



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO®

Instituto Tecnológico de Ciudad Guzmán



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CD. GUZMÁN

TESIS

TEMA:

**ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE POSTES
DE CONCRETO REFORZADO DE SECCIÓN OCTAGONAL
EMPLEADOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

MONSERRAT GUADALUPE DE LA CRUZ RAMÍREZ

ASESOR:

DR. JOSÉ ABEL CHOCOTECO CAMPOS

CD. GUZMÁN JALISCO, MÉXICO, FEBRERO DE 2020



"2020, Año de Leona Vicario, Benemérita de la Patria"

Cd. Guzmán, Jal. a **24/FEBRERO/2020**

ASUNTO: Liberación de proyecto para Titulación Integral, Tesis

M.I.E. FAVIO REY LUA MADRIGAL
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
PRESENTE

Por medio este medio informo a Usted que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral, Tesis:

Nombre del Egresado (a)	MONSERRAT GUADALUPE DE LA CRUZ RAMÍREZ
Carrera	INGENIERÍA INDUSTRIAL
No. De Control	15290552
Nombre del Proyecto	"ESTANDARIZACIÓN DEL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO DE SECCIÓN OCTAGONAL EMPLEADOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA."
Producto	TESIS

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados (as).

ATENTAMENTE:


DRA. MARIA MOJARRO MAGAÑA
RESPONSABLE DEL DEPTO. DE INGENIERÍA INDUSTRIAL


SEP TecNM
I. T. DE CD. GUZMÁN
ING.
INDUSTRIAL

		
DR. JOSE ABEL CHOCOTECO CAMPOS ASESOR (A)	DR. GONZALO PARTIDA OCHOA REVISOR (A)	DR. RUBEN JESUS PEREZ LOPEZ REVISOR (A)



Agradecimientos

A mi familia por ser los principales promotores de mis objetivos, por confiar y creer en mi y en mis expectativas y por apoyarme en cada momento de mi vida y mi formación académica.

Al Ing. David Muñoz, a Miguel Rodríguez, a la empresa Centrifugados Mexicanos y a todos sus colaboradores por haberme brindado la oportunidad de crecer profesionalmente y la confianza para desarrollar el presente proyecto. Por compartirme de sus conocimientos y amistad.

Al Dr. José Abel Chocoteco por aceptar ser mi asesor, por su orientación y atención a mis consultas sobre metodología, las sugerencias recibidas y la revisión que ha realizado de este proyecto.

A mi institución educativa el Instituto Tecnológico de Cd. Guzmán por mi formación integral como Ingeniera Industrial.

Dedicatoria

A mi compañero de vida Roberto, por siempre motivar mi superación, sobre todo por apoyarme en las buenas y en las malas, por tu paciencia y amor incondicional. Te agradezco por compartirme tus conocimientos de ingeniería, por los aportes y respaldo no solo para el desarrollo de mi proyecto, sino también para mi vida.

A mis padres José y Guadalupe; a mi hermano Christopher por darme la oportunidad de una excelente educación, por los valores y principios que me han inculcado, como el ejemplo de esfuerzo que me ha permitido llegar a cumplir un sueño más.

A mi hijo Paúl por ser la fuente de mi esfuerzo y el motor de mi vida por su cariño, amor y comprensión por los momentos sacrificados en nuestra vida como familia.

Resumen

En la actualidad, los postes para la distribución de energía eléctrica, telefonía y telecomunicaciones son fabricados de concreto reforzado por su elasticidad, resistencia a la corrosión y a las condiciones ambientales adversas. Otra razón sustancial de usar postes de concreto es su mantenimiento, el cual es casi nulo en comparación con los postes de madera, los cuales se dañan con facilidad y necesitan mantenimiento continuo.

En México muchas empresas se dedican a la fabricación de postes de concreto, entre ellas se encuentra la empresa Centrifugados Mexicanos S.A. de C.V., donde la familia de postes de concreto reforzado se encuentran entre los productos con mayor demanda, lo que hace que la empresa posea un valor importante en la red de distribución de energía eléctrica en el país y tenga la responsabilidad de fabricar productos de calidad que cumplan con las especificaciones y requerimientos solicitados y que garanticen la seguridad de los usuarios.

En la presente tesis se propone la estandarización del diseño y fabricación de postes de concreto reforzado de sección octagonal empleados en la distribución de energía eléctrica que se fabrican en la empresa Centrifugados Mexicanos S. A. de C. V. planta Zapopan, con el fin de controlar la variación de los consumos de materiales para que los productos cumplan con los estándares de calidad y con las necesidades del cliente sin afectar los costos de fabricación de los mismos.

Para desarrollar esta investigación se consultaron las normas y especificaciones de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), quien es el organismo encargado de proporcionar los estudios para las pruebas de calidad de los productos. A partir del análisis de la información obtenida se diseñaron planos de ingeniería que aportaran

información para la fabricación de los productos. Además, se calcularon los consumos de materiales teóricos por medio de formulación de modelos matemáticos y los resultados se compararon con los datos registrados en el sistema de la empresa ERP (por sus siglas en inglés, Enterprise Resource Planning). Finalmente, se estudiaron las desviaciones obtenidas, las cuales demuestran que el implementar la propuesta presentada en esta tesis puede significar un importante ahorro en los consumos de materiales. Un análisis de costos llevado a cabo y presentado al final de esta investigación revela que con las longitudes que se proponen para el escantillo de alambre calibre 8 en los anillos es posible obtener un ahorro de \$35,652.52, mientras que para zunchado en postes de 9, 12 y 13 metros grado 42 se puede obtener un ahorro de \$291,464.66 al año, tan solo en la planta Zapopan.

Abstract

Currently, posts that distribute electricity, telephony, telecommunications are fabricated using concrete; reinforced by its elasticity, and resistant to corrosion and adverse environmental conditions. Another reason is its maintenance, which is nearly null in comparison to wooden posts that are easily damaged and require constant maintenance.

In Mexico, there are many trademarks dedicated to the fabrication of concrete posts. One of those companies is Centrifugados Mexicanos S.A. De C.V. The reinforced concrete posts have the highest demand, They provide electricity to the country and to make quality products to guarantee the public's safety.

This thesis raises the standard of the octagonal design of the concrete posts tasked in the distribution of electricity made by Centrifugados Mexicanos S.A. A de C.V. with the notion that the use of materials for the products meet the standard of quality and the needs of the client without affecting the cost of fabrication.

To develop this investigation, the standards and specifications set forth by the Comisión Federal de Electricidad (CFE); the governing body that studies the quality of the concrete posts; will be used. From the analysis of information obtained, blueprints were designed that contribute information for fabricating the concrete posts. In addition, the amount of materials to be used can be calculated theoretically using mathematical formulas. Those results are compared with the data registered in the system of Enterprise Resource Planning (ERP).

Finally, the deviations are studied that are planned to be implemented could be a significant savings of material as presented in this thesis. An analysis of costs to fabricate the post according to this investigation reveal that the grade 8 rebar for the

rings could have a savings of \$35,652.52 and for the posts of 9, 12, and 13 grade 42, an annual savings of \$291,464.66 could be obtained.

Índice general

Lista de figuras	XIII
Índice de tablas	XVII
1. Introducción	1
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo General	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
1.3. Justificación	6
1.4. Hipótesis	6
2. Normas y especificaciones para la fabricación de postes de concreto	9
2.1. Normas y especificaciones que aplican en los productos	9
2.2. Estructura del producto BOM (Bill Of Materials, por sus siglas en inglés) .	12
2.3. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 9C-400	13
2.4. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 12C-750	16
2.5. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 13C-600	18
2.6. BOM de Concreto Reforzado G60 PCR- 12-750	20
2.7. BOM de Concreto Reforzado G60 PCR- 13-600	22
3. Materiales empleados en la elaboración de postes de concreto	25
3.1. Materiales empleados en la fabricación de postes de concreto reforzado .	25
3.1.1. Concreto	25

3.1.1.1.	Cemento	27
3.1.1.2.	Agua	29
3.1.1.3.	Agregados Pétreos	31
3.1.1.4.	Aditivos	32
3.1.2.	Acero	34
3.1.2.1.	Refuerzos de acero	34
3.1.2.2.	Anillos de alambre pulido calibre 8	35
3.1.2.3.	Varillas de acero para refuerzo longitudinal	36
3.1.2.4.	Zunchado de alambre pulido calibre 11 para refuerzo transversal	37
3.1.2.5.	Poliducto para canalización a tierra	38
3.1.2.6.	Varilla de acero para U's	39
4.	Procedimientos constructivos	41
4.1.	Elaboración del concreto con dosificadora	41
4.2.	Corte de varilla, alambre y fabricación del armado para poste de concreto reforzado	43
4.2.1.	Habilitado y corte de varilla	43
4.2.2.	Corte de alambre recocido calibre 18 para amarres	44
4.2.3.	Fabricación de anillos	45
4.2.4.	Fabricación "U" de varilla	47
4.2.5.	Fabricación de Armado	48
4.2.6.	Zunchado	49
4.3.	Traslado del armado hacia colado y su posicionamiento en molde. Parado, colado y marcado del producto	51
4.3.1.	Parado de molde	51
4.3.2.	Colado del molde	52
4.3.3.	Pulido del poste	53
4.3.4.	Colocación del punto de equilibrio, nomenclatura y retiro de alma	54
4.4.	Traslado a pre-estibas, tapado y liberación del producto	54

<i>ÍNDICE GENERAL</i>	XI
4.4.1. Pre-estiba	54
4.4.2. Curado	55
4.4.3. Liberación del producto	55
4.5. Diagrama de Flujo del proceso de fabricación de Poste de Concreto . . .	56
5. Control de calidad	59
5.1. Pruebas de aceptación	60
5.1.1. Preparación para pruebas	61
5.1.2. Pruebas de flexión estática	62
5.1.3. Pruebas de ruptura	63
5.2. Procedimiento para el control del producto no conforme	65
5.3. Clasificación de defectos	65
6. Formulación del modelo matemático	69
6.1. Modelo matemático para consumo de alambre calibre 8	69
6.2. Desarrollo de modelo matemático para consumo de alambre calibre 11 .	79
6.3. Aplicación del modelo matemático	81
7. Resultados	83
7.1. Generación de planos de ingeniería	83
7.2. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 8 para anillos	88
7.2.1. Poste de concreto reforzado PCR- 9C-400	88
7.2.2. Poste de concreto reforzado PCR- 12C-750	89
7.2.3. Poste de concreto reforzado PCR- 13C-600	90
7.2.4. Poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60	91
7.2.5. Poste de concreto reforzado- 13-600 G60	92
7.3. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 8 para cuadros	93
7.4. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 11 para re-	
fuerzo transversal y zunchado	94
7.4.1. Poste de concreto reforzado PCR- 9C-400	94
7.4.2. Poste de concreto reforzado PCR- 12C-750	95

7.4.3. Poste de concreto reforzado PCR- 13C-600	96
7.4.4. Poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60	97
7.4.5. Poste de concreto reforzado- 13-600 G60	97
7.5. Análisis de costo anual de consumo de alambre para anillos	100
7.6. Análisis de costo anual de consumo de alambre para zunchado	101
8. Conclusiones	103
Fuentes de información	104

Índice de figuras

1.	Familia de productos fabricados en la empresa CENMEX.	XXVI
2.	Familia de postes de concreto fabricados en la empresa CENMEX.	XXVI
2.1.	Planos de especificación para postes de concreto reforzado PCR- 9C- 400 de 9 metros.	15
2.2.	Planos de especificación para postes de concreto reforzado PCR- 12C- 750 de 12 metros.	17
2.3.	Planos de especificación para postes de concreto reforzado PCR- 13C- 600 de 13 metros.	19
2.4.	Planos de especificación para postes de concreto reforzado G60 PCR- 12-750 de 12 metros.	21
2.5.	Planos de especificación para postes de concreto reforzado G60 PCR- 13-600 de 13 metros.	23
4.1.	Dosificadora de concreto.	42
4.2.	Traslado de la varilla a la zona de corte.	43
4.3.	Corte de varillas.	44
4.4.	Corte de alambre calibre 18.	44
4.5.	Cortado de alambre con una guillotina.	45
4.6.	Doblado del alambre en forma de “U” usando una guía de doblado.	45
4.7.	Corte de alambre calibre 8 utilizando escantillón de referencia.	46
4.8.	Troquelado de alambre calibre 8.	46
4.9.	Doblado en forma de anillo del alambre calibre 8 troquelado.	47

4.10. Doblado de varilla en forma de "U" con ayuda de las referencias de la mesa de doblado.	47
4.11. Fabricación del armado.	48
4.12. Colación de U's en las puntas del armado.	49
4.13. Ubicación de poliducto en armado.	49
4.14. Zunchado realizado con maquina zunchadora.	50
4.15. Tejido del espiral de zunchado con alambre recocido.	50
4.16. Aplicación de desmoldante en moldes para poste.	51
4.17. Traslado de armado con ayuda de grúa viajera.	52
4.18. Colado de postes con contenedor de concreto móvil.	53
4.19. Pulido de poste de concreto.	54
4.20. Traslado de poste terminado a estibas.	55
4.21. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del poste concreto reforzado 1/2.	57
4.22. Diagrama de flujo del proceso de fabricación del poste concreto reforzado 2/2.	58
5.1. Patines con ruedas embaladas.	61
5.2. Mesa de pruebas.	62
5.3. Pruebas de flexión estática.	63
6.1. Vista Longitudinal del poste.	70
6.2. Representación de anillo.	71
6.3. Representación de longitud troquelada.	71
6.4. Dimensiones auxiliares para Tabla 6.1	72
6.5. Longitudes auxiliares para cálculo de media muesca de la Tabla 6.2.	73
6.6. Diámetro de arco a arco.	76
6.7. Cuadro en corte transversal en el poste de concreto.	77
6.8. Longitudes para realizar los cálculos correspondientes.	78
6.9. Relación entre las variables r , θ y L	79
6.10. Longitud de un arco en función del radio variable.	80

6.11. Vista frontal del desarrollo del zunchado de manera cónico helicoidal. . .	81
6.12. Longitud total desarrollada.	81
7.1. Plano de ingeniería 01.	86
7.2. Plano de ingeniería 02.	87
7.3. Zunchado del poste de concreto reforzado PCR- 9C-400.	95

Índice de tablas

1. Desviaciones de los materiales por planta en postes de concreto reforzado PCR-13-600.	XXVIII
2.1. Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 9C-400 de 9 metros.	14
2.2. Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 12C-750 de 12 metros.	16
2.3. Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 13C-600 de 13 metros.	18
2.4. Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado G60 PCR-12-750 de 12 metros.	20
2.5. Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado G60 PCR-13-600 de 13 metros.	22
3.1. Tipos de cemento “Portland”.	29
3.2. Usos del agua en el cemento.	30
3.3. Clasificación de aditivos según la norma NMX-C-255-ONNCCE-2006 Industria de la construcción-aditivos para concreto. Muestreo y métodos de prueba.	34
3.4. Ubicación de anillos para poste octogonal.	35
3.5. Especificación varilla corrugada.	36
3.6. Dimensiones de varilla para postes.	37
3.7. Paso de zunchado de espiral armados para poste octogonal.	38
3.8. Colocación de poliducto en armados de poste octogonal.	39

3.9. Colocación de varillas en punto de armado.	39
5.1. Poste de concreto reforzado tipo costa y no costa.	64
5.2. Defectos críticos.	66
5.3. Defectos mayores.	67
5.4. Defectos menores.	67
6.1. Cálculo de longitud lisa de anillos.	72
6.2. Ejemplo de cálculo para obtener longitud de media muesca.	73
6.3. Cálculo de longitud de diámetro de arco a arco.	76
6.4. Calculo de la longitud de alambre para cuadros.	77
6.5. Cálculo de zuncho poste PCR-13-600.	82
7.1. Especificación CFE J6200-03 postes de concreto.	84
7.2. Procedimiento para la fabricación, almacén y carga al cliente del poste de concreto reforzado octagonal.	84
7.3. Calculo de longitud de alambre para anillos para poste de concreto re- forzado PCR- 9C-400.	89
7.4. Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto refor- zado PCR- 12C-750.	90
7.5. Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto refor- zado PCR- 13C-600.	91
7.6. Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto refor- zado PCR- 12-750 G60.	92
7.7. Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto reforzado- 13-600 G60.	93
7.8. Cálculo de longitud de alambre para cuadros.	94
7.9. Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste PCR- 9C-400. 95	
7.10. Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 12C-750.	96
7.11. Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 13C-600.	96

7.12. Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60.	97
7.13. Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado- 13-600 G60.	98
7.14. Vueltas de acuerdo al paso.	98
7.15. Muestreo de vueltas en 100 cm.	100
7.16. Análisis de consumo anual de alambre para anillos.	100
7.17. Análisis de consumo anual de alambre para cuadros.	101
7.18. Análisis de consumo anual de alambre para zunchado.	101

Acrónimo

BOM Bill Of Materials.

CENMEX Centrifugados Mexicanos.

CFE Comisión Federal de Electricidad.

ERP Enterprise Resource Planning.

LAPEM Laboratorio de Pruebas Equipos y Materiales (Organización de la CFE).

PCR Poste de concreto reforzado.

PCRGR Poste de concreto reforzado con acero de refuerzo grado 60.

SIEM Sistema de Información Empresarial Mexicano.

Glosario

Acero Grado 60: Acero con una resistencia de fluencia mínima de 60 Kg/mm².

Acero de refuerzo: Elemento de acero al carbón liso o corrugado fabricado para usarse como refuerzo del concreto y para resistir principalmente esfuerzos de tensión.

Alambre: Hilo de acero obtenido de un metal fundido.

Alma: Cimbra interna del molde de poste octagonal.

Anillo: Acero de refuerzo transversal que se coloca en los armados o castillos de los postes, conformado por un alambre pulido calibre 8 elaborado en forma circular con muescas equidistantes para la distribución de varillas.

Bomba de aspersión: Equipó manual utilizado para rociar desmoldante al molde.

Calibre: Designación numérica del diámetro nominal del alambre.

Canalización: Conjunto de dispositivos empleados en instalaciones eléctricas para contener y sujetar conductores. Canal cerrado de materiales metálicos o no-metálicos diseñado para contener alambres, cables o barras conductoras.

