas compañías poseen bodegas grandes en donde se puede almacenar las estructuras de manera segura, y se van solicitando en proyecto de acuerdo con la necesidad.

Elaborado por: Hansell Mauricio Ramírez Badilla.

Año: 2022

Capítulo 5.

5.1 Conclusiones y Recomendaciones

- Al revisar los rendimientos dados en los proyectos indicados anteriormente, se observa que hay una significativa diferencia, siendo el método industrializado el que presenta mejores tiempos.
- Si el rendimiento se evalúa de acuerdo con el peso, las obras que posean varillas en diámetros mayores tendrán un rendimiento superior.
- La calidad de las armaduras de acero de refuerzo para concreto reforzado, depende en gran parte de la mano de obra que se use. Aunque se tengan los mejores materiales y herramientas, si la mano de obra no es la correcta, el trabajo será de baja calidad.
- En toda obra, aunque el acero figurado, o bien las armaduras, se subcontraten a una compañía industrializada, es recomendable tener a mano una mesa de corte y doblado, así como personal que sepa realizar dichas tareas: de este modo, si se presenta algún imprevisto y se debe solucionar de inmediato, se tiene con que dar solución.
- Se debe tener certeza de contar con los planos en última versión a la hora de realizar los despieces, y que estos vengán bien detallados, para evitar errores. Si no se tiene constancia de algún detalle, no se deben asumir de ninguna manera las generalidades del elemento al cual se hace referencia.
- Si se está como encargado en alguna obra de construcción, se tiene la obligatoriedad de obtener los materiales de la calidad y tipo que se requiere, y a estos se les deben

realizar diversas revisiones y pruebas, tanto en campo como en laboratorios subcontratados.

- El armado y colocación del acero de refuerzo se debe hacer con todas las medidas de seguridad que sean necesarias, para evitar accidentes, pues las armaduras de acero suelen ser de un gran peso.
- Las armaduras deben programarse de manera que estas se encuentren en el tiempo exacto para ser usadas; no pueden realizarse con mucho tiempo de antelación, debido al campo que requiere su almacenaje. Las últimas construcciones que se han ido trabajando no tienen campo suficiente para este almacenaje, a causa de la gran saturación de edificaciones que tiene el país, donde se construye teniendo estructuras en los cuatro costados. La opción que se tiene en Costa Rica, y como ya se ha mencionado, es subcontratar dichos trabajos, y solicitar con antelación las armaduras, lo que es posible, ya que estas compañías poseen bodegas grandes, donde se pueden almacenar las estructuras de manera segura, y se van solicitando en un proyecto de acuerdo con la necesidad.

5.2 Referencias

OJO: 1. No se pone el nombre al principio, sino el o los apellidos y la(s) inicial(es) del nombre. 2. Puse sangría francesa y 1.5 de espacio en cada referencia, porque así lo piden las normas APA 6 de su universidad. 3. Puse un espacio adicional entre autores, porque así lo piden las normas también. 4.. Deles margen izquierdo. 4. Luego de que usted complete lo que falte, dele orden alfabético a todas estas Referencias.

Jiménez, M.G. (2005). “*Detallado de acero de refuerzo en estructuras de concreto en altura*. (Tesis de Licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México.

Montero Moreira, J.P. (2010). *Cuantificación de rendimientos y productividad en elementos estructurales de concreto reforzado en edificios modulares en altura*. (Tesis de Licenciatura). Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Fuquen Fuquene, Y., y Niño Castillo, Á. (2014). *Influencia de rendimientos y desperdicios para optimizar la calidad y costos en obras de construcción* (Tesis de Licenciatura). Universidad Santo Tomás, Perú.

Mendoza Jesús, K., y Martínez Palacios, J. (2017). *Mejoramiento de la productividad en acero y encofrado de placas*. Tesis de Licenciatura en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Guía práctica para el diseño de estructuras de hormigón armado. (2016). Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, Ecuador.

Rondón, C. (2005). *Manual de armaduras de refuerzo de hormigón*. Gerdau AZA de Chile.

Cuartas Varón, L. F. (2017). *Determinación de las variables que afectan el rendimiento de la mano de obra en la construcción de edificaciones en el municipio de Armenia*. (Trabajo de Grado para Máster). Universidad EAFIT.