Castillo: Armado del castillo sin zunchado.

Colado: Acción de vaciar o verter una mezcla semilíquida para que después se endurezca, en un molde o recipiente predeterminado.

Curado: Acción de mantener húmedo el concreto en edad temprana o recién fraguado, evitando con esto grietas por contracciones, variaciones drásticas de temperatura y ayudando a lograr una mejor resistencia.

Desmoldante: Mezcla de componentes químicos que sirve para evitar que se pegue el concreto al molde.

Embalaje: Elementos de protección del bien mueble para su transporte, recepción y almacenamiento hasta su utilización.

Escantillón de soporte: Herramienta de lámina, utilizada para evitar desplazamientos de las varillas del armado

Escantillón visual: Patrón de longitud, generalmente metálico, que tiene grabada la posición métrica para la composición del armado.

Estiba: Cantidad y forma de acomodar un tipo de producto en el almacén.

Marcado: Acción de plasmar la nomenclatura y la serie.

Serie: Se le nombra al marcado en bajo relieve del número asignado a los productos fabricados.

Poliducto: Canal semirrígido, liso aprobado para la instalación de conductores fabricado a base de polietileno de baja densidad eléctricos.

Separador: Cable de acero (cable boa) para lograr que el acero de refuerzo quede a la distancia que la especificación indica.

Varilla corrugada: Barra de acero especialmente fabricada para usarse como refuerzo del concreto y cuya superficie está provista de salientes llamadas corrugaciones, las cuales sirven para inhibir el movimiento longitudinal relativo entre la varilla y el concreto que la rodea.

Vibradores: Aparatos eléctricos de eje excéntrico (fuera del centro), que al ser operados producen una fuerte vibración, la cual origina la compactación del concreto.

Zunchado: También se le nombra espiral y es el acero de refuerzo transversal de alambre pulido calibre 11 (3.05 mm) que se enrolla de forma helicoidal (como resorte) sobre el acero de refuerzo longitudinal (varillas).

Prefacio

En nuestro país existen muchas empresas dedicadas a la fabricación de postes de concreto para redes Eléctricas, una de ellas es la empresa Centrifugados Mexicanos S.A. de C.V. (CENMEX), ubicada en el kilómetro ocho de la carretera Zapopan – Tesistán, en la colonia Tesistán, del municipio de Zapopan Jalisco. Esta investigación está basada en los procesos de fabricación de postes de concreto de dicha empresa, dedicada a la elaboración de productos prefabricados de concreto hidráulico y concreto polimérico para obra civil, eléctrica y de comunicaciones, además cuenta con materiales complementarios para estos tres rubros. Por políticas de confidencialidad de la empresa, en esta investigación no se revela información en determinados aspectos, por lo que queda prohibida su reproducción total o parcial fuera de CENMEX. Sin embargo, ello no obstaculiza el desarrollo de la misma, ni la propuesta que se presenta en esta investigación.

La familia de postes de concreto reforzado se encuentra entre los productos con mayor demanda de fabricación en CENMEX, por lo que la empresa posee un valor importante dentro de la red de distribución de energía eléctrica y la responsabilidad de fabricar productos de calidad y seguros para el usuario. La Figura 1 muestra la familia de productos fabricados en la empresa CENMEX, donde se destaca que el 39.38 % de la fabricación de productos son postes de concreto.

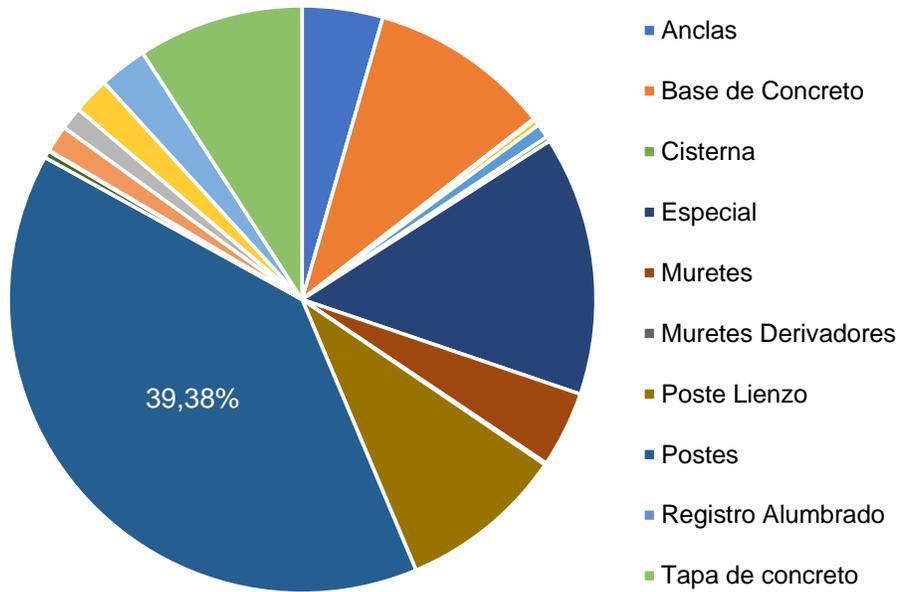


Figura 1: Familia de productos fabricados en la empresa CENMEX.

En la Figura 2 se muestra la descripción y el porcentaje de fabricación que tienen los postes de concreto en la empresa. Partiendo de esta información, se definió que esta investigación se enfocara en los cinco con mayor fabricación, que juntos son el 87.35% de la producción de postes de concreto.

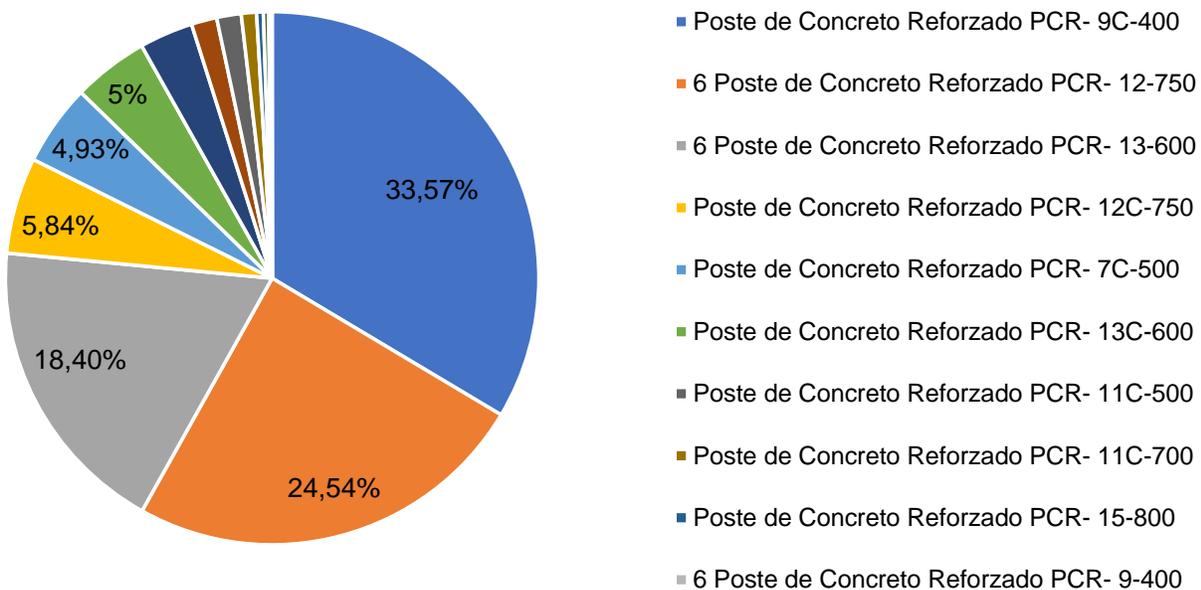


Figura 2: Familia de postes de concreto fabricados en la empresa CENMEX.

Uno de los principales problemas que se tiene en la empresa es que la información para la fabricación de armados en postes de concreto no esta debidamente estandarizada. La antigüedad promedio de los trabajadores en la empresa es de 16 años. Confiados en tal experiencia de sus trabajadores, los directivos no han mostrado interés en elaborar documentos que respalden el proceso de fabricación de postes. Sin embargo, es bien sabido que no tener documentos de apoyo podría ocasionar que al integrar nuevos operadores no se obtenga el mismo porcentaje de productividad. Cuando una persona se incorpora a una organización, o cuando se releva algún puesto de trabajo resulta de mucha utilidad disponer de información soporte que permita simplificar las actividades de formación inicial y ayude a los trabajadores de recién incorporación al puesto, facilitando su adaptación y ayudándoles a familiarizarse con sus nuevas tareas, identificar sus funciones y responsabilidades, así como conocer la estructura y cultura de la organización [1].

CENMEX cuenta con 12 plantas productivas en todo el territorio nacional, sin embargo, en cada una de ellas el proceso de fabricación los postes de concreto reforzado varia, aun tratándose de un mismo producto, como se muestra en la Tabla 1. Desperdiciar y/o usar menos o más cantidad de material puede ocasionar que los productos no cumplan con el estándar y las pruebas de control de calidad, lo cual puede repercutir en la confianza y economía de la empresa.

El registro de datos en el sistema ERP pretende crear un estándar en los consumos de materiales necesarios para la fabricación de los distintos productos, pero cada una de las plantas productivas de la empresa contaba con acceso a la edición de los datos registrados en una versión anterior del sistema ERP. Esto ha provocado que haya diferencias en la fabricación de los distintos productos, ya que no se tiene un estándar nacional, lo cual puede provocar el rechazo e inconformidad del cliente (la CFE) reflejándose en perdidas monetarias en la empresa. Por tal razón, es necesario solucionar el problema estandarizando el diseño y fabricación de los postes de concreto con el fin de controlar los costos de fabricación.

		Desviaciones de lista de materiales por planta										
Poste de Concreto Reforzado PCR- 13-600		Plantas										
Código	Nombre	Unidad	Cuatiáhuc	Culiacán	Gdl	Hermosillo	Mérida	Mexicali	Monterrey	Toluca	Tuxtla	Villagrán
20008-G60	Armado para poste de concreto 13-600 GE	Pza	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25216-E1	Varilla 3/8 a 10.60 mts G60	Pza	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
25213-E1	Varilla 3/8 a 12.00 mts G60	Pza	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
25202-E4	Varilla 3/8 a 9.00 mts.	Kg	17.82	17.82	17.82	17.82		17.82	17.82	17.82	17.82	17.82
25301	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	2	2	1.8	2.5	1.8	1.8	1.3	1.8	1.8	1.3
25302	Alambre Pulido Calibre 11	Kg	10.6	10.6	11	13.5	11	11	11	11	13.5	10.6
25304	Alambre Recocido calibre 18	Kg	1.2218	1.2218	1.222	1.2218	1.2218	1.2218	1.2218	1.2218	1.2218	1.2218
25904	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.1026	0.1026	0.103	0.1026	0.103	0.1026	0.1026	0.1026	0.1026	0.1026
25059	Concreto 300 kg/cm ² postes	m ³	0.4974	0.4974	0.497	0.4974	0.4974	0.4974	0.4974	0.4974	0.4974	0.4974
30606	Desmoldante biodegradable	Lt	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.69	0.78	0.69
25217-E1	Varilla 3/8 a 11.95 mts G60	Pza				8				8		
25202	Varilla de 3/8 a 12 Mts.	Kg					17.82					

Tabla 1: Desviaciones de los materiales por planta en postes de concreto reforzado PCR-13-600.

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción

El mundo tiene una fuerte dependencia de la energía eléctrica, es inimaginable lo que sucedería sin ella. Está fuera de cualquier discusión la enorme importancia que el suministro de electricidad tiene para el hombre, que le hace comfortable la vida cotidiana en los hogares, que mueve efectivamente el comercio y que hace posible el funcionamiento de la industria de la producción. El desarrollo de un país depende de su grado de industrialización y este a su vez necesita de las fuentes de energía, especialmente de la energía eléctrica [2].

La evolución de la humanidad no se podría comprender sin la electricidad, en la actualidad los sistemas eléctricos de distribución de energía requieren de múltiples componentes estructurales para lograr el objetivo de transmitir la energía desde los centros de generación hasta el usuario final [3]. Este desarrollo ha impulsado la creación de productos de concreto en los cuales los postes de concreto son parte esencial para tal desarrollo. Los espacios públicos tales como carreteras, caminos, zonas comerciales y recreativas cuentan con postes no solo para sostener cables de electricidad, comunicaciones, sino también para el alumbrado publico, lo que permite, por ejemplo, que las personas puedan realizar actividades sin tener que depender de la luz solar como era en el pasado, haciendo que la sociedad pueda aprovechar más el tiempo libre que tienen por las noches para realizar actividades recreativas, deportivas

y de interacción social.

La situación de desigualdad en el acceso a la energía eléctrica, afecta de alguna manera a un porcentaje de la población en casi todos los países latinoamericanos. Donde es responsabilidad de sus gobiernos establecer estrategias para ir ampliando el acceso a la energía eléctrica hasta cubrir el 100 % de la población. En el caso de México, como resultado de las acciones emprendidas entre los años 2000 y 2005, el porcentaje de ocupantes en viviendas sin energía eléctrica disminuyó de 4.8 % a 2.5 % sin embargo, en 2005 aún existían más de 2.5 millones de personas sin acceso a la electricidad [4].

De acuerdo a datos más recientes, el 15 de abril del 2016 en el boletín N° 1343 de la cámara de diputados señaló que, en México, existían más de 500 mil viviendas sin electricidad, principalmente en comunidades indígenas y rurales [5]. En ese año, los estados con mayor porcentaje sin servicio eléctrico fueron: Veracruz con 13.9 %, Oaxaca 9.7 %, Chiapas 8.4 %, Guerrero 6.85 %, San Luis Potosí 5.24 %, Chihuahua 5.14 % y México 4.99 %, del total de hogares sin luz eléctrica. Baja California tiene un 1.74 % equivalente a 10,260 hogares que no disponen del servicio eléctrico [6]. Se puede afirmar que los estados que tienen más hogares sin servicio eléctrico, es porque las comunidades, se encuentran muy dispersas y están en terrenos de difícil acceso, sin caminos ni otro tipo de infraestructura, lo que dificulta la extensión de las líneas de electricidad. Los caminos rurales unen pueblos y comunidades al mercado regional; son caminos poco accesibles no pavimentados, son angostos y están alejados de las carreteras. En los últimos años, la construcción de caminos para las zonas rurales en el territorio nacional ha aumentado la demanda en postes de concreto ya que está asociado con el servicio de la extensión de electricidad y telecomunicaciones, los postes de concreto llevan cables eléctricos de media y baja tensión, Internet, cables de televisión y alumbrado público. Nuestro país necesita llevar la energía eléctrica cada vez a más personas en comunidades lejanas, comunidades que precisan tener viviendas con la infraestructura necesaria a su alrededor, caminos y carreteras para conectar más rápido y seguro los dos océanos, medios de comunicación para una mejor movilidad que nos brinde una mejor calidad de vida.

Los primeros postes que fueron utilizados para la distribución de energía eléctrica fueron elaborados de madera. Sin embargo, en la actualidad los postes son fabricados de concreto reforzado por su elasticidad, resistencia a la corrosión y a las condiciones ambientales adversas. Otra razón es su mantenimiento, el cual es casi nulo en comparación con los postes de madera, los cuales se dañan con facilidad y necesitan mantenimiento continuo. El poste de concreto reforzado tiene ventajas sobre los fabricados con madera, la principal desventaja para los postes de madera es que la extracción de materia prima que es usada para su fabricación perjudica a la cadena de conservación del medio ambiente, requiere de supervisión y de trámites ante las autoridades encargadas de la ecología mientras que el concreto es una materia prima que se produce en condiciones sustentables.

La calidad dentro de una empresa es un principio que lleva a la satisfacción de sus clientes, es necesario cumplir con los estándares de calidad para poder competir en el mercado por ello se debe de buscar la mejora continua, la satisfacción de los clientes, la estandarización y el control de los procesos. La norma ISO menciona que la política pública para el desarrollo empresarial y la competitividad asume y promueve la normalización de la gestión de la calidad como un mecanismo idóneo para la creación de ventajas competitivas en los mercados [7]. Al respecto, la Teoría de Recursos y Capacidades admite que la ventaja competitiva de la empresa tiene como base las actividades internas desarrolladas con eficiencia y que la gestión de calidad, como recurso controlable, guía a las empresas a ser más competitivas al canalizar las energías creativas de los administradores hacia el uso estratégico de los recursos [8]. No hay que olvidarse que para ser competitivo se requiere, escuchar al cliente y administrar las actividades que proporcionan valor y recursos, al mismo tiempo que se va eliminando todo lo que no agrega valor al producto. Lo ideal es basarse en la innovación, la rapidez, el servicio de gran calidad y el ritmo con el que se mejora y se aplica el conocimiento, lo que indica que las organizaciones deben operar sobre el precio y la calidad [9].

El hecho de poner algo por escrito ayuda a establecerlo en sistemático para llevarlo a cabo de forma ordenada. Si además esto se hace por consenso entre todas las

personas involucradas en el proceso, decidiendo entre todos cuál es la mejor forma de llevar a cabo la actividad, será mucho más fácil que el método que se decida documentar sea aprobado y seguido por todos y se evitará en gran medida que alguien pueda seguir un método diferente y desestabilizar el proceso [1]. Sin embargo, actualmente existe escasa información en la literatura sobre el diseño y la fabricación de postes de concreto. El estado del arte realizado en esta investigación da cuenta que no existen documentos o antecedentes importantes relacionados con este estudio, por lo que se convierte en un estudio pionero. Lo antes mencionado da pauta al desarrollo de la presente investigación cuyo propósito es revisar el proceso constructivo y los materiales utilizados en la fabricación de postes de concreto e implementar herramientas para el cálculo teórico de consumos de acero utilizado como refuerzo transversal y en los anillos. En este trabajo se presenta el diseño de planos de ingeniería con información clara y precisa para la fabricación de los postes de concreto que permita a los operarios fabricar el producto correctamente, lograr su estandarización y mejorar las condiciones de la empresa.

Además, en esta tesis se realiza un análisis económico y técnico para comparar los materiales consumidos actualmente en la empresa CENMEX con los calculados en esta investigación y las ventajas que se conseguirían al implantar su uso pretendiendo obtener productos que satisfagan las necesidades de los clientes, al menor costo posible y con los más estrictos niveles de calidad y funcionalidad, de manera que se logre minimizar las pérdidas monetarias a la empresa.

Esta tesis se conforma de ocho capítulos, en el Capítulo 1 se introduce al lector la importancia de los postes de concreto en la distribución de la energía eléctrica. Se menciona la problemática encontrada en la empresa CENMEX y el número de productos en los que se enfoca este estudio. En el Capítulo 2 se describen las normas y especificaciones que se deben seguir para dar cumplimiento en la fabricación de postes de concreto y se describe la estructura y la lista de materiales que conforman cada tipo de poste. En el Capítulo 3, con la finalidad de conocer los elementos que integran al poste de concreto, se señalan las características de los materiales empleados para su fabricación. El proceso de construcción del poste de concreto se menciona en el

Capítulo 4, a su vez describe las diferentes actividades de fabricación que se realizan y la representación de los procesos en diagramas de flujo. El Capítulo 5 presenta las pruebas de calidad inspeccionadas por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) realizadas en los postes de concreto que comprueban el cumplimiento a la Especificación así como del procedimiento para productos no conformes. En el Capítulo 6 se encuentra el desarrollo de los modelos matemáticos para conocer los consumos de alambre que se utilizan para la fabricación de los diferentes postes de concreto. Posteriormente, en el Capítulo 7, se redactan los resultados obtenidos con la aplicación de los modelos matemáticos y se presenta el análisis económico de los consumos teóricos calculados en comparación con los registrados en el sistema ERP, actualmente en la empresa. Finalmente, en el Capítulo 8 se presentan las conclusiones y beneficios obtenidos con los consumos propuestos para alambre calibre 8 y 11 utilizado para la fabricación de postes de concreto.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

El objetivo de esta investigación es estandarizar el diseño y fabricación de postes de concreto de sección octagonal fabricados en empresa Centrifugados Mexicanos S.A. de C.V. planta Zapopan para optimizar la cantidad de alambre usado en su elaboración mediante la implementación de herramientas que respalden sus diseños.

1.2.2. Objetivos Específicos

Como objetivos específicos se plantean los siguientes:

- Obtener modelos matemáticos para calcular el consumo de alambre para cada tipo de poste.
- Obtener el consumo de alambre para cada uno de ellos usando hojas de cálculo.
- Optimizar el consumo de alambre calibre 8 utilizado para la fabricación de anillos.

- Verificar que los postes de concreto cumplan con el paso de zunchado de acuerdo a la especificación CFE J6200-03.
- Crear planos de ingeniería con información clara y precisa para la fabricación de los productos.
- Crear un formato de planos de ingeniería y de fabricación propio para la empresa, que muestre la información necesaria y facilite su lectura.
- Realizar un análisis económico de los consumos de alambre.

1.3. Justificación

La implementación de planos de ingeniería es indispensable para lograr la estandarización de los postes de concreto reforzado de sección octagonal. Aplicar conocimientos de ingeniería como el diseño de planos de especificaciones técnicas y cálculos para conocer y comprobar los consumos teóricos de cada uno de los productos a estandarizar beneficia a la empresa Centrifugados Mexicanos y con ello tener información confiable en el sistema ERP, control en los costos de fabricación y disminuir la variación de la calidad de los productos, y al mismo tiempo satisfacer los requerimientos de los clientes.

La empresa Centrifugados Mexicanos se fundó en 1977, y hasta antes de la realización del presente trabajo no contaba con planos para la fabricación de postes de concreto reforzado de sección octagonal. Es aquí donde nació la idea de estandarizar los productos, con los que se generará información confiable para aprovechar al máximo las herramientas disponibles en el nuevo sistema ERP implementado.

1.4. Hipótesis

Calcular los consumos teóricos de alambre generará información confiable en el sistema ERP con la cual se podrá optimizar los materiales. La realización de planos de

ingeniería mediante estándares de cumplimiento adecuados generará valores acreditados y facilitará el entendimiento y capacidad de los operadores, lo cual reducirá la presencia de errores al fabricar postes de concreto, para cumplir con los estándares de calidad de las normas y especificaciones de la CFE.

Capítulo 2

Normas y especificaciones para la fabricación de postes de concreto

En la actualidad, las empresas se centran en la calidad del servicio con el fin de obtener mejores resultados en rentabilidad, prestigio, entre otros. La calidad en el servicio significa conformidad con las especificaciones de los clientes [10]. La CFE se creó con el objetivo de generar energía para abastecer un mercado en crecimiento, satisfacer la demanda de los consumidores de bajos ingresos, planear e integrar el servicio eléctrico en México y preparar un esquema que proporcione a la nación el control sobre sus recursos energéticos [11], por ello se convierte en el principal cliente para las empresas dedicadas a la distribución de energía eléctrica. Para la correcta fabricación de Postes de concreto es necesario consultar, respetar y aplicar las Normas Oficiales Mexicanas, Internacionales y especificaciones de la CFE.

2.1. Normas y especificaciones que aplican en los productos

Especificación J6200-03 Postes de Concreto. Su objetivo es establecer las características técnicas que deben cumplir los postes de concreto reforzado, pretensado y centrifugado y con refuerzo grado 60 utilizados como soportes de conductores eléctricos aéreos, equipos y sus accesorios [12].

PCM-7505 Procedimiento para fabricación, almacén y carga al cliente de poste

de concreto reforzado Octagonal. El objetivo es establecer los lineamientos para la fabricación, almacén y carga al cliente del poste de concreto reforzado. Las actividades contenidas en este procedimiento son de carácter mandatorio, dado que nos dan la pauta para el correcto cumplimiento de los requisitos especificados [13].

PCM-7512 Procedimiento para la fabricación de postes de concreto grado 6000.

Su objetivo es establecer los lineamientos para la fabricación, almacén y carga al cliente del poste de concreto reforzado grado 60. Este procedimiento es de alcance nacional aplicable para todas las plantas que tienen fabricación de postes de concreto reforzado grado 60 en la empresa CENMEX [14].

NMX-B-253-CANACERO-2013 Industria Siderúrgica - Alambre de Acero Liso o corrugado para Refuerzo de concreto - Especificación y Métodos de Prueba.

Esta norma mexicana establece las especificaciones y métodos de prueba para alambre de acero, liso o corrugado, estirado o laminado en frío Grado 50 y Grado 60. Es aplicable para alambre de acero, liso o corrugado, laminado en frío, de fabricación nacional o de importación, procedente de alambrón de acero al carbón, laminado en caliente, el cual se usa para refuerzo de concreto hidráulico. El alambre puede suministrarse en forma de rollos o tramos enrazados y usarse como tal o en forma de mallas, castillos y escale-rillas [15]. El alambre laminado es fabricado mediante un proceso de reducción en frío, a partir de otro alambre de mayor diámetro utilizado como materia prima (alambrón). El alambre laminado consta de un cuerpo de forma cilíndrica en cuya superficie se encuentra impreso un patrón de crestas con una disposición espacial predeterminada, denominadas corrugas, cuya función en este objeto es la de reforzar el anclaje mecánico de su superficie en el concreto, para las distintas aplicaciones para las cuales puede ser destinado [16].

NMX-B-072-CANACERO-2013 Industria Siderúrgica - Varilla Corrugada de Acero, Grado 60, Laminada en Frío para Refuerzo de Concreto - Especificaciones y Métodos de Prueba.

Esta Norma Mexicana establece las especificaciones y métodos para el alambre de acero, liso o corrugado, estirado o laminado en frío de Grado 60. Es aplicable para alambre de acero liso o corrugado, de fabricación nacional o de im-

2.1. NORMAS Y ESPECIFICACIONES QUE APLICAN EN LOS PRODUCTOS

portación, procedente de alambroón de acero al carbono, laminado en caliente, el cual se usa para refuerzo de concreto hidráulico. El alambre puede suministrarse en forma de rollos o tramos enderezados y usarse como tal o en forma de mallas, castillos, armaduras y escalerillas [17].

NMX-C-407-ONNCCE-2001 Industria de la Construcción - Concreto Hidráulico para Uso Estructural. En una gran mayoría de estructuras de concreto reforzado en México se emplea el acero de refuerzo que especifica la normativa mexicana NMX-C-407-ONNCCE-2001, la cual prácticamente sigue las especificaciones ASTM A615 (ASTM, 1992) [18]. Esta especificación habla sobre la varilla corrugada lámina en caliente grado 42 con resistencia a la fluencia de 4200 kg/cm², fabricada de acuerdo con la Norma NMX-C-407-ONNCCE-2001, utilizada para el refuerzo vertical de los muros, con diámetros que pueden ir desde No. 3 ($\varnothing = 9.53$ mm) al No. 4 ($\varnothing = 19.05$ mm) generalmente.

NMX-C-083-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción - concreto Determinación de la Resistencia a la Compresión de Cilindros de Concreto-Método de Prueba. Esta norma mexicana es aplicable a especímenes cilíndricos moldeados, corazones de concreto y cubos, con masa unitaria mayor a 900 kg/m³ [19].

NMX-C-088-ONNCCE-2018 Industria de la Construcción - gregados Determinación de Impurezas Orgánicas en el Agregado Fino Building Impurities In Fine Aggregate. Este Proyecto de Norma Mexicana establece el método de ensayo para determinar la presencia de materia orgánica dañina en Agregados finos que se usan para la fabricación de morteros o concretos de cemento hidráulico. Este ensayo permite determinar en forma aproximada el índice de contaminación y proporciona en su caso, una advertencia de que es necesario efectuar otros ensayos antes de su utilización [20].

NMX-C-111-ONNCCE-2014 Industria de la Construcción - Agregados para Concreto Hidráulico - Especificaciones y Métodos de Prueba. Esta Norma Mexicana establece las especificaciones y métodos de ensayo que deben cumplir los agrega-

dos naturales, procesados y mixtos de uso común para la producción de concretos de masa normal. Es aplicable a los agregados para concretos de masa unitaria normal (usualmente de 1 900 kg/m³ a 2 400 kg/m³), y de concretos de resistencias alta y normal, elaborados con agregados naturales, procesados y mixtos [21].

II-LAPEM-001 Instructivo de inspección General Directrices para Establecer Planes de Muestreo para las Inspecciones Lote por Lote, Tabulados Según el Nivel de Calidad Aceptable (NCA) [22].

2.2. Estructura del producto BOM (Bill Of Materials, por sus siglas en inglés)

La lista de materiales es un componente en la planificación de Recursos empresariales ERP. Otros componentes son el programa maestro de la producción, los registros de compras e inventarios y los tiempos de entrega para cada artículo. La lista de materiales, o estructura de producto (Bill Of Materials o BOM), es una clasificación jerárquica, receta, fórmula, lista de ingredientes, lista de ítems, entre otros [23] de los componentes que forman un número de identificación de un producto SKU (Stock Keeping Unit, por sus siglas en inglés) dentro de la cadena de suministro, considerando al componente en su estado, empaque, embalaje y ubicación física [24]. Cada lista de materiales está conformada por productos finales, sub-productos y las correspondientes estructuras de materiales basadas en el concepto de Stroke, los cuales están representados en operaciones de producción, compras o transporte y los SKUs, representados en productos intermedios o sub-productos y productos finales [25].

La estructura de materiales tiene forma de árbol, a partir de producto final presenta sus ramificaciones de forma que cada producto y componente se descompone en aquellos que responden al proceso real que utiliza. Las normativas y especificaciones son determinantes para realizar la lista de materiales que componen a cada uno de los postes de concreto reforzado que tienen más demanda de fabricación en la empresa CENMEX, las composiciones de cada uno de ellos se representan de la Tabla 2.1 a la 2.5. Dicha Tabla contiene la descripción del SKU, la unidad en que es medido cada

material y la cantidad que se debe de utilizar para ser fabricado. Y de la Figura 2.1 a 2.5 se muestran los planos de la Especificación J6200-03 para Postes de Concreto Reforzado.

2.3. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 9C-400

La estructura de materiales para el poste de concreto reforzado de 9 metros se muestra en la Tabla 2.1. Para la fabricación de este poste se necesitan los siguientes componentes: el primer componente es el armado, el cual requiere de 4 varillas de 3/8 (\varnothing 9.525 mm); 4 de 9 m y 4 de 7.40 m. Para la fabricación de los anillos se usa alambre calibre 8, se necesitan de 21 anillos. La Tabla 2.1 muestra la cantidad de alambre calibre 8 en kilogramos que se utilizan en el poste de 9 metros. El alambre con el cual se realiza el zunchado es calibre 11, la longitud del poste que debe de cubrir es de 8,900 mm con pasos de 35 a 40 mm y de 75 a 80 mm como se muestra en la Figura 2.1 según la Especificación J6200-03. El consumo total en kilogramos de alambre calibre 11 se muestra también en la Tabla 2.1. El segundo componente es el concreto, para su fabricación se necesita de cemento, arena, grava y aditivos. El tercer componente es el desmoldante, del cual, en la Tabla 2.1 se muestra la cantidad en litros que es aplicado en cada molde. Se requiere de 0.2 litros para cada molde, como se muestra en dicha tabla.

Artículo	Descripción del artículo	Unidad	Cantidad
SKU	Poste de Concreto Reforzado PCR- 9C-400	Pieza	1
COMP.	Armado para Poste de Concreto 9C-400	Pieza	1
Sub Producto	Varilla de 3/8 a 9 Mts.	Kg	20.052
Sub Producto	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	1.12
Sub Producto	alambre pulido calibre 11	Kg	6.55
Sub Producto	Alambre Recocido Calibre 18	Kg	0.8355
Sub Producto	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.066
Sub Producto	Varilla de 3/8 a 7.40 Mts.	Kg	16.4872
COMP.	Concreto 300 Kg/cm2 Postes	M3	0.33
Sub Producto	Cemento Portland CPC	Ton.	0.2045
Sub Producto	Arena Negra / Polvo de Piedra	M3	0.2759
Sub Producto	Grava de 3/4	M3	0.2839
Sub Producto	Sika Plast 74	Litro	0.2649
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.2546
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.64
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts.	0.156
Sub Producto	Arena Amarilla	M3	0.648
Sub Producto	Arena Triturada	M3	0.644
Sub Producto	Arena	M3	0.284
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts	0.648
Sub Producto	Aditivo MasterSet AC 534	Lt	0.59
COMP.	Desmoldante Biodegradable	Lts.	0.2

Tabla 2.1: Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 9C-400 de 9 metros.

2.3. BOM POSTE DE CONCRETO REFORZADO PCR- 9C-400

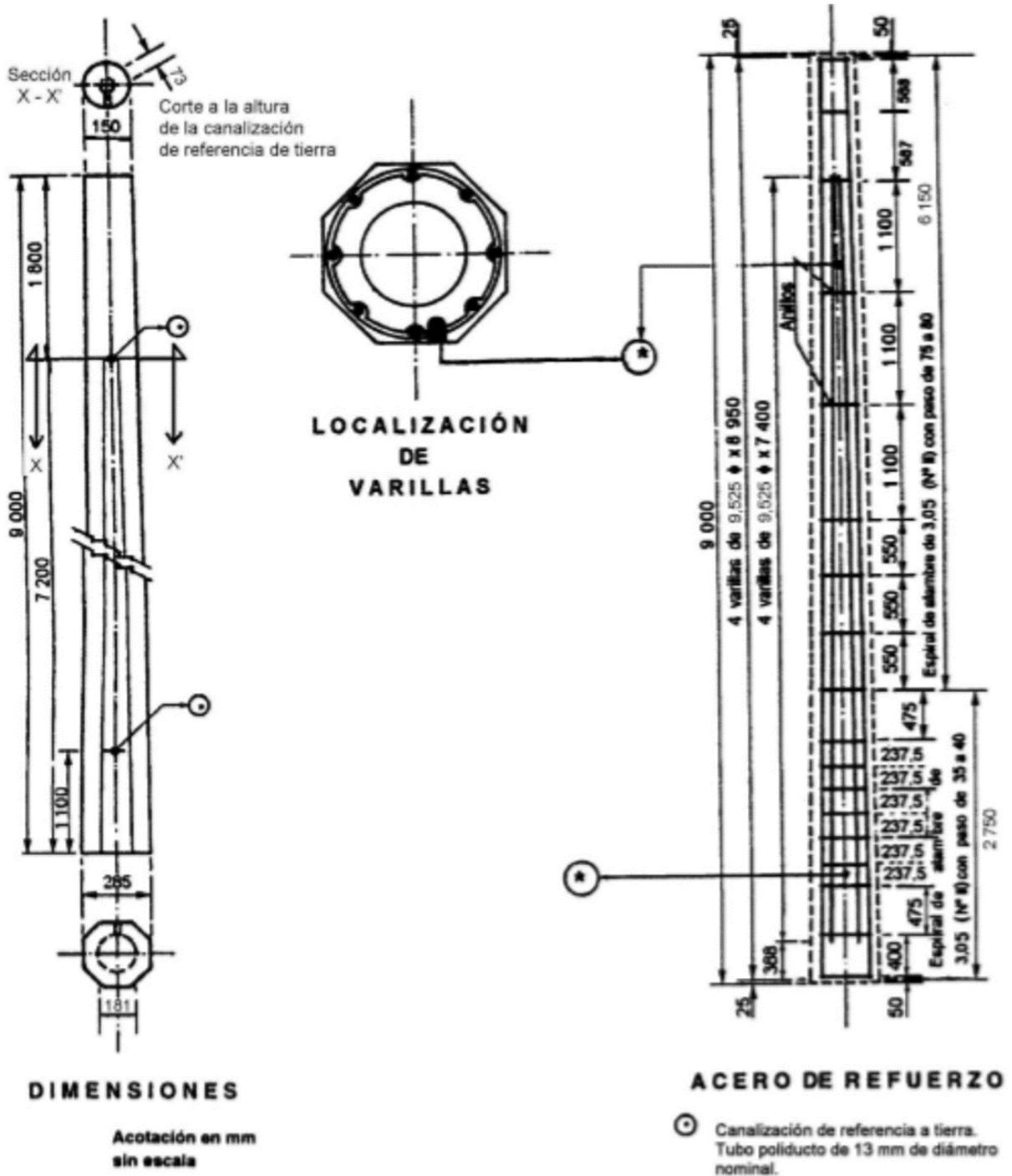


Figura 2.1: Planos de especificación para postes de concreto reforzado PCR- 9C-400 de 9 metros.