Gonzalez Cuevas, O. M. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (4ta. edición), México: Limusa.

Fonseca, E., y Garnier, J. E. (1998). *Historia de la arquitectura en Costa Rica*. San José, Costa Rica: Fundación Museos del Banco Central.

Pendones, R. (2019). ¿Cómo ha evolucionado la arquitectura en Costa Rica?

Recuperado de

<https://www.construccion.co.cr/Post/Detalle/28514/como-ha-evolucionado-la-arquitectura-en-costa-rica>

Pérez, M.A. (Ed.). (2014). *Aplicaciones avanzadas de los materiales compuestos en la obra civil y la edificación*. Barcelona, España.

CFIA. (2010). *Código sísmico de Costa Rica*. Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica

American Concrete Institute. (2008). *Reglamento para concreto estructural ACI 318S*. Farmington Hill, USA: American Concrete Institute, Capítulo Costa Rica.

American Institute of Steel Construction. (2016). *Especificación para construcciones de acero*. Chicago, Illinois.

Cámara de la Construcción. *Reglamento de construcciones*. (2018). San José, Costa Rica: La Gaceta N°148, Alcance 145, 16 de agosto de 2018.

5.3 Anexos

5.3.1 INA, 2022, Prueba de Varilla Contratada

INSTITUTO NACIONAL DE APRENDIZAJE
Gestión Regional

FR GR 129
Edición 06
(18/07/2019)



INFORME DE RESULTADOS

Laboratorio de Ensayo de Materiales (LEM - INA)



1. INFORMACION GENERAL

Fecha de recepción de muestras: 17 de marzo del 2022

Fecha análisis: 17 de marzo del 2022

Fecha de Elaboración de Informe: 21 de marzo del 2022

Solicitud: 12-2022

ID informe: LEM25-2022

Método: PGR 21 Ensayo de Tensión para Barra de Acero para Refuerzo¹

Solicitante: Aceros Abonos Agro S.A.

Dirección del solicitante: De los semáforos de Metalco 150 m este. Colima de Tibás.
San José, Costa Rica

Descripción de la muestra: Cinco muestras de barra de acero para refuerzo de concreto número 4 con grado no identificado

Registro de las Observaciones: Bitácora BL-17-2022, págs. 05
Bitácora BE-27 pág. 05
Hoja HC - LEM25-2022

Condiciones ambientales promedio del laboratorio:

(22,80 ± 0,26)	° C	(58,8 ± 2)	% HR
----------------	-----	------------	------

2. OBSERVACIONES

Método acreditado basado en la norma¹:

ASTM A370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.

Análisis realizado en Máquina Universal de Ensayos Zwick/Roell Z250


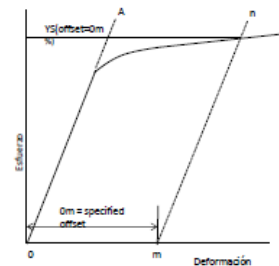
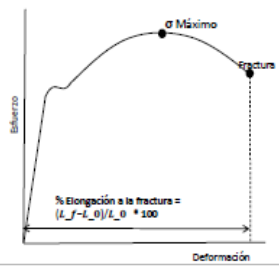
...UL...


JAFETH SILES CALVO (FIRMA) Firmado digitalmente por JAFETH SILES CALVO (FIRMA) Fecha: 2022.03.21 09:14:47 -06'00'	ANA ELENA BRENES ARIAS (FIRMA) Firmado digitalmente por ANA ELENA BRENES ARIAS (FIRMA) Fecha: 2022.03.21 09:52:53 -06'00'
Realizado por: Inq. Jafeth Siles Calvo	Aprobado por Dirección Técnica o Calidad Inq. A. Elena Brenes Arias

NOTAS:

- Los resultados de este informe son representativos sólo para la muestra ensayada.
- La muestra es aportada y preparada por el cliente.
- Los resultados se refieren al momento y condiciones durante el ensayo.
- Se prohíbe la reproducción parcial o total del documento sin previa autorización del laboratorio.
- La calibración de los equipos utilizados cuenta con trazabilidad al Sistema Internacional de Medidas (SI).
- El presente documento no es válido sin las firmas y el sello del Laboratorio.
- El Laboratorio de Ensayo no se hace responsable por la mala interpretación o el mal uso de la información contenida en este informe.
- El laboratorio no se hace responsable de la afectación de la validez de los resultados que surja de la información



3. CUADRO DE RESULTADOS					
ID Informe	LEM25-2022				
					
PGR 21 Ensayo de Tensión para Barra de Acero para Refuerzo					
Dimensiones de la Probeta					
MUESTRA	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
ID CLIENTE	M1	M2	M3	M4	M5
Área Nominal (mm ²)	129,00	129,00	129,00	129,00	129,00
Lo (mm) ± Incertidumbre	200,00 ± 0,01	200,00 ± 0,01	200,00 ± 0,01	200,00 ± 0,01	200,00 ± 0,01
Resultados Obtenidos					
MUESTRA	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5
ID CLIENTE	M1	M2	M3	M4	M5
σ _{Fuencia 0,2%} (MPa) ± Incertidumbre	358,70 ± 27,67	354,77 ± 27,37	352,24 ± 27,18	355,90 ± 27,46	342,54 ± 26,43
σ _{Max} (MPa) ± Incertidumbre	478,46 ± 32,63	472,90 ± 32,25	475,93 ± 32,45	475,04 ± 32,39	473,28 ± 32,27
% Elongación (mm/mm) ± Incertidumbre	22,75 ± 5,04	22,94 ± 5,08	24,97 ± 5,53	23,29 ± 5,16	24,43 ± 5,41
4. SIMBOLOGIA					
* : Todas las muestras contenidas en este informe son ensayadas con el mismo método, sin embargo las que poseen el indicador **, son resultados que se encuentran fuera de alcance de acreditación. Ver alcance en www.eca.co.cr . (LE-122) Lo: Longitud calibrada de la probeta σ: Esfuerzo —: No Reporta					
					
Figura 1. Método offset para la determinación del Esfuerzo de Fluencia. (Tomado de ASTM E8/E8M-16a, fig. 21).			Figura 2. Esquema de ubicación de las variables de medición. (Alcance de Ensayo P GR 21, LEM INA)		

ID Informe	LEM25-2022	
PGR 21 Ensayo de Tensión para Barra de Acero para Refuerzo		
5. COMENTARIOS		
Tipo de muestra: Barra de Acero para refuerzo N° #4		
Velocidad del ensayo según método "Crosshead speed control method"		
Velocidad para propiedades de fluencia: 3,375 mm/min		
Velocidad del ensayo: 11,25 mm/min		
El esfuerzo de Fluencia se calcula mediante el "offset method, 0,2%" de la norma ASTM E8M. (ver figura 1 del apartado 4)		
El valor de la muestra reporta una incertidumbre con factor de cobertura $k=2$, que representa un nivel de confianza de aproximadamente 95%.		
El porcentaje de elongación se reporta con base a la longitud inicial "Lo" indicado en las dimensiones de la probeta.		
Las dimensiones de las probetas son de carácter informativo.		
6. OPINIONES/ INTERPRETACIONES/ DECLARACION DE CONFORMIDAD		
El criterio de aceptación o rechazo de los resultados es responsabilidad del cliente.		
7. REFERENCIA		
ASTM A370-20 "Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products"		
ASTM E8/E8M-21 "STANDARD TEST METHODS FOR TENSION TESTING OF METALLIC MATERIALS"		
ASTM A615-20 "Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement"		
ASTM A706-16 "Standard Specification for Deformed and Plain Low-Alloy Steel Bars for Concrete Reinforcement"		
8. ANEXOS		
ninguno		

5.3.2 Steel Resources, 2021, Prueba de Varilla de Origen



3350 SW 148th Avenue Suite 110
 Miramar, Florida 33027 USA
 Tel: +1 305 490-2831 / 305 829-0273
 Email: sales@steelresources.us
 Website: www.steelresources.us

Test Certificate

Customer: ACEROS ABONOS AGRO, S.A. SAN JOSE, COSTA RICA Date: Mar.29, 2021
 Invoice No.: S-21006 Certificate No.: T20210329002
 Description: Stainless steel round bar Order No.: 4900001412