2.4. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 12C-750

La Tabla 2.2 muestra la lista de materiales correspondiente al poste de concreto de 12 metros. Para el primer componente, el armado, se requiere de varillas de 1/2 pulgada; 4 varillas de 12 m, 4 de 9 m y 4 de 10.6 m, en dicha tabla se muestra la cantidad usada de cada una en kilogramos. El poste de 12 metros contiene 17 anillos fabricados con alambre calibre 8. En la tabla también se muestra la cantidad en kilogramos que debe de usar para fabricar los 15 anillos. El zunchado debe de cubrir 11,900 mm de la longitud total del poste con un paso de 35 a 40 mm según la Especificación J6200-03 y el consumo total en kilogramos se muestra además en la tabla. El concreto y el desmoldante también son componentes, quienes a su vez tienen subcomponentes, como se muestra en la Tabla 2.2.

Artículo	Descripción del artículo	Unidad	Cantidad
SKU	Poste de Concreto Reforzado PCR- 12C-750	Pieza	1
COMP.	Armado para Poste de Concreto 12C-750	Pieza	1
Sub Producto	Varilla de 1/2 a 12 Mts.	Kg	47.808
Sub Producto	Varilla de 1/2 a 9 Mts.	Kg	35.856
Sub Producto	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	1.2
Sub Producto	alambre pulido calibre 11	Kg	10.1
Sub Producto	Alambre Recocido Calibre 18	Kg	0.9935
Sub Producto	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.093
Sub Producto	Varilla de 1/2 a 10.6 Mts.	Kg	42.2304
COMP.	Concreto 300 Kg/cm ² Postes	M3	0.47
Sub Producto	Cemento Portland CPC	Ton.	0.2045
Sub Producto	Arena Negra / Polvo de Piedra	M3	0.2759
Sub Producto	Grava de 3/4	M3	0.2839
Sub Producto	Sika Plast 74	Litro	0.2649
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.2546
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.64
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts.	0.156
Sub Producto	Arena Amarilla	M3	0.648
Sub Producto	Arena Triturada	M3	0.644
Sub Producto	Arena	M3	0.284
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts	0.648
Sub Producto	Aditivo MasterSet AC 534	Lt	0.59
COMP.	Desmoldante Biodegradable	Lts.	0.2

Tabla 2.2: Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 12C-750 de 12 metros.

2.4. BOM POSTE DE CONCRETO REFORZADO PCR- 12C-750

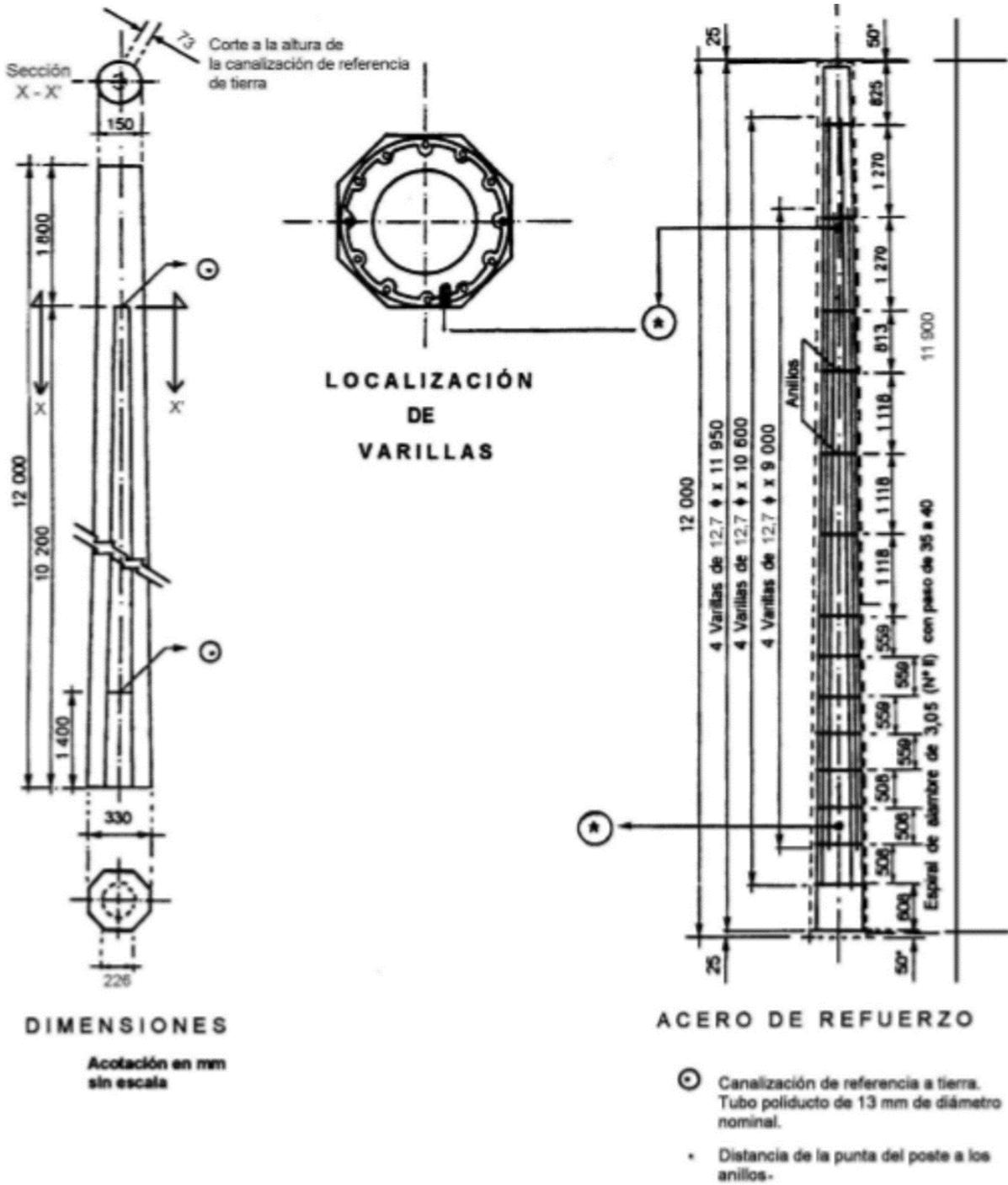


Figura 2.2: Planos de especificación para postes de concreto reforzado PCR- 12C-750 de 12 metros.

2.5. BOM Poste de Concreto Reforzado PCR- 13C-600

La estructura de materiales para el poste de concreto de 13 metros se muestra en la Tabla 2.3. Para fabricar el armado se requiere de varillas de 1/2 pulgada (\varnothing 12.7 mm); 8 varillas de 12 m y 4 de 10.6 m. Además, se requieren de 17 anillos de alambre calibre 8, la Tabla 2.3 muestra la cantidad en kilogramos que se utilizan de este material para la fabricación de anillos para un poste. El alambre calibre 11, con el cual se hace el zunchado, debe de realizarse en 12,900 mm de la longitud total del poste con el paso de zunchado de 35 a 40 mm según la Especificación J6200-03.

Artículo	Descripción del artículo	Unidad	Cantidad
SKU	Poste de Concreto Reforzado PCR- 13C-600	Pieza	1
COMP.	Armado para Poste de Concreto 13C-600	Pieza	1
Sub Producto	Varilla de 1/2 a 12 Mts.	Kg	95.616
Sub Producto	Varilla de 1/2 a 10.6 Mts.	Kg	42.2304
Sub Producto	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	1.2
Sub Producto	alambre pulido calibre 11	Kg	13.6
Sub Producto	Alambre Recocido Calibre 18	Kg	0.9645
Sub Producto	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.1026
COMP.	Concreto 300 Kg/cm2 Postes	M3	0.4974
Sub Producto	Cemento Portland CPC	Ton.	0.153
Sub Producto	Arena Negra / Polvo de Piedra	M3	0.6523
Sub Producto	Grava de 3/4	M3	0.45102
Sub Producto	Sika Plast 74	Litro	0.0005
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.0005
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.0005
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts.	0.0005
Sub Producto	Arena Amarilla	M3	0.0005
Sub Producto	Arena Triturada	M3	0.0005
Sub Producto	Arena	M3	0.0005
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts	1.848
Sub Producto	Aditivo MasterSet AC 534	Lt	0.0005
COMP.	Desmoldante Biodegradable	Lts.	0.2

Tabla 2.3: Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado PCR- 13C-600 de 13 metros.

2.6. BOM de Concreto Reforzado G60 PCR- 12-750

La estructura para la fabricación de un poste de 12 metros grado 60 se muestra en la Tabla 2.4. En este caso, el armado está compuesto por varillas grado 60 y grado 42. Se requieren de 12 varillas de 3/8 grado 60 de las cuales 4 son de 10.60 m, 4 de 11.95 m, 4 de 9 m y también se requieren 4 varillas de 3/8 grado 42 de 7.40 m. La cantidad en kilogramos de alambre calibre 8 es para fabricar los 22 anillos que componen el armado. La longitud que debe de cubrir el zunchado es de 11,925 mm con un paso de 30 mm \pm 5 mm según la Especificación J6200-03. Para esta estructura, el zunchado es con alambre calibre 11.

Artículo	Descripción del artículo	Unidad	Cantidad
SKU	Poste de Concreto Reforzado PCR- 12-750	Pieza	1
Componente	Armado para Poste de Concreto 12-750 G-6000	Pieza	1
Sub Producto	Varilla 3/8 a 10.60 mts. G60	Kg	23.702
Sub Producto	Varilla 3/8 a 11.95 mts. G60	Kg	26.72
Sub Producto	Varilla 3/8 a 9.00 mts. G60	Kg	20.124
Sub Producto	Varilla de 3/8 a 7.40 Mts.	Kg	16.4576
Sub Producto	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	1.42
Sub Producto	alambre pulido calibre 11	Kg	10.1
Sub Producto	Alambre Recocido Calibre 18	Kg	0.942
Sub Producto	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.0915
Sub Producto	Mano de Obra		50.5
Componente	Concreto 300 Kg/cm2 Postes	M3	0.47
Sub Producto	Cemento Portland CPC	Ton.	0.2045
Sub Producto	Arena Negra / Polvo de Piedra	M3	0.2759
Sub Producto	Grava de 3/4	M3	0.2839
Sub Producto	Sika Plast 74	Litro	0.2649
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.2546
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.64
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts.	0.156
Sub Producto	Arena Amarilla	M3	0.648
Sub Producto	Arena Triturada	M3	0.644
Sub Producto	Arena	M3	0.284
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts	0.648
Sub Producto	Aditivo MasterSet AC 534	Lt	0.59
Componente	Desmoldante Biodegradable	Lts.	0.2

Tabla 2.4: Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado G60 PCR-12-750 de 12 metros.

2.6. BOM DE CONCRETO REFORZADO G60 PCR- 12-750

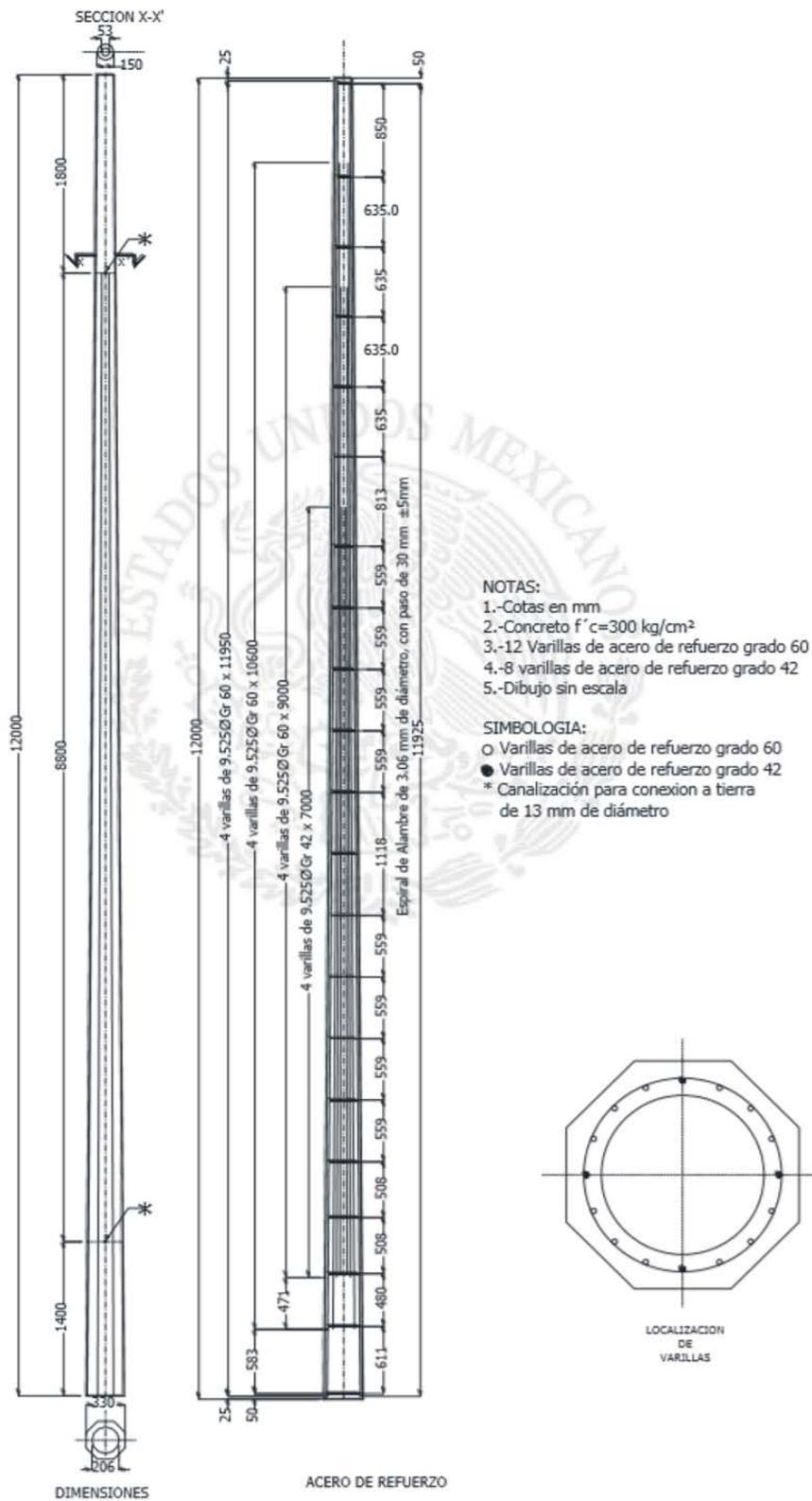


Figura 2.4: Planos de especificación para postes de concreto reforzado G60 PCR- 12-750 de 12 metros.

2.7. BOM de Concreto Reforzado G60 PCR- 13-600

La Tabla 2.5 muestra la lista de materiales para la fabricación de poste de concreto de 13 metros grado 60. El armado está compuesto por varillas grado 42 y grado 60. El armado es fabricado por 12 varillas de 3/8 grado 60, de las cuales 8 varillas son de 11.95 m y 4 de 10.60 m. Además, este componente requiere de 4 varillas grado 42 de 9 m. Se necesita alambre calibre 8 para fabricar 25 anillos, el consumo del alambre se registra también en kilogramos. El alambre calibre 11 es usado para realizar el zunchado cuya longitud de desarrollo del zuncho es de 12,955 mm.

Artículo	Descripción del artículo	Unidad	Cantidad
SKU	Poste de Concreto Reforzado PCR- 13-600	Pieza	1
COMP	Armado para Poste de Concreto 13-600 G-6000	Pieza	1
Sub Producto	Varilla 3/8 a 10.60 mts. G60	Kg	23.7
Sub Producto	Varilla 3/8 a 11.95 mts. G60	Kg	53.66
Sub Producto	Varilla de 3/8 a 9 Mts.	Kg	17.82
Sub Producto	Alambre Pulido Calibre 8	Kg	1.8
Sub Producto	alambre pulido calibre 11	Kg	11
Sub Producto	Alambre Recocido Calibre 18	Kg	1.2218
Sub Producto	Poliducto de 1/2 C-40 100 Mts.	Rollo	0.1026
COMP.	Concreto 300 Kg/cm ² Postes	M3	0.4974
Sub Producto	Cemento Portland CPC	Ton.	0.2045
Sub Producto	Arena Negra / Polvo de Piedra	M3	0.2759
Sub Producto	Grava de 3/4	M3	0.2839
Sub Producto	Sika Plast 74	Litro	0.2649
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.2546
Sub Producto	Eucon (Aditivo)	Lts.	0.64
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts.	0.156
Sub Producto	Arena Amarilla	M3	0.648
Sub Producto	Arena Triturada	M3	0.644
Sub Producto	Arena	M3	0.284
Sub Producto	Aditivo Reductor de Agua	Lts	0.648
Sub Producto	Aditivo MasterSet AC 534	Lt	0.59
COMP.	Desmoldante Biodegradable	Lts.	0.2

Tabla 2.5: Estructura de materiales para el poste de concreto reforzado G60 PCR-13-600 de 13 metros.