Item No.	Size	Packages	N.W. (Kg)	Grade	Heat No.	Reference No.
1	22.2mm x 2500	14	10756.00	304	H210114	M21032901
2	12.7mm x 2500	1	1082.00	304	H210114	M21032901

Chemical Composition										Mechanical Test				
Item No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu	N	Y.S.(0.2%) N/mm2	T.S. N/mm2	Elongation %	Hardness HV	Hardness HRB
1	0.053	0.450	0.950	0.030	0.003	8.100	18.300			250	590	50	230	
2	0.055	0.450	0.950	0.030	0.003	8.100	18.200			255	560	50	225	

Remark:	1.We hereby certify that the products described herein have been manufactured and tested with satisfactory results in accordance with the the requirement of the above material specification.										Manager of Quality Assurance Department			
	2.The material described above has been detected with free irradiation.										Steel Resources Unlimited, Inc.			

5.3.3 Kaptan D., 2021, Prueba de Varilla de Origen

KAPTAN DEMIR CELIK ENDUSTRISI ve TICARET A.S.

TO WHOM IT MAY CONCERN,

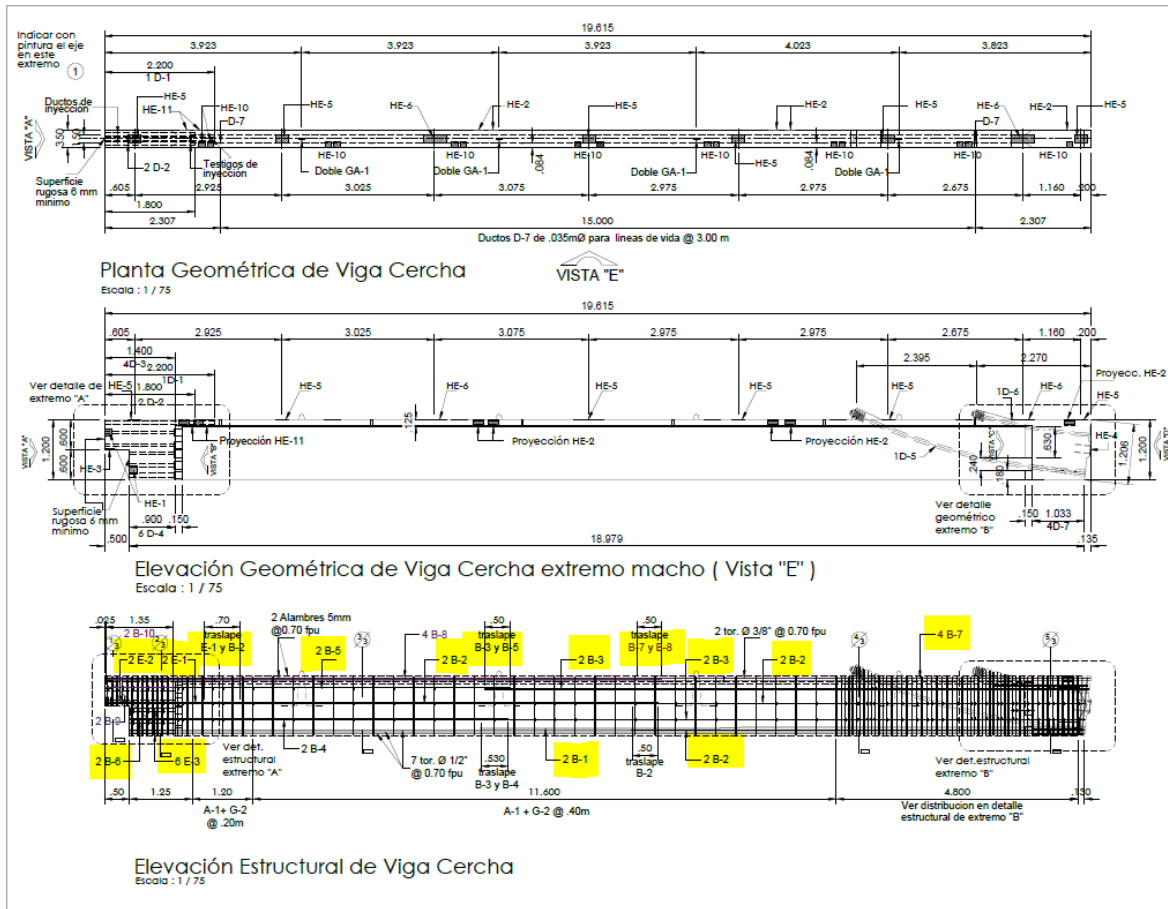
MILL'S TEST CERTIFICATE

LOT 1
MATERIAL REINFORCING DEFORMED STEEL BARS
QUALITY ASTM A706 GR 60W (INTE C401)
PROCESS ROUTE EAF/CCM/QST
BAR MARK

DATE : 02.10.2021
REF : KM/2021-266/RDB

Size mm	Length m	Heat Number	Number of Bundles	Mechanical Properties						Chemical Composition on Product												
				Weight Kg/m	Yield Strength Mpa	Tensile Strength Mpa	Rm / ReHt	Elng. %	Bend	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	B	N	Ceq
12,7	12,00	21-06529	27	0,945	479	629	1,31	15,3	OK	0,29	1,00	0,15	0,021	0,012	0,12	0,09	0,018	0,46	0,005	0,0024	0,0095	0,49
12,7	12,00	21-06530	29	0,947	462	611	1,32	15,3	OK	0,29	0,94	0,16	0,032	0,038	0,15	0,13	0,031	0,45	0,008	0,0031	0,0096	0,48
12,7	12,00	21-06531	29	0,939	464	612	1,32	15,7	OK	0,29	0,97	0,19	0,033	0,024	0,14	0,12	0,021	0,48	0,006	0,0026	0,0092	0,48
12,7	12,00	21-06532	10	0,936	456	609	1,34	15,3	OK	0,28	0,94	0,16	0,025	0,037	0,16	0,11	0,025	0,45	0,006	0,0024	0,0095	0,47
12,7	12,00	21-06533	24	0,938	446	597	1,34	15,9	OK	0,28	0,95	0,19	0,025	0,021	0,14	0,11	0,022	0,40	0,006	0,0023	0,0060	0,47
12,7	12,00	21-06534	48	0,936	467	632	1,35	16,1	OK	0,30	0,94	0,19	0,029	0,013	0,16	0,17	0,035	0,48	0,005	0,0034	0,0061	0,49
12,7	12,00	21-06535	37	0,938	447	602	1,35	16,3	OK	0,29	0,95	0,18	0,026	0,026	0,13	0,13	0,021	0,39	0,005	0,0027	0,0062	0,48
12,7	12,00	21-06528	14	0,937	457	619	1,35	15,6	OK	0,30	0,95	0,17	0,018	0,023	0,13	0,12	0,034	0,42	0,005	0,0023	0,0064	0,49
12,7	12,00	21-06532	25	0,939	467	613	1,31	15,7	OK	0,28	0,94	0,16	0,025	0,037	0,16	0,11	0,025	0,45	0,006	0,0024	0,0065	0,47
12,7	12,00	21-06537	52	0,938	471	623	1,32	15,1	OK	0,29	0,96	0,19	0,020	0,022	0,13	0,12	0,023	0,42	0,006	0,0022	0,0060	0,48
12,7	12,00	21-06538	55	0,939	473	621	1,31	15,8	OK	0,28	0,96	0,18	0,020	0,034	0,13	0,10	0,022	0,51	0,006	0,0022	0,0069	0,47
12,7	12,00	21-06539	58	0,946	465	634	1,36	17,1	OK	0,30	0,96	0,22	0,032	0,010	0,13	0,12	0,019	0,49	0,005	0,0034	0,0060	0,49
12,7	12,00	21-06540	23	0,940	482	637	1,32	16,1	OK	0,28	0,92	0,15	0,028	0,013	0,12	0,13	0,018	0,44	0,005	0,0023	0,0060	0,47
			431																			
15,9	8,00	21-07203	42	1,475	487	622	1,26	15,5	OK	0,29	0,98	0,14	0,020	0,027	0,12	0,10	0,018	0,34	0,005	0,0023	0,0064	0,47