2.7. BOM DE CONCRETO REFORZADO G60 PCR- 13-600

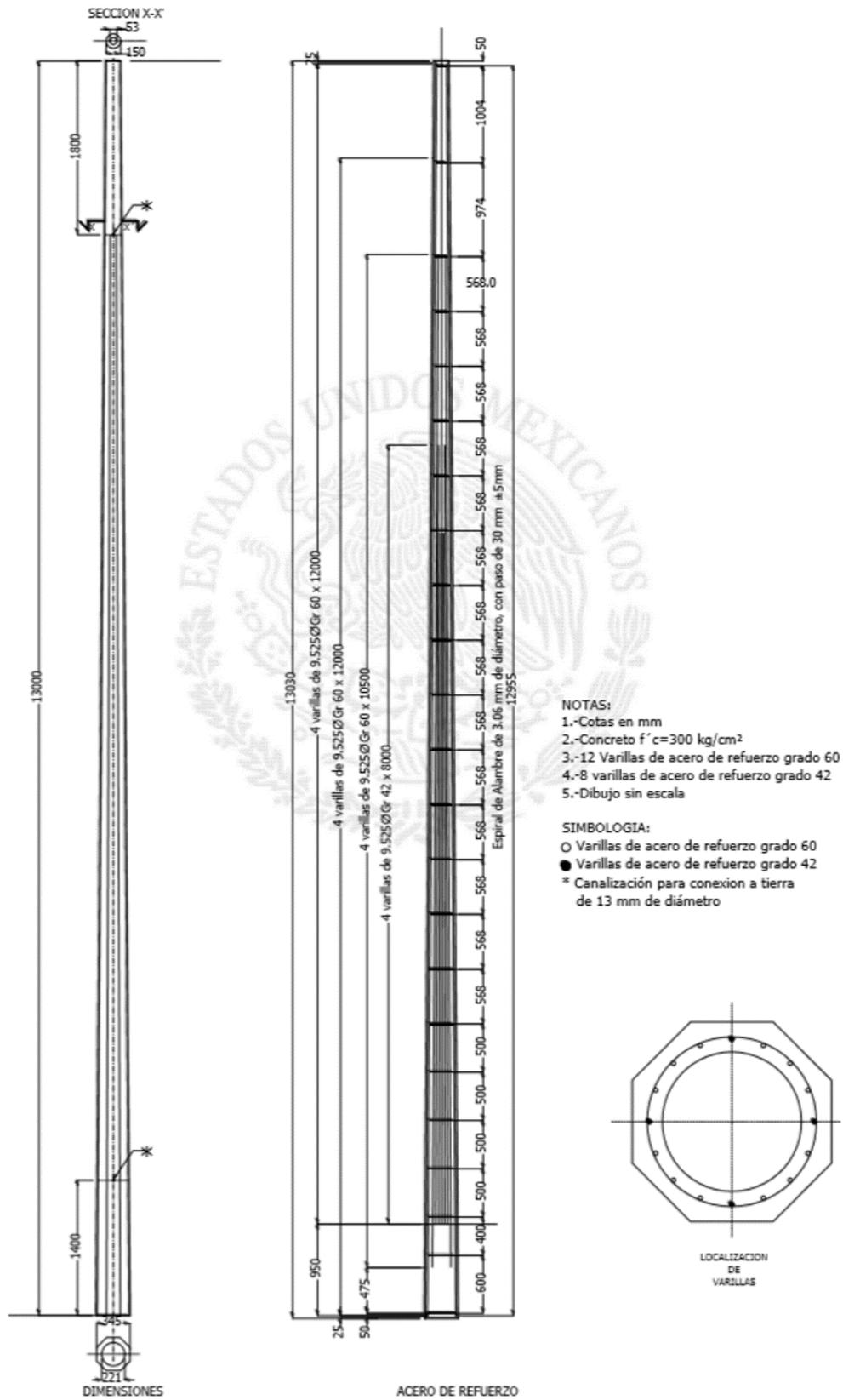


Figura 2.5: Planos de especificación para postes de concreto reforzado G60 PCR- 13-600 de 13 metros.

Capítulo 3

Materiales empleados en la elaboración de postes de concreto

Se denomina concreto reforzado a la mezcla de cemento, agregados pétreos (grava y arena), agua, acero corrugado y refuerzo en espiral que forman un conglomerado que endurece conforme progresa la reacción química del agua sobre el cemento. El poste de concreto reforzado está formado por cemento, agregados, agua y acero.

En este capítulo estos elementos básicos se analizan partiendo del material a elaborar y se señalan algunas características de los materiales que se utilizan en la elaboración del poste de concreto reforzado.

3.1. Materiales empleados en la fabricación de postes de concreto reforzado

3.1.1. Concreto

El concreto (hormigón) es básicamente una mezcla de dos componentes: agregados y pasta. La pasta, compuesta de cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada, piedra machacada, pedrejón), creando una masa similar a una roca. Esto ocurre por el endurecimiento de la pasta en consecuencia de la reacción química del cemento con el agua. Otros materiales cementantes (cementicios, cementosos) y adiciones minerales se pueden incluir en la pasta [26]. Algunas veces se incorpora un componente llamado aditivo, que mejoran o modifican

algunas propiedades del concreto especialmente la resistencia. Tanto las propiedades del concreto fresco (plástico) como del concreto endurecido se pueden cambiar con la adición al concreto de aditivos químicos, normalmente en la forma líquida, durante la dosificación. Los aditivos químicos comúnmente se emplean para:

1. El ajuste del tiempo de fraguado o de endurecimiento.
2. La reducción de la demanda de agua.
3. El aumento de la trabajabilidad (manejabilidad, docilidad).
4. La inclusión intencional de aire.
5. El ajuste de otras propiedades del concreto fresco o endurecido.

El concreto es: $\text{CONCRETO} = \text{CEMENTO PORTLAND} + \text{AGUA} + \text{AGREGADOS}$

El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. La pasta, compuesta por cemento portland y agua, une los agregados, normalmente arena y grava (piedra triturada), la mezcla produce una masa que puede ser moldeada después de unas horas se torna rígida y comienza a adquirir el aspecto y propiedades de un cuerpo sólido lo cual crea una masa similar a una roca.

La calidad del concreto endurecido es fuertemente influenciada por la cantidad de agua usada con relación a la cantidad de cemento. Cuando grandes cantidades de agua son innecesariamente empleadas, ellas diluyen la pasta de cemento (la cola o pegamento del concreto). Las ventajas de disminuir la cantidad de agua son:

1. Aumento de la resistencia a la compresión (resistencia en compresión) y de la resistencia a flexión.
2. Disminución de la permeabilidad, entonces disminución de la absorción y aumento de la estanquidad (hermeticidad). Aumento de la resistencia a la intemperie.
3. Mejor unión entre concreto y armadura.

4. Reducción de la contracción (retracción, encogimiento) y de la fisuración (agrietamiento, fisuramiento).
5. Menores cambios de volumen causado por el humedecimiento y el secado

Cuanta menos agua se usa, mejor es la calidad del concreto, si es que la mezcla se puede consolidar adecuadamente. Menores cantidades de agua de mezcla (mezclado) resultan en mezclas más rígidas (secas); pero, con vibración, aún las mezclas más rígidas pueden ser fácilmente colocadas. Por lo tanto, la consolidación por vibración permite una mejoría de la calidad del concreto [26].

Después de terminar el proporcionamiento, dosificación, colocación (hormigonado, puesta, colado), consolidación, acabamiento (terminación, acabado) y curado adecuados, el concreto se endurece, se transforma en un material no-combustible, durable, resistente a la abrasión e impermeable lo cual requiere poca o ninguna conservación (mantenimiento). Además, el concreto es un excelente material de construcción porque se lo puede moldear en una gran variedad de formas, colores y texturas para ser utilizado en un número ilimitado de aplicaciones [26].

3.1.1.1. Cemento

Los cementos portland son cementos hidráulicos compuestos principalmente de silicatos hidráulicos de calcio. Los cementos hidráulicos fraguan y endurecen por la reacción química con el agua. Durante la reacción, llamada hidratación, el cemento se combina con el agua para formar una masa similar a una piedra, llamada pasta. Cuando se adiciona la pasta (cemento y agua) a los agregados (arena y grava, piedra triturada, piedra machacada, pedrejón u otro material granular), la pasta actúa como un adhesivo y une los agregados para formar el concreto, el material de construcción más versátil y más usado en el mundo [26].

El cemento portland se produce por la pulverización del clínker, el cual consiste principalmente en silicatos de calcio hidráulicos. El clínker también contiene algunos aluminatos de calcio y ferroaluminatos de calcio y una o más formas de sulfato de calcio (yeso) que se muele conjuntamente con el clínker para la fabricación del producto final.

Los cementos mexicanos se especifican según la norma NMX –C-414- ONNCCE. De acuerdo con esta norma, hay seis tipos básicos de cementos. En la fabricación de postes de concreto, el cemento “Portland” a utilizarse se indica en la Tabla 3.1 donde también se señala el porcentaje de relación de agua y cemento y debe cumplir con la norma NMX-C-414-ONNCCE. El fabricante de postes debe presentar a la CFE, el certificado de calidad del tipo de cemento que utilice con los resultados de pruebas físicas y químicas indicadas en la norma NMX-C-414-ONNCCE, expedida por el fabricante del cemento o por un laboratorio acreditado.

Los componentes principales en el cemento son: calcio (Ca) y monóxido de silicio (SiO), y los componentes secundarios son: óxido de aluminio (AlO), óxido ferroso (FeO) y yeso (SO_{Ca}-1/2H₂O). Además de elementos en pequeña proporción: álcalis, que suelen provenir de las impurezas feldespáticas de las arcillas; Magnesia Calcificada (MgO), aportado por arcilla o la caliza, y peligroso por encima de cierto límite (legalmente un 5%) por la lentitud con que se hidrata la magnesia calcificada y la dilatación que la acompaña; Cal libre (CaO), provoca problemas cuando hay exceso en la dosificación, o defecto de cocción o enfriamiento lento de clinker, que también hacen expandir al cemento [27].

3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO

TIPOS DE CEMENTO PORTLAND			
TIPO		RESISTENCIA	CARACTERISTICAS ESPECIALES
CPO	Cemento Portland Ordinario	20	RS Resistencia a Sulfatos
CPP	Cemento Portland Puzolánico	30	BRA Baja Reactividad Alkali-Agregado
CPEG	Cemento Portland con Escoria Granulada	40	BCH Bajo Calor de Hidratación
CPC	Cemento Portland Compuesto	30R	B Blanco
CPS	Cemento Portland con Humo de Sílice	40R	
CEG	Cemento con Escoria Granulada de alto Horno		

EJEMPLO:

CPO 30R B

CPP 30 RS/BRA

CPO 30R

Tipo de poste	Cemento "Portland"	Relacion agua/cemento máximo (%)
PCR	CPPP, CPC, BRA/RS	0.45
PCP	CPO BRA/RS, CPC BRA/RS	0.4
PCPC	CPO BRA/RS, CPC BRA/RS	0.3

Tabla 3.1: Tipos de cemento "Portland".

3.1.1.2. Agua

El agua es un componente esencial en las mezclas de concretos, sus principales usos se indican en la Tabla 3.2, el principal es su relación con el cemento están altamente ligados a una gran cantidad de propiedades del material final que se obtendrá, en donde usualmente conforme más agua se adicione, aumenta la fluidez de la mezcla y, por lo tanto, su trabajabilidad y plasticidad. Para cada cuantía de cemento existe una cantidad de agua del total de la agregada que se requiere para la hidratación del cemento; el resto del agua solo sirve para aumentar la fluidez de la pasta para que cumpla la función de lubricante en los agregados y se pueda obtener la manejabilidad adecuada de las mezclas frescas. El agua adicional forma una masa que queda dentro de la mezcla y al momento de fraguar crea porosidad, lo que reduce la resistencia, razón por la que cuando se requiere una mezcla bastante fluida no debe lograrse una

fluidez con agua, sino agregando aditivos. No debe contener sustancias que puedan ser dañinas para el concreto. Si el agua contiene sustancias que produzcan olor, color o sabor inusuales, no se debe usar a menos que existan registros que indique que no perjudica la calidad del concreto.

USOS DEL AGUA EN EL CONCRETO	
USO	FUNCIÓN
MEZCLADO	REACCIONAR CON EL CEMENTO HIDRATACIÓN, FRAGUADO Y RESISTENCIA
CURADO	MANTENER HUMEDAD ADECUADA DESARROLLO DE RESISTENCIA
LAVADO DE AGREGADOS	QUITAR IMPURESAS MAYOR CALIDAD

Tabla 3.2: Usos del agua en el cemento.

El agua empleada en el mezclado y curado del concreto debe ser potable y estar libre de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica u otras sustancias que puedan ser nocivas para el concreto o el acero de refuerzo, además debe cumplir con la norma NMX-C-122-ONNCCE. El fabricante debe presentar a la CFE los resultados de los análisis de la calidad del agua, expedidos por el proveedor o por un laboratorio acreditado. Prácticamente cualquier agua natural que sea potable y no presente fuerte sabor u olor se la puede usar como agua de mezcla (de mezclado, de amasado) para la preparación del concreto. El exceso de impurezas en el agua de mezcla no sólo puede afectar el tiempo de fraguado y las resistencias del concreto, sino también puede causar eflorescencias, manchado, corrosión del refuerzo, inestabilidad del volumen y reducción de la durabilidad. Se puede utilizar satisfactoriamente el agua para la preparación del concreto con menos de 2000 partes por millón (ppm) de sólidos disueltos. El agua que contiene más de 2000 ppm de sólidos disueltos se debe analizar para verificar su efecto sobre la resistencia y el tiempo de fraguado [26].

3.1.1.3. Agregados Pétreos

El 100 % de los concretos que se elaboran en México ocupan para su fabricación agregados que pueden ser obtenidos de dos fuentes: en depósitos de origen natural (ríos, playas, etc.) y como productos de trituración de roca [28].

El agregado es un material granular (arena, grava, piedra triturada o escoria) usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. Puede utilizarse en su estado natural o bien, triturado, de acuerdo con su uso y aplicación. Los agregados se clasifican en grueso (gravas) y fino (arenas). En su correcta proporción ayudan a la compactación de la mezcla de concreto, así como a disminuir el consumo de cemento y agua, además de contribuir a la resistencia mecánica del concreto.

La importancia del uso del tipo y de la calidad correctos del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60 % al 75 % del volumen del concreto (70 % a 85 % de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía del concreto [26].

Es la distribución de los tamaños de las partículas que constituyen una masa de agregados; se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en dividir una muestra representativa del agregado en fracciones de igual tamaño de partículas; la medida de la cuantía de cada fracción se denomina como granulometría [29]. El tamaño de las partículas del agregado se determina por medio de tamices de malla de alambre con aberturas cuadradas. Los siete tamices normalizados para el agregado fino tienen aberturas que varían de 150 μm a 9.5 mm.

Es importante recalcar que hay varias razones para especificar los límites de granulometría y el tamaño máximo del agregado, pues afectan las proporciones relativas de los agregados, bien como la demanda de agua y de cemento, trabajabilidad, bombeabilidad, economía, porosidad, contracción (retracción) y durabilidad del concreto. Por ejemplo, las arenas muy gruesas producen mezclas ásperas y difícilmente trabajables, y las arenas muy finas incrementan los requisitos de agua (por lo tanto, incrementan también el requerimiento del cemento para una relación dada de agua/cemento) y resultan antieconómicas; los agregados que no tienen una gran deficiencia o exceso

de cualquier tamaño en particular, producen las mezclas más trabajables y económicas [30].

1. Arena La arena es un agregado fino de roca o de minerales, puede extraerse mediante un proceso natural o bien por la trituración de roca seleccionada de acuerdo con su tamaño y textura; para definir el método deben asegurarse las especificaciones para cada uso.

Las arenas son minerales finos comúnmente con un espesor del orden de 0.1 a 1.0 mm de diámetro. Con frecuencia contienen cierta cantidad de agua, que debe tomarse en consideración al preparar una mezcla de concreto. Las arenas ayudan a llenar los huecos entre agregados más gruesos, reduce la cantidad de porosidad, así como problemas de desintegración debido a congelamiento y descongelamiento repetido. La arena llena prácticamente todo el volumen, mientras que la pasta de cemento llena todos los espacios vacíos entre las partículas de arena. Ya que la arena ocupa tan gran porcentaje del volumen, no es exagerada la importancia de cumplir con exactitud los requisitos de los agregados. Es de importancia primordial obtener una arena limpia, adecuada, con la granulometría apropiada de las partículas [27].

2. Grava Consisten en una o en la combinación de gravas o piedras trituradas con partículas predominantemente mayores que 5 mm (0.2 pulg.) y generalmente entre 9.5 mm y 37.5 mm (3/8 y 1 1/2 pulg.). La grava puede extraerse a través de un proceso natural o bien por trituración. Se utiliza para construir carreteras, elaborar concretos, asfaltos y otros productos de transformación para la construcción.

Para los agregados utilizados en la elaboración del concreto, el fabricante debe presentar a la CFE los resultados de los análisis de la calidad expedidos por el proveedor o por un laboratorio acreditado, además deben cumplir con la norma NMX-C-111-ONNCCE.

3.1.1.4. Aditivos

Los aditivos son aquellos ingredientes del concreto que, además del cemento portland, del agua y de los agregados, se adicionan a la mezcla inmediatamente antes o durante el mezclado [26].

3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO

El concreto debe ser trabajable, fácilmente acabado, fuerte, durable, estanco y resistente al desgaste. Estas calidades se las puede obtener fácil y económicamente con la selección de los materiales adecuados, preferiblemente al uso de aditivos (a excepción de los inclusores de aire cuando son necesarios). Las razones principales para el uso de aditivos son:

1. Reducción del costo de la construcción de concreto;
2. Obtención de ciertas propiedades en el concreto de manera más efectiva que otras;
3. Superación de ciertas emergencias durante las operaciones de mezclado, transporte, colocación y curado.

Se podrán usar aditivos de reconocida calidad, para modificar las propiedades del concreto, con el fin de que sea más adecuado para las condiciones particulares de la estructura por construir. Su empleo se deberá definir por medio de ensayos efectuados con antelación a la obra, con dosificaciones que garanticen el efecto deseado, sin perturbar las propiedades restantes de la mezcla. Los aditivos y adiciones deberán estar libres de sustancias que, por su naturaleza o cantidad, afecten la resistencia o la durabilidad del hormigón, armaduras, aceros de alta resistencia u otros elementos insertados.

Los aditivos se pueden clasificar según sus funciones, en la tabla 2.4 se indica la Clasificación de Aditivos según la norma NMX-C-255-ONNCCE-2006 Industria de la Construcción-Aditivos para concreto. Muestreo y métodos de prueba. A fin de asegurar las ventajas que otorga el aditivo reductor de agua, los fabricantes de aditivos para concreto deben cumplir con la norma mencionada anteriormente.