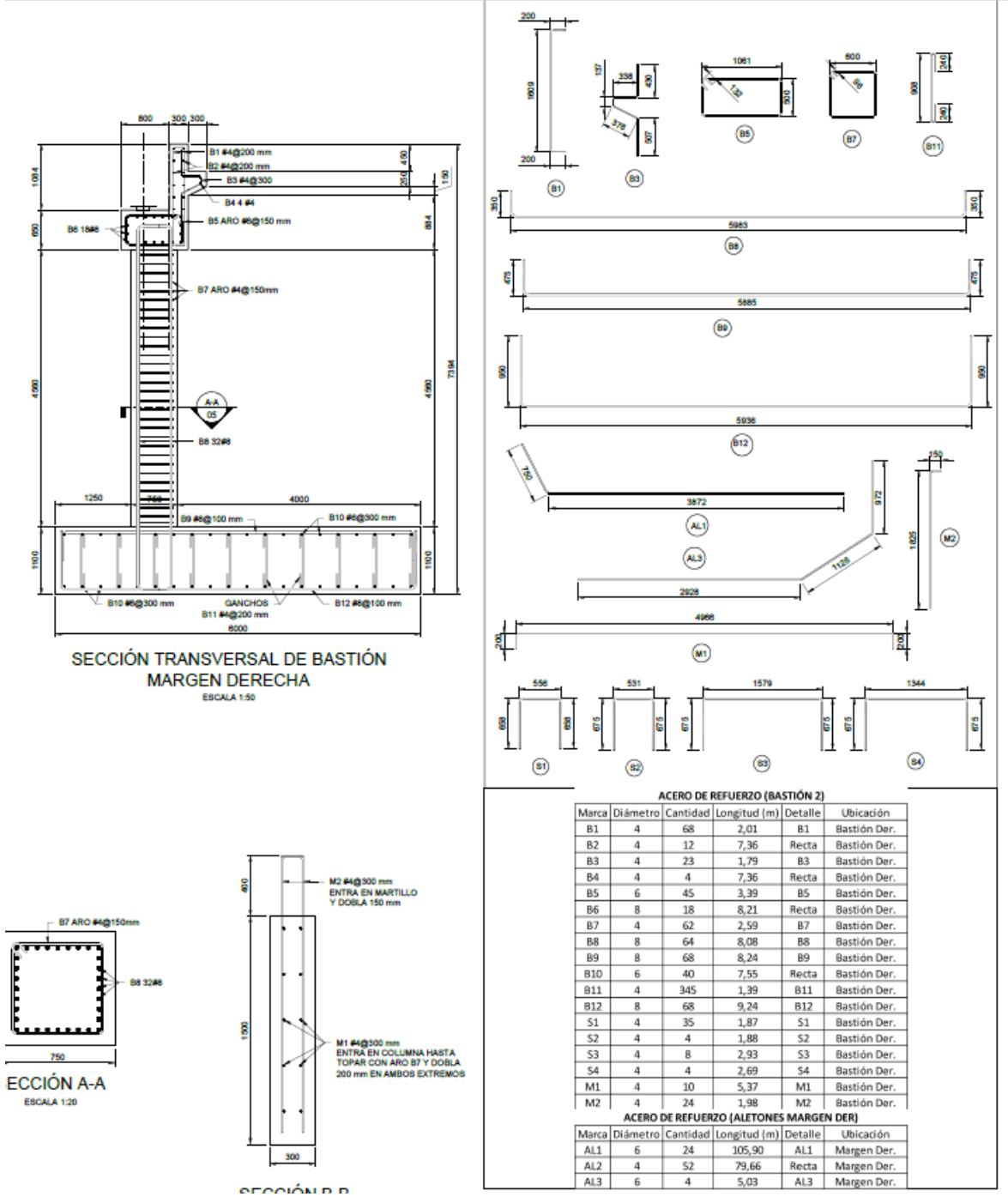
5.3.6 Eurobau, 2022, Ejemplo de Despiece



Componentes	Codigo	Dimensiones variables								bolillo	Vanilla Nº	Grado	Longitud (m)	Cantidad	Longitud total (m)	Peso (kg)	# de muestras /campo
		a	b	c	d	e	f	g	h								
	A-1	0.300	0.200	0.090	0.200	0.100	1.150			0.04	3	60	3.200	68	217.000	121.871	
	A-6	0.300	0.200	0.258	0.200	0.100	1.350			0.04	3	60	3.600	2	7.200	4.033	
	A-7	0.300	0.200	0.216	0.200	0.100	1.300			0.04	3	60	3.500	1	3.500	1.960	
	A-8	0.300	0.200	0.174	0.200	0.100	1.266			0.04	3	60	3.430	1	3.430	1.921	
	A-9	0.300	0.200	0.131	0.200	0.100	1.230			0.04	3	60	3.360	1	3.360	1.882	
	A-10	0.300	0.200	0.103	0.200	0.100	1.196			0.04	3	60	3.290	1	3.290	1.843	
	A-11	0.300	0.200	0.221	0.200	0.100	1.312			0.04	3	60	3.530	1	3.530	1.977	
	A-12	0.300	0.200	0.203	0.200	0.100	1.294			0.04	3	60	3.490	1	3.490	1.955	
	A-13	0.300	0.200	0.185	0.200	0.100	1.270			0.04	3	60	3.440	1	3.440	1.927	
	A-14	0.300	0.200	0.168	0.200	0.100	1.230			0.04	3	60	3.360	1	3.360	1.882	
	A-15	0.300	0.200	0.150	0.200	0.100	1.208			0.04	3	60	3.320	1	3.320	1.859	
	A-16	0.300	0.200	0.132	0.200	0.100	1.188			0.04	3	60	3.280	1	3.280	1.837	
	A-17	0.300	0.200	0.114	0.200	0.100	1.167			0.04	3	60	3.235	1	3.235	1.812	
	A-18	0.300	0.200	0.097	0.200	0.100	1.148			0.04	3	60	3.196	1	3.196	1.790	
	A-27	0.300	0.200	0.097	0.200	0.100	1.158			0.04	3	60	3.220	1	3.220	1.803	

Componentes	Codigo	Dimensiones variables		bolillo	Vanilla Nº	Grado	Longitud (m)	Cantidad	Longitud total (m)	Peso (kg)	# de muestras /campo
		a	b								
			E-1								
E-2	1.400	0.200		4	60	1.570	2	3.140	3.126		
E-3	0.840	0.200		4	60	1.060	6	6.000	5.974		