TIPO	
A	Reductor de Agua
B	Retardante
C	Acelerante de fraguado inicial
C2	Acelerante de resistencia
D	Reductor de agua y retardante
E	Reductor de agua y acelerante
F	Reductor de agua de alto rango
G	Reductor de agua de alto rango y retardante
F2	Superplastificante
G2	Superplastificante y retardante
AA	Inclusor de aire

Tabla 3.3: Clasificación de aditivos según la norma NMX-C-255-ONNCCE-2006 Industria de la construcción-aditivos para concreto. Muestreo y métodos de prueba.

3.1.2. Acero

3.1.2.1. Refuerzos de acero

Acero es el nombre que se le dan a las aleaciones de hierro (Fe) y carbono (C), donde el contenido en carbono en disolución sólida en el hierro sea menor del 2,1 %. El acero también contiene otros elementos químicos aleantes, hasta alcanzar más de 30, pero entre los que destacan el manganeso, el cromo, el níquel, el silicio, el molibdeno, y el vanadio, etc., que le van modificando sus propiedades de modos muy distintos para permitirlo adaptarlo a las necesidades según el uso. Estas adiciones y tratamientos termo-mecánicos actúan a escala microscópica y nanométrica, alterando la composición tanto general como a escala atómica, la modificando la red cristalina, los tamaños de grano, las inclusiones [31]. En construcción uno de los usos que se le da al acero, es como refuerzo en estructuras de concreto armado. Ante la baja resistencia a tensión del concreto, el acero de refuerzo es empleado principalmente para resistir los esfuerzos de tensión en elementos de concreto reforzado. Para incrementar la resistencia de elementos de concreto sometidos a flexión, se colocan barras de acero de refuerzo longitudinal en la zona de tensión, mientras que el refuerzo transversal actúa resistiendo esfuerzos de tensión inclinados ocasionados por fuerzas cortantes [32].

3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO

3.1.2.2. Anillos de alambre pulido calibre 8

Es el acero que se coloca en los armados o castillos de los postes, conformado por un alambre pulido calibre 8 (4.11 mm) elaborado en forma circular con muescas equidistantes que tienen la función de ubicar y distribuir las varillas de refuerzo longitudinal, las cuales están unidas al anillo con amarres hechos con alambre recocido calibre 18. Como se muestra en la Tabla 3.4, la ubicación y la cantidad de los anillos es diferente para cada tipo de poste, por lo que las distancias respecto a la base deben de ser respetadas según corresponda. Es por eso que esta información debe de ser representada de manera clara en el plano ya que es base fundamental para dar soporte en la fabricación del armado del poste y a si sea elaborado correctamente.

UBICACIÓN DE ANILLOS PARA POSTE OCTAGONAL						
# Anillo	PCR6R60-	PCRGR60-	PCR-9C-	PCR-12C-	PCR-13C-	PCR-15C-
	12-750	13-600	400	750	600	800
Distancia respecto a la base (mm)						
1	50	50	50	50	50	50
2	661	650	450	658	650	450
3	1141	1050	925	1166	1050	950
4	1649	1550	1162.5	1674	1550	1450
5	2157	2050	1400	2182	2050	1950
6	2716	2550	1637.5	2741	2550	2340
7	3275	3050	1875	3300	3050	3340
8	3834	4186	2112.5	3859	4186	3840
9	4393	5322	2350	4418	5322	4840
10	4952	6458	2825	5536	6458	5960
11	5511	7594	3375	6654	7594	7080
12	6070	8730	3925	7772	8730	8200
13	6629	9866	4475	8585	9866	9320
14	7188	11002	5025	9855	11002	10440
15	7747	11976	5575	11125	11976	11560
16	8560	N/A	6125	11538	N/A	12680
17	9195	N/A	6675	11950	N/A	13800
18	9830	N/A	7225	N/A	N/A	14380
19	10465	N/A	7775	N/A	N/A	14950
20	11100	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Tabla 3.4: Ubicación de anillos para poste octagonal.

3.1.2.3. Varillas de acero para refuerzo longitudinal

Según la norma mexicana NMX-B-253-CANACERO-2013 el alambre de acero (varilla) para refuerzo de concreto se define como barra cilíndrica de acero que ha sido fabricada mediante un proceso de laminado en frío, para usarse como refuerzo de concreto, puede ser corrugado o liso. En el caso del alambre corrugado, la superficie está provista de rebordes o salientes llamados corrugas, los cuales inhiben el movimiento relativo longitudinal entre el alambre y el concreto que lo rodea.

El diámetro especificado para las varillas corrugadas se denomina diámetro nominal, siendo igual al diámetro de una varilla lisa, cuyo peso por metro lineal es igual al de la corrugada; pero el área real de la sección transversal de las varillas corrugadas es menor que el área tabulada (diámetro nominal). Las varillas para armado se fabrican con diámetros nominales de fracción de pulgada, designándolas por un número que expresa los octavos de pulgada de su diámetro nominal.

ESPECIFICACIÓN VARILLA CORRUGADA			
N° Designación	Calibre		Peso Nominal
	Pulg	mm	Kg/m
3	3/8	9.5	0.559
4	1/2	12.7	0.994
5	5/8	15.9	1.554
6	3/4	19.1	2.237
8	1	25.4	3.978
10	2 3/4	31.7	6.215
12	5 1/2	38.1	8.95

Tabla 3.5: Especificación varilla corrugada.

El refuerzo longitudinal usado en el armado para postes de concreto tipo costa y no costa (PCR) se debe de usar únicamente varilla corrugado grado 42 conforme a la norma NMX-C-407-ONNCCE.

Los postes de concreto con acero de refuerzo grado 60 (PCRGR60) lleva en su armado longitudinal una combinación de varillas corrugadas grado 42 y grado 60.

3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO

El refuerzo longitudinal no debe presentar traslapes y se debe colocar en las posiciones indicadas de acuerdo a los planos proporcionados por la especificación CFE-J6200-03. El acero de refuerzo longitudinal se utiliza para proporcionar resistencia por flexión a los postes y que estos tengan un comportamiento dúctil.

En la Tabla 3.6 se muestran las dimensiones y la cantidad de cada tipo de varilla para los postes que se fabrican. Se muestran las longitudes de las varillas en milímetros, la cantidad de piezas e información del diámetro de la varilla en milímetros y pulgadas que debe de usarse para formar el armado en los postes de 9, 12 y 13.

DIMENSIONES DE VARILLA PARA POSTES				
Armado producto	Diámetro		Longitud	Cantidad de Varillas
	(mm)	(pulg)		
9C-400	9.5	3/8	8950	4
	9.5	3/8	7400	4
12-750	12.7	1/2	11950	4
12C-750	12.7	1/2	10600	4
	12.7	1/2	9000	4
13-600	12.7	1/2	12000	4
13C-600	12.7	1/2	12000	4
	12.7	1/2	10600	4

Tabla 3.6: Dimensiones de varilla para postes.

3.1.2.4. Zunchado de alambre pulido calibre 11 para refuerzo transversal

Al zunchado también se le nombra espiral y es el acero de refuerzo transversal de alambre pulido calibre 11 con un diámetro de 3.05 mm que se enrolla de forma helicoidal (como resorte) sobre el acero de refuerzo longitudinal (varillas).

En la Tabla 3.7, se muestran los rangos de paso de zuncho en milímetros que debe de cumplir cada tipo de poste además la distancia del armado que debe de cubrir. El zunchado debe ser respetado según la especificación CFE J6200-03. Dicha especificación se somete a prueba por parte de la CFE para verificar que se dé cumplimiento.

TABLA DE PASOS DE ZUNCHADO DE ESPIRAL ARMADOS PARA POSTE OCTAGONAL						
Medida		Distancia (mm)	Referencia de anillos	Zuncho (mm)	Distancia (mm)	Zuncho (mm)
Poste (metros)	Armado (mm)					
9	8950	0 a 2750	Hasta décimo	35 a 40	2750 a 8950	75 a 80
12	11950	0 a 11950	N/A	35 a 40	N/A	N/A
13	12950	0 a 12950	N/A	35 a 40	N/A	N/A
15	14950	0 a 5885	Hasta onceavo	30	5885 a 14950	70 ida y vuelta
Postes grado 60		Extensión total de poste - 50 mm		30 ± 5	N/A	N/A

Tabla 3.7: Paso de zunchado de espiral armados para poste octogonal.

3.1.2.5. Poliducto para canalización a tierra

Es un canal semirrígido liso de material plástico, con diámetro nominal de 13 mm cedula 40 de una sola pieza y su función es albergar un cable conductor de electricidad en el interior del poste y en toda su longitud. En el proceso constructivo del armado de refuerzo, este poliducto se sujeta a la espiral de refuerzo transversal (zunchado) del poste en la parte interior, con amarres espaciados a cada metro, de manera que el poliducto queda embebido en el poste una vez colado el concreto y únicamente se aprecian las salidas del poliducto en la base y punta del poste.

La Tabla 3.8, muestra especificaciones de ubicación y longitud del poliducto de acuerdo con el tipo de poste. En la realización de esta investigación, para estandarizar la longitud del poliducto, se estableció que las puntas del poliducto en los extremos del poste se extendieran 25 ± 5 cm en cada uno de las dos salidas hacia el exterior del poste.

3.1. MATERIALES EMPLEADOS EN LA FABRICACIÓN DE POSTES DE CONCRETO REFORZADO

TABLA DE COLOCACIÓN DE POLIDUCTO EN ARMADOS DE POSTE OCTAGONAL					
Tipo	Longitud de Poste (m)	Distancia de la base (m)	Distancia de la punta (m)	Distancia total Poliducto	Excedente para salidas (cm)
PCR	9	1.10	1.80	6.10	50 ± 5
PCR	12	1.40	1.80	8.80	50 ± 5
PCR	13	1.50	1.80	9.70	50 ± 5
PCR	15	1.25	1.80	11.95	50 ± 5
PCRGR60	12	1.40	1.80	8.80	50 ± 5
PCRGR60	13	1.40	1.80	9.80	50 ± 5

Tabla 3.8: Colocación de poliducto en armados de poste octogonal.

3.1.2.6. Varilla de acero para U's

El tamaño de la varilla ubicada en las puntas del armado se indica en la tabla 3.9. Esta varilla es conocida como U's. Su colocación no está bajo especificación, fue por decisión de la empresa ya que ayuda a dar soporte e impedir el movimiento de las varillas al realizarse el proceso del zunchado, su colocación no se realiza en todas las plantas de la empresa CENMEX, por lo tanto, para lograr tener un producto estándar es fundamental incluir este punto en el plano de ingeniería. El diámetro de arco de la varilla para poste de 7 metros es diferente debido a que la sección de la punta de este poste tiene un diámetro más grande.

COLOCACIÓN DE VARILLA EN PUNTAS DE ARMADO			
Poste	Tamaño de varilla	Diámetro de arco	Nota
7	40 ± 5	75 ± 5	Se utilizará varilla sobrante de cortes para armados que cumplan con la medida requerida.
Todos los postes	40 ± 5	55 ± 5	

Tabla 3.9: Colocación de varillas en punto de armado.

Capítulo 4

Procedimientos constructivos

Un procedimiento constructivo es un sistema de acciones que se encuentran interrelacionadas de forma dinámica y que se orientan a la transformación de ciertos elementos. De esta manera, los elementos de entrada (conocidos como factores) pasan a ser elementos de salidas (productos), tras un proceso en el que se incrementa su valor [33]. Debido a la importancia que tienen los postes de concreto para la distribución de energía eléctrica, es indispensable que las actividades que se llevan a cabo para su fabricación se realicen adecuadamente, de estas actividades depende la calidad del producto final.

Las principales actividades realizadas en CENMEX para la fabricación de postes de concreto son descritas en las siguientes secciones de este capítulo.

4.1. Elaboración del concreto con dosificadora

Todos los agregados del concreto se dosifican de acuerdo a la indicado en una bitácora. Los agregados finos y gruesos son acarreados por separado hasta las compuertas de descarga. Primero se pesa la grava y después junto con la arena es depositada en el mismo compartimiento. De manera simultánea se deposita la cantidad de cemento requerido. Posteriormente el agua es pesada y se coloca en su compartimiento, agregándole el aditivo reductor de agua correspondiente.

Una vez que se tienen todos los ingredientes, se vierte primero el agua con el

aditivo al mezclador, seguido de esto se vierte el cemento y por último se vierte la grava y la arena.

Finalmente, incorporados todos los ingredientes en el mezclador se deberá de dar un tiempo de mezclado de 60 segundos aproximadamente antes de vaciarlo al contenedor de concreto fresco.



Figura 4.1: Dosificadora de concreto.

4.2. Corte de varilla, alambre y fabricación del armado para poste de concreto reforzado

4.2.1. Habilitado y corte de varilla

La varilla se descarga en la zona de almacén por medio del monorriel y su acomodo es por tipo de medida, como se muestra en la Figura 4.2. Después es trasladada otra vez con monorriel a la zona de corte.



Figura 4.2: Traslado de la varilla a la zona de corte.

Las varillas son emparejadas y la longitud sobrante es cortada manualmente, como se muestra en la Figura 4.3. La longitud de la varilla debe de cumplir con las dimensiones indicadas en las especificaciones para cada tipo de poste de concreto que se fabrican.



Figura 4.3: Corte de varillas.

4.2.2. Corte de alambre recocido calibre 18 para amarres

El corte de alambre recocido calibre 18 para amarres se lleva a cabo de forma simple, primero se toma la bobina de alambre, después es dividida con el flexómetro y marcada cada 30 cm, como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4: Corte de alambre calibre 18.

Después con ayuda de una guillotina se realizan los cortes a las longitudes marcadas, como se muestra en la Figura 4.5.

4.2. CORTE DE VARILLA, ALAMBRE Y FABRICACIÓN DEL ARMADO PARA POSTE DE CONCRETO REFORZADO



Figura 4.5: Cortado de alambre con una guillotina.

Los tramos de alambre cortados son doblados en forma de “U” con ayuda de una guía de doblado, como se muestra en la Figura 4.6.



Figura 4.6: Doblado del alambre en forma de “U” usando una guía de doblado.

4.2.3. Fabricación de anillos

Los anillos son fabricados con alambre calibre 8. El alambre es cortado a una determinada longitud requerida con ayuda de una cortadora, usando un escantillón como guía para cada tipo de armado, ver Figura 4.7.

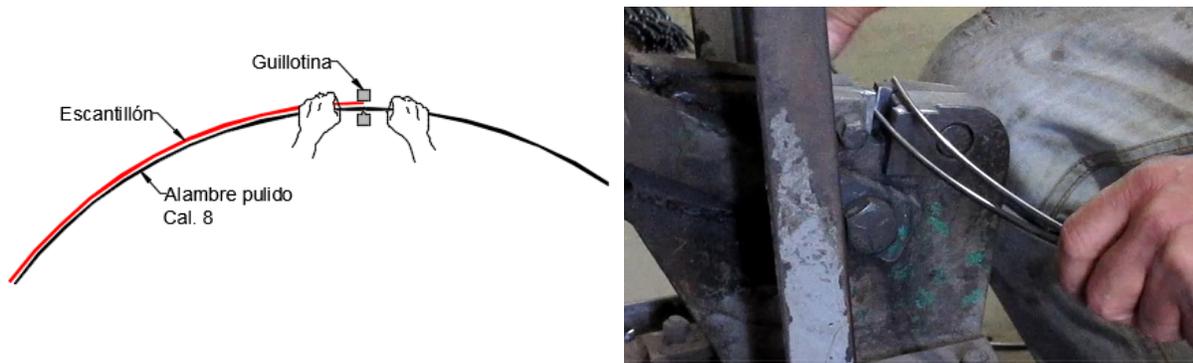


Figura 4.7: Corte de alambre calibre 8 utilizando escantillón de referencia.

Después los alambres cortados se trasladan al área de troquelado, donde, con ayuda de láminas, se troquelan de acuerdo a las especificaciones, como se muestra en la Figura 4.8.

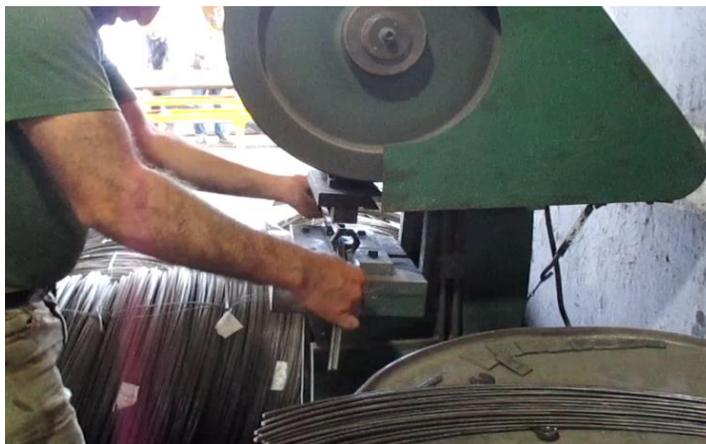
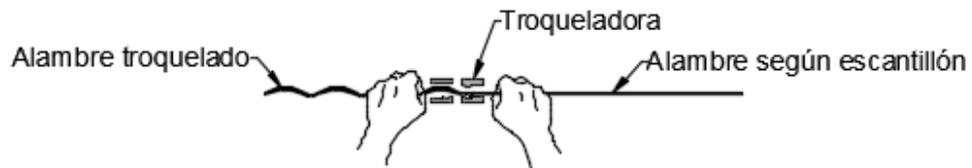


Figura 4.8: Troquelado de alambre calibre 8.

Posteriormente, el alambre troquelado se traslada a la mesa de doblado para darle forma de anillo al alambre con ayuda de las referencias de una mesa de doblado, ver la Figura 4.9 .

4.2. CORTE DE VARILLA, ALAMBRE Y FABRICACIÓN DEL ARMADO PARA POSTE DE CONCRETO REFORZADO



Figura 4.9: Doblado en forma de anillo del alambre calibre 8 troquelado.

4.2.4. Fabricación “U” de varilla

La varilla se corta con ayuda de un escantillón para U's de 50 cm, se traslada al área de doblado para darle forma de U con ayuda de las referencias que se encuentran en la mesa de doblado, como se muestra en la Figura 4.10.



Figura 4.10: Doblado de varilla en forma de “U” con ayuda de las referencias de la mesa de doblado.

4.2.5. Fabricación de Armado

Se toman las varillas con el tamaño de longitud requerido y se colocan sobre los “burros” de trabajo. Los de anillos son colocados en las varillas de acuerdo a las especificaciones, estas varillas deben empalmar en las muescas de los anillos, haciendo el primer amarre en donde el anillo se traslapa, esto con el fin de evitar que el anillo tenga juego y de rigidez a la estructura, como se muestra en la Figura 4.11.



Figura 4.11: Fabricación del armado.

Posteriormente se amarran dos U's en las puntas para evitar el desplazamiento de las varillas (ver Figura 4.12) y se coloca el poliducto (canalización a tierra), con un amarre de alambre recocido (ver Figura 4.13).

4.2. CORTE DE VARILLA, ALAMBRE Y FABRICACIÓN DEL ARMADO PARA POSTE DE CONCRETO REFORZADO



Figura 4.12: Colación de U's en las puntas del armado.



Figura 4.13: Ubicación de poliducto en armado.

4.2.6. Zunchado

El zunchado de los armados se realiza con alambre pulido calibre 11 (3.05 mm) y consiste en enredar el alambre en forma de espiral con ayuda de una maquina zunchadora, como se muestra en la Figura 4.14. El paso o separación de zunchado debe de cumplir con las especificaciones de la base a la punta.

Después de colocar el zunchado manualmente en los castillos, el espiral de los laterales se asegura con alambre recocado desde la base hasta la punta del armado para evitar su desplazamiento. A esta acción se le llama tejer el espiral, como se muestra en la Figura 4.15. Finalmente, los castillos son colados en el área de almacén.



Figura 4.14: Zunchado realizado con maquina zunchadora.



Figura 4.15: Tejido del espiral de zunchado con alambre recocado.

4.3. Traslado del armado hacia colado y su posicionamiento en molde. Parado, colado y marcado del producto

4.3.1. Parado de molde

Se realiza la limpieza del molde y se aplica desmoldante con ayuda de la bomba de aspersión en las caras interiores del molde y en la cimbra (alma o corazón), como se muestra en la Figura 4.16. Una vez aplicado el desmoldante el armado es trasladado, ver Figura 4.17.



Figura 4.16: Aplicación de desmoldante en moldes para poste.

El armado es trasladado con ayuda de una grúa viajera dentro de los moldes. Después se cierra el molde para darle la forma del producto terminado. Cerrando el molde se procesa a insertar el alma. El supervisor deberá aprobar el parado de moldes para poder comenzar a colar.

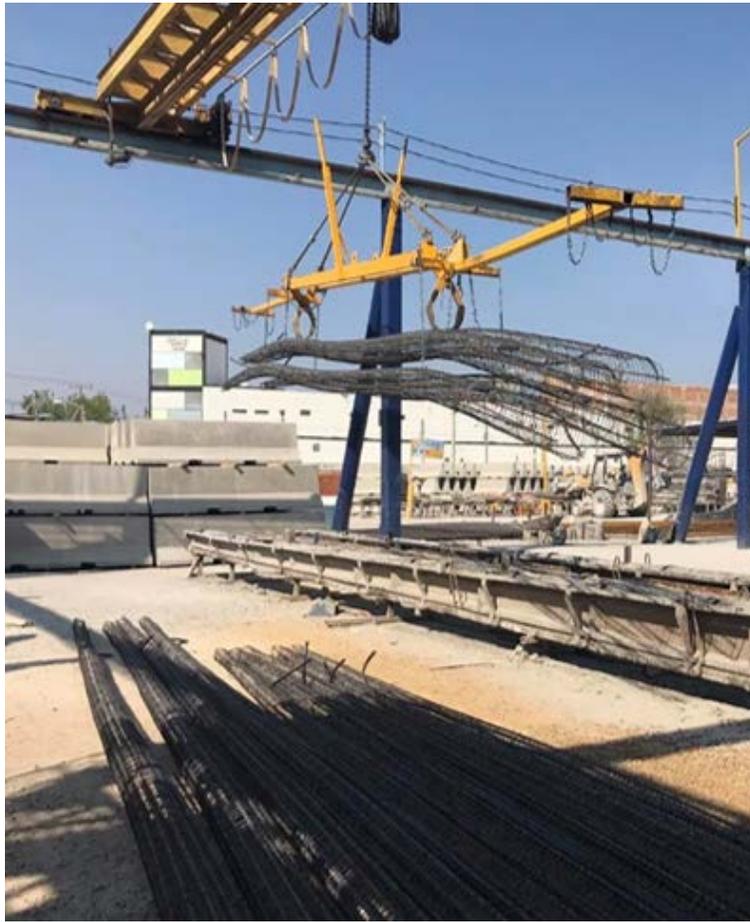


Figura 4.17: Traslado de armado con ayuda de grúa viajera.

4.3.2. Colado del molde

Para realizar el colado del molde se instalan vibradores de contacto con el molde en las posiciones indicadas, después se inserta un cable tipo “boa” de 3/8 pulgadas de diámetro dentro del poliducto para evitar que se introduzca concreto. El colado del molde se realiza por medio de un contenedor móvil de concreto fresco que va abriendo y cerrando sus compuertas para ir depositando la cantidad requerida de concreto en cada molde, como se muestra en la Figura 4.18.

4.3. TRASLADO DEL ARMADO HACIA COLADO Y SU POSICIONAMIENTO EN MOLDE. PARADO, COLADO Y MARCADO DEL PRODUCTO



Figura 4.18: Colado de postes con contenedor de concreto móvil.

4.3.3. Pulido del poste

El pulido del poste empieza con la verificación del nivel de concreto fresco en el molde que le da forma al poste, que el borde superior del molde no sea rebasado y en caso de que hiciera falta concreto se agrega. El pulido se realiza con ayuda de un cucharón desde la base hasta la punta en la cara superior del poste, como se muestra en la Figura 4.19.



Figura 4.19: Pulido de poste de concreto.

4.3.4. Colocación del punto de equilibrio, nomenclatura y retiro de alma

El marcado del punto de equilibrio se realiza después de la segunda pulida y una vez marcada la línea de los 3 metros. Se marca el punto de equilibrio de acuerdo a las especificaciones y de la misma forma se lleva a cabo el marcado de la nomenclatura con ayuda de un sello. La actividad de retiro del alma se realiza con una bomba hidráulica. Se considera que el alma se puede retirar cuando al aplicar fuerza con las yemas de los dedos sobre el poste de concreto, solo se marcan las huellas de los dedos sin que se hundan.

4.4. Traslado a pre-estibas, tapado y liberación del producto

4.4.1. Pre-estiba

El poste es retirado del molde al siguiente día de haber sido colado y con ayuda de la grúa viajera es colocado en la pre-estiba. Los postes se colocan sobre polines de madera desde donde es pulido de las aristas inferiores con una piedra de copa para

4.4. TRASLADO A PRE-ESTIBAS, TAPADO Y LIBERACIÓN DEL PRODUCTO

eliminar el filo, para posteriormente ser llevado al almacén, ver Figura 4.20.



Figura 4.20: Traslado de poste terminado a estibas.

4.4.2. Curado

El curado consiste en llenar los postes de agua después de haberles colocado las tapaderas tanto en la base como en la punta. Después se sella el orificio por donde se le introduce el agua para que no se tire durante las maniobras.

4.4.3. Liberación del producto

Se considerará un producto aceptado por la dirección de aseguramiento de calidad siempre y cuando el producto no presente daños considerados como críticos o mayores estipulados en el formato de inspección FCM-8202-03. Durante su almacenamiento se deberá de inspeccionar el producto y en caso de encontrar algún defecto se reporta. Para que el producto sea liberado se marca con un punto amarillo liberado por calidad, verde liberado por calidad y LAPEM y si es rechazo con un punto rojo.

4.5. Diagrama de Flujo del proceso de fabricación de Poste de Concreto

El diagrama de flujo no es más que trazar la imagen de un proceso [34]. Es una representación gráfica de un proceso. Cada paso del proceso es representado por un símbolo que contiene una breve descripción de la etapa de proceso. Los símbolos gráficos del flujo del proceso están unidos entre sí con flechas que indican la dirección de flujo de proceso.

El diagrama de flujo ofrece una descripción visual de las actividades implicadas en un proceso mostrando la relación secuencial entre ellas, facilitando la rápida comprensión de cada actividad y su relación con las demás, el flujo de la información y los materiales, las ramas en el proceso, la existencia de bucles repetitivos el número de pasos del proceso, las operaciones de interdepartamentales facilitan también la selección de indicadores de proceso.

El diagrama de flujo para la fabricación del poste de concreto reforzado se muestra en las Figuras 4.21 y 4.22. El proceso está dividido en tres áreas la primera es el proceso para la fabricación del concreto, la segunda es la fabricación del armado y por último el colado y la liberación del poste.

4.5. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE POSTE DE CONCRETO

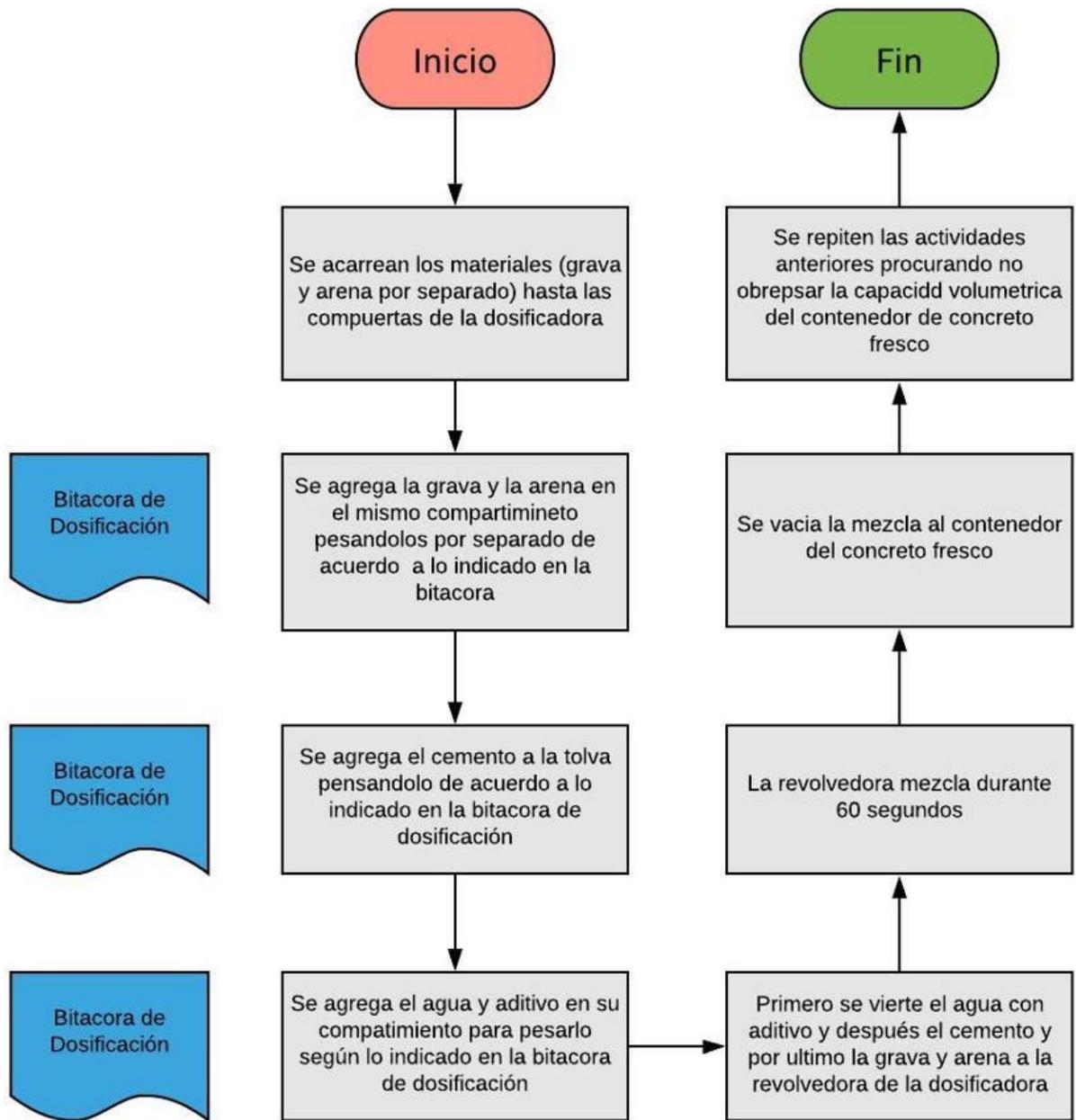


Figura 4.21: Diagrama de flujo del proceso de fabricación del poste concreto reforzado 1/2.

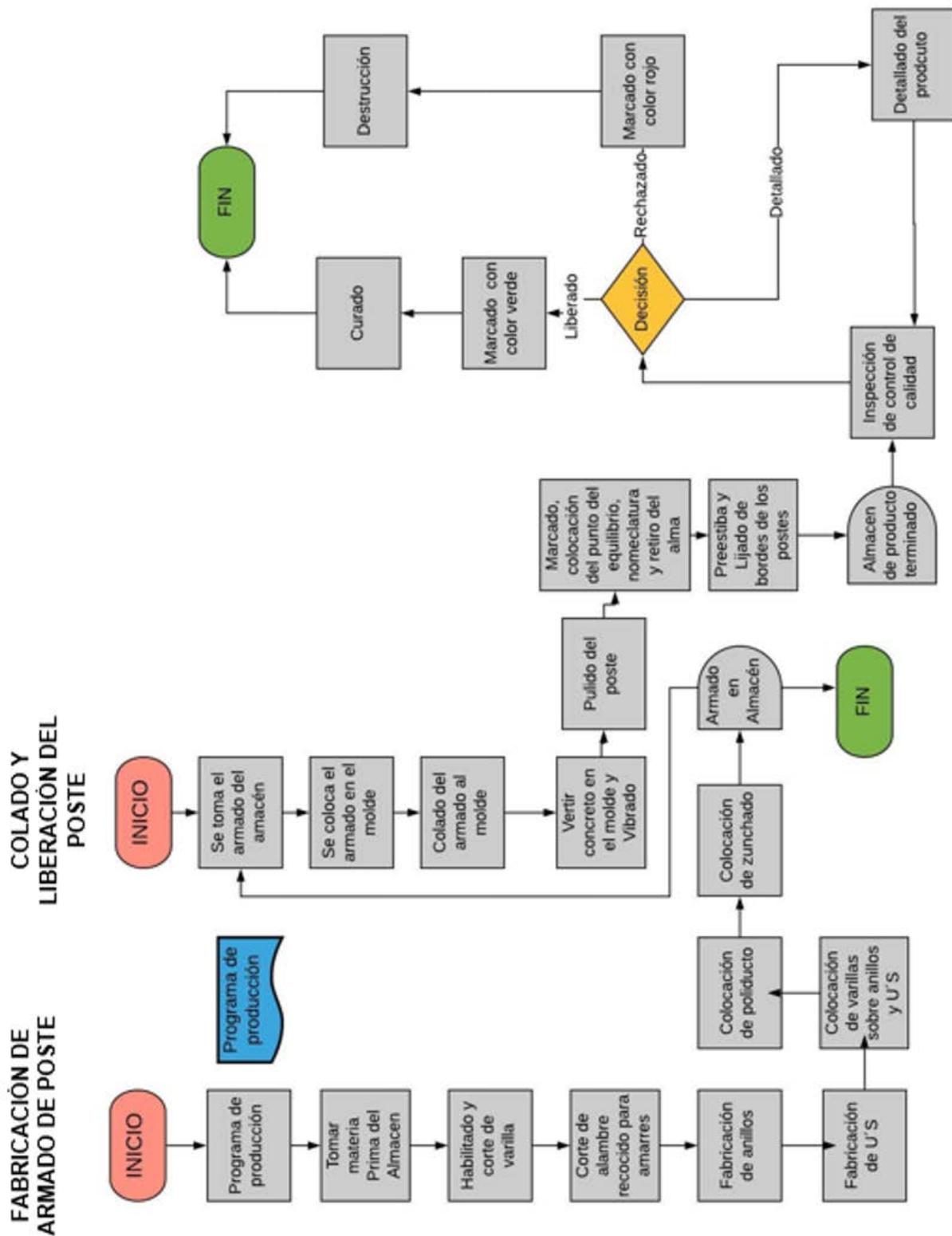


Figura 4.22: Diagrama de flujo del proceso de fabricación del poste concreto reforzado 2/2.

Capítulo 5

Control de calidad

Hacer bien las cosas no agrega nada al costo de un servicio o producto. Hacer mal las cosas es lo que cuesta dinero. Las empresas gastan de 15% a 20% de sus ventas en arreglar, desechar, repetir el servicio, inspección, pruebas y en otros costos relacionados con la calidad [35]. De acuerdo al mismo estudio, el deterioro de la calidad también daña la reputación de la empresa y provoca la emisión de reglamentos para las actividades comerciales. Muchos, o todos, los problemas de este tipo pueden prevenirse mediante el manejo adecuado de la operación del control de calidad.

Tomando en cuenta lo anterior es indispensable ejercer control en la calidad de los postes de concreto para garantizar su comportamiento estructural y garanticen una vida útil y de servicio eficiente. La calidad de los postes de concretos fabricados en CENMEX es evaluada por LAPEM organismo de la CFE. Según la especificación CFE J6200-03 Postes de Concreto en el Capítulo 9 Control de calidad menciona que los postes presentados para inspección y pruebas de flexión estática y de ruptura se realizan mínimo a los 28 días naturales de fabricación. Además, todos los instructivos, equipo y dispositivos de medición a utilizar deben estar calibrados por laboratorios de calibración acreditados o ser trasladados a patrones nacionales o internacionales conforme a lo indicado en el procedimiento PE K3000-03 vigente.