5.3.7 Meco, 2021, Ejemplo de Despiece



5.4 Imágenes

5.4.1 Imagen 1, Proyecto La Bandera, Banco de Doblado Manual, autoría propia



5.4.2 Imagen 2, Proyecto La Bandera, amarras en armadura, autoría propia



5.4.3 Imagen 3, Proyecto La Bandera, amarras en armadura, autoría propia



5.4.4 Imagen 4, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, amarras en armadura, autoría propia



5.4.5 Imagen 5, Proyecto La Bandera, armadura con recubrimiento, autoría propia



5.4.6 Imagen 6, Proyecto Puesto Saprissa, levantamiento de armaduras, autoría propia



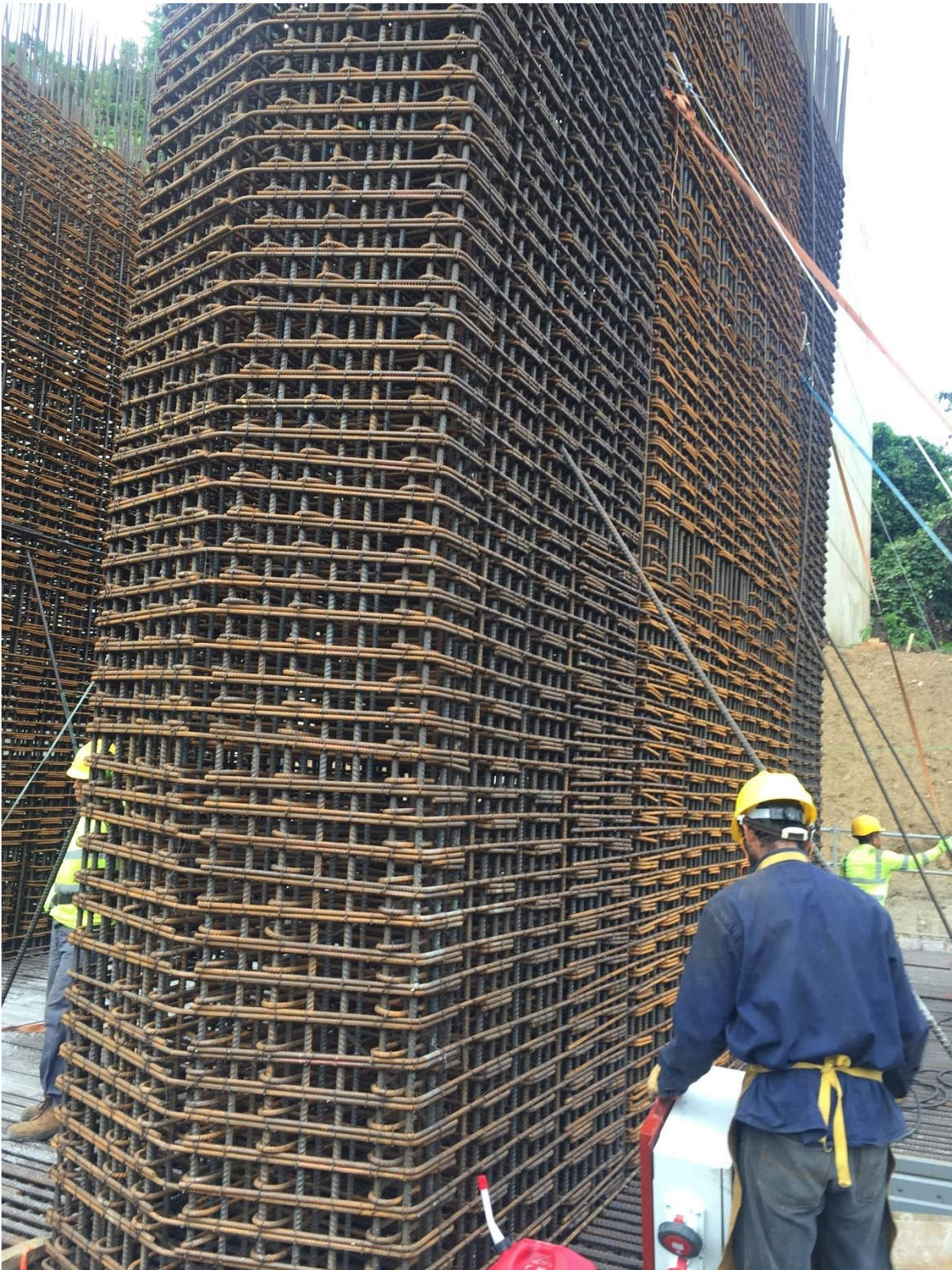
5.4.7 Imagen 7, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, levantamiento de armaduras, autoría propia



5.4.8 Imagen 8, Proyecto La Bandera, barra de apoyo para la armadura, autoría propia



5.4.9 Imagen 9, Proyecto Paso a desnivel Guadalupe, barras de apoyo para la armadura, autoría propia



5.4.10 Imagen 10, Ampliación paso Firestone, losa de fundación, autoría propia



5.4.11 Imagen 11, Ampliación paso Firestone, armado de columna, autoría propia



5.4.12 Imagen 12, Ampliación paso Firestone, armado de columna, autoría propia



5.4.13 Imagen 13, Ampliación paso Firestone, armado de pedestal, autoría propia



5.4.14 Imagen 14, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia



5.4.15 Imagen 15, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia



5.4.16 Imagen 16, Pilotes de CR, armado de pilotes, autoría propia



5.4.17 Imagen 17, Casa Hacienda Los Reyes, armado de columna, autoría propia



5.4.18 Imagen 18, Casa Hacienda Los Reyes, armado de pedestales en serie, autoría propia



5.4.19 Imagen 19, Casa Hacienda Los Reyes, armadura de pedestal, autoría propia