5.1. Pruebas de aceptación

Las muestras de un lote de producción son sometidas a una prueba de aceptación, atestiguadas por el personal de la CFE, con el fin de aceptarlas o rechazarlas conforme al procedimiento PE K3000-03 vigente. Las pruebas de aceptación que se realizan son las siguientes cuatro:

- Inspección visual y dimensional.
- Flexión estática.
- Ruptura.
- Revisión de certificados de acuerdo a lo indicado en el Capítulo 5. Características y condiciones Generales de la especificación CFE J6200-03 Postes de Concreto, se deben de presentar a la CFE los certificados de calidad de los materiales y resultados de las pruebas de laboratorio expedido por el fabricante o por un laboratorio acreditado conforme a lo indicado en el procedimiento PE K3000-01 vigente.

Las pruebas se realizan en las instalaciones del fabricante, los aparatos y equipos utilizados para las pruebas de flexión y de ruptura son las siguientes cinco:

- Dinamómetro con certificado de calibración.
- Diferencial (malacate).
- Patines con ruedas embaladas, como los que se muestran en la Figura 5.1.
- Mesa de pruebas con el piso pulido con las dimensiones indicadas que se muestran en la Figura 5.2.
- Placa metálica de acero de 9.53 mm de espesor, calibre U.S.G 000 (ver Figura 5.2).

5.1.1. Preparación para pruebas

Los postes de concreto para la prueba de flexión estática y de ruptura se colocan en posición horizontal empotrados y sujetos con cuñas de madera, dentro de las mordazas de la mesa de pruebas, para sujetar fijamente la longitud de empotramiento, como se muestra en la Figura 5.2.

La longitud de empotramiento debe ser una décima parte de la longitud de poste más 50 cm. El poste se debe apoyar en patines embalados sobre la plataforma de lámina de acero, colocados éstos en el centro de gravedad de la longitud libre. La posición de los apoyos debe garantizar que la carga aplicada al poste actúe en la dirección indicada por la flecha normal al eje del poste, Ver Figura 5.2.

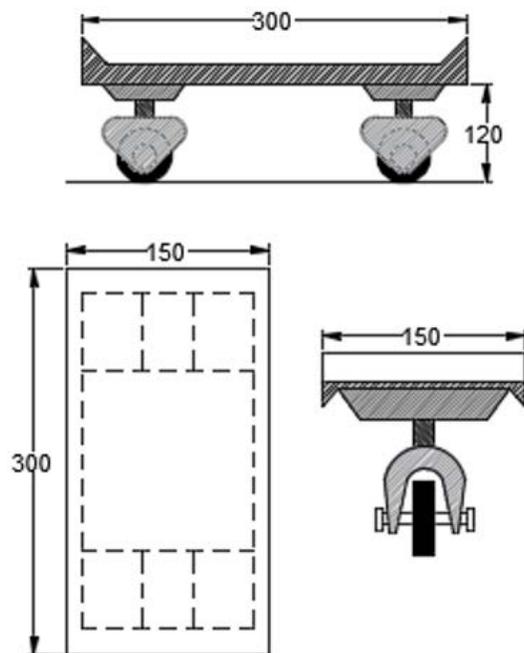


Figura 5.1: Patines con ruedas embaladas.

El resultado de esta prueba se considera satisfactoria, si la deformación permanente una vez relevada la carga correspondiente al 60% de la carga de ruptura, es menor o igual al 10% de la deformación máxima con carga y no se presenten grietas mayores que las capilares después de relevar la carga.

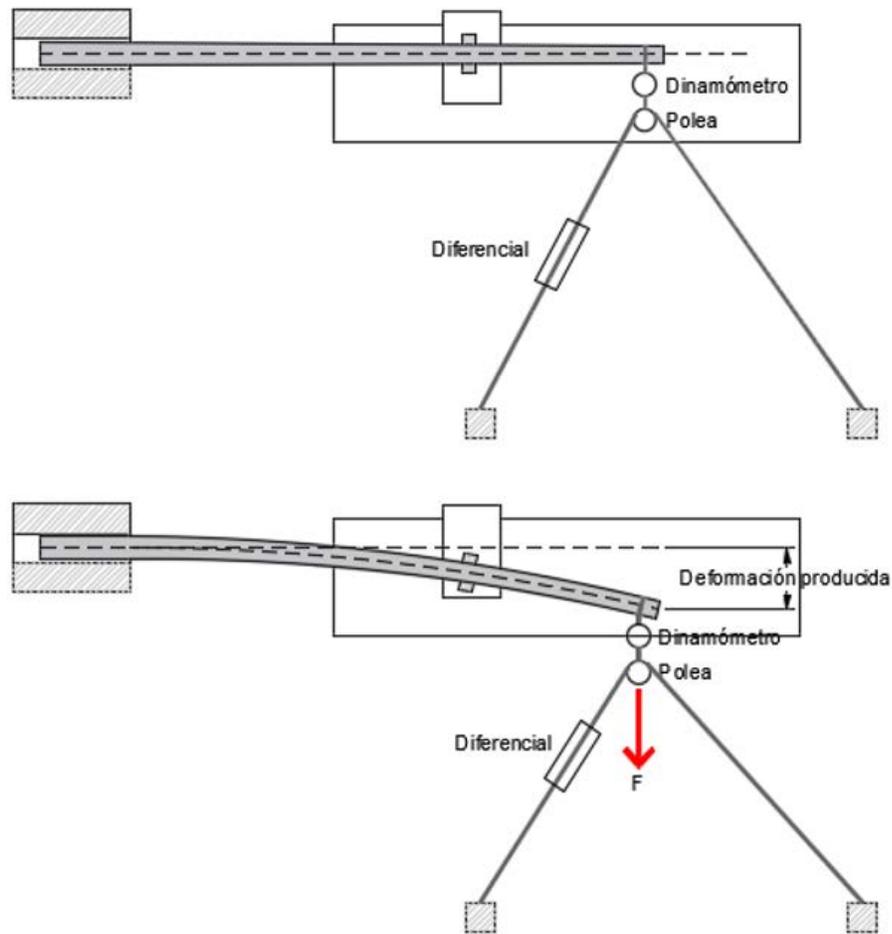


Figura 5.3: Pruebas de flexión estática.

5.1.3. Pruebas de ruptura

La carga se aplica a 30 cm de la punta y se efectúa inmediatamente de la prueba de flexión estática. Utilizando el mismo poste de la prueba de flexión estática, se aplica carga lentamente hasta llegar al valor de carga nominal, anotando su deformación. Inmediatamente después se continúa aplicando carga hasta la ruptura, anotando el

resultado obtenido y dando por terminada la prueba.

La prueba se considera satisfactoria si la carga de ruptura es mayor que los valores de resistencia de la carga nominal indicados en la Tabla 5.1, especificadas para el tipo de poste correspondiente, no debe de presentar falla ruptura en ninguna de las varillas longitudinales del poste. Después de remover la carga de ruptura, se debe descubrir el acero de refuerzo para comprobar el estado de las varillas.

Para los postes de concreto con acero de refuerzo grado 42, se considera satisfactorio si el valor de la carga de ruptura resulta igual o mayor en un 5% de la carga nominal, de acuerdo a la Tabla 5.2.

Para postes de concreto con acero de refuerzo grado 60, se considera satisfactorio si el valor de la carga de ruptura resulta igual o mayor en un 14% de la carga nominal, de acuerdo también a la Tabla 5.2.

POSTE DE CONCRETO REFORZADO TIPO COSTA Y NO COSTA								
Descripción corta	Dimensiones						Carga de prueba	Masa aprox. (kg)
	A	B	C	D	E	F		
	m	m	mm	mm	mm	mm	N	Kg
PCRGR60-12-750	12	1.8	150	330	206	53	7357	1049
PCRGR60-13-600	13	1.8	150	345	221	53	5889	1150
PCR-9C-400	9	1.8	150	285	161	53	3924	690
PCR-12C-750	12	1.8	150	330	206	53	7357	1049
PCR-13C-600	13	1.8	150	345	221	53	5886	1150
PCR-15C-800	15	1.8	150	375	271	73	7848	1320

Tabla 5.1: Poste de concreto reforzado tipo costa y no costa.

Un poste es rechazado si después de la prueba de ruptura se descubre el armado lo que significa que el espesor de la pared del poste es reducido o esta fuera de la tolerancia, o el espesor del recubrimiento se encuentra fuera de tolerancia, o el armado no cumple con las medidas especificadas, o el espiral de refuerzo no cumple con el amarre o la superficie del paso.

5.2. Procedimiento para el control del producto no conforme

El procedimiento para el control del producto no conforme pertenece a la empresa CENMEX el cual tiene como objetivo describir el proceso utilizado para garantizar que el producto no conforme se identifique inmediatamente después de ser encontrado, registre su tipo de producto, medida y número de serie, especifique los motivos de lesión o rechazo, así como su procedencia y tomar acciones necesarias cuando sea aplicable.

Cuando se encuentra producto en proceso y terminado no conforme se da aviso al inspector de control de calidad y/o en su caso al director de aseguramiento de calidad para que inspeccione el producto terminado de acuerdo a las Tablas de defectos para poste de concreto reforzado indicadas por la especificación J6200-03.

5.3. Clasificación de defectos

La clasificación de defectos se muestra de la Tabla 5.2 a la 5.4, los cuales están clasificados en defectos críticos, defectos mayores y defectos menores, estos mismos están divididos en clases identificadas con letras mayúsculas.

Después de inspeccionar el producto y para que este se considere no conforme se requiere tener cuando menos 1 defecto de la clase “A”, 2 defectos de la clase “B” y cuando se presenten combinaciones de las clases, el determinar un producto como no conforme, será responsabilidad del inspector, jefe o director de la calidad.

Defectos críticos	
Clase	Descripción
A	Armado expuesto interno o, externo
B	Resanes mayor a 20 cm de longitud
C	Aristas cortantes
D	Falta total del marcado de identificación
E	Deformación permanente mayor a 10% después de la flexión estática al 60% de carga
F	El refuerzo transversal no está de acuerdo a plano, falta de amarre cada dos pasos a dos varillas opuestas
G	El espesor del recubrimiento de concreto está fuera de tolerancia.
H	El espesor de pared está fuera de tolerancia
I	Dimensiones del postes están fuera de tolerancia
J	Dimensiones del poste están fuera de lo especificado en la tabla y figura correspondiente
K	Diámetro de varilla menor a lo indicado en plano correspondiente

Tabla 5.2: Defectos críticos.

5.3. CLASIFICACIÓN DE DEFECTOS

Defectos mayores	
Clase	Descripción
A	Marcado parcial: razón social o logotipo del fabricante, año de fabricación, longitud y/o línea de referencia de empotramiento y número de serie
B	Diseño o resane, L mayor a 12 cm
C	Estiba fuera de lo especificado en el inciso 10.1
D	Grietas mayor que los capilares (0.4 mm) en más de 40% del poste
E	Grietas longitudinales mayor a 50 cm
F	Aparición de grietas mayores que las capilares al liberar el 60% de la carga de flexión estática
G	Falta de canalización de referencia a tierra, falta de guía de tierra.

Tabla 5.3: Defectos mayores.

Defectos menores	
Clase	Descripción
A	Falta de marcado: siglas CFE, centro de gravedad y número de serie
B	Superficie rugosa y burbujas, en un área menor a% de superficie del poste
C	Excedente de concreto en el rasado mayora 1m de L poste
D	Curvatura, flecha mayor a 0.4% longitud del poste.
E	Socavado e imperfecciones en aristas menor de 1/15 L poste
F	Manchas, suciedad u otras adherencias de concreto
G	Falta de tapa en la base de poste terminado

Tabla 5.4: Defectos menores.

Capítulo 6

Formulación del modelo matemático

Calcular la cantidad de alambre que se consume para los anillos y el zunchado es parte fundamental para dar cumplimiento a las pruebas de calidad. Ambos materiales se encuentran en la clasificación de los defectos críticos, sin embargo, la información para su fabricación es escasa. Por ejemplo, en la empresa CENMEX no existen registros de datos, documentos o investigaciones que fundamenten que la longitud que tiene los escantillones es la correcta, no se conoce por qué la longitud de los escantillones para anillos tiene esa medida y el operario es el único que conoce el proceso de su fabricación.

6.1. Modelo matemático para consumo de alambre calibre 8

De acuerdo con el plano de armado correspondiente, las varillas deben de empalmar en las muescas de los anillos, por lo tanto, la cantidad de muescas y el diámetro del anillo son variables y dependen de la posición en la que se encuentren a lo largo del poste, ya que la sección del poste es variable y disminuye desde la base hasta la punta como se muestra en la Figura 6.1. Fue necesario usar el método de interpolación lineal para conocer la sección del poste en la cual está ubicado el anillo respecto a una distancia de la base requerida. La información de la distancia de los anillos respecto a la base fue mostrada en la Tabla 3.4.

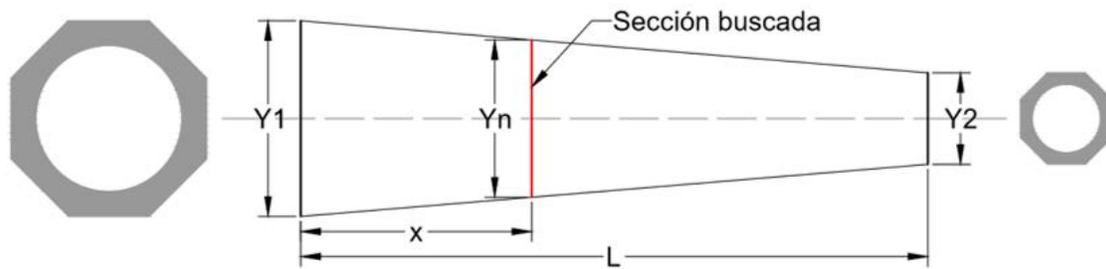


Figura 6.1: Vista Longitudinal del poste.

La fórmula dada en la Ecuación 6.1 es usada para conocer la sección del poste mediante interpolación:

$$Y_n = \frac{Y_2 - Y_1}{L} x + Y_1 \quad (6.1)$$

donde Y_n es la sección del poste buscada; Y_1 es la sección mayor conocida; Y_2 es la sección menor conocida; L es la longitud del poste y; x es la distancia respecto a la base de la sección que se desea conocer.

Una vez obtenidas las secciones del poste para cada uno de los anillos con el programa de AutoCAD se dibujaron y representaron los anillos respetando las especificaciones CFE J6200-003 para la fabricación de postes de concreto como se muestra en la Figura 6.2. Desde el exterior hasta el interior del poste se considera un espacio de 25 mm como recubrimiento de concreto, en seguida el zunchado de los armados con alambre pulido de 3.06 mm de diámetro, después el refuerzo longitudinal que puede ser de 8 a 16 varillas de diámetro de 3/8 o 1/2 de pulgada, según el armado correspondiente. Finalmente, el anillo de 4.11 mm de diámetro con el número de muescas correspondiente.

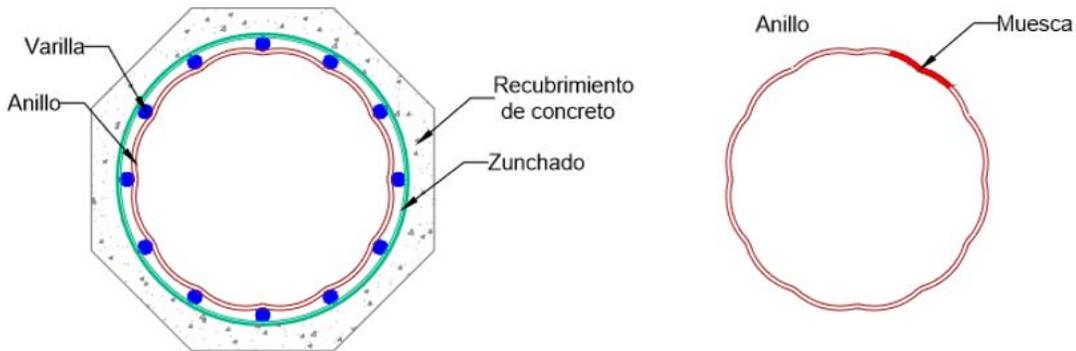


Figura 6.2: Representación de anillo.

Todo este trabajo también conllevó a que se dibujaran los anillos de cada tipo de poste con el fin de obtener tanto la longitud lisa del anillo como la longitud troquelada. En la Figura 6.3, se indica cómo se representó la longitud del alambre troquelado, primero se extrajo una muesca del anillo dibujado, considerando tener “**n**” + 1 número de muescas donde **n** es igual al número de muescas. La muesca adicional se requiere para dar una longitud de traslape a la varilla que forma el anillo. Por lo tanto, la distancia del traslape es equivalente a la distancia de una muesca de su respectivo anillo.

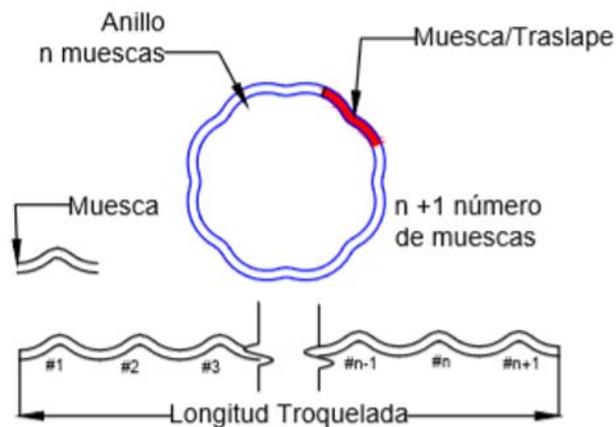


Figura 6.3: Representación de longitud troquelada.

Para conocer la longitud lisa del alambre con el que es formado cada anillo se toma en cuenta el eje neutro ya que aquí la longitud no se deforma, es decir, en esta posición no se tienen cambios durante el troquelado. Se elaboró una hoja de cálculo

en Excel que se muestra en la Tabla 6.1, en la cual se ingresaron los datos que corresponden a cada tipo de poste para obtener la longitud lisa total del anillo. En la Figura 6.4, se indican las dimensiones que corresponden A, B, D1, D2 y D3 que se ingresan en la Tabla 6.1. La “sección de poste” es un dato obtenido en la interpolación lineal y es la sección que le corresponde a cada anillo según su ubicación a lo largo del poste. Los datos B, D1, D2, D3 y número de muescas son especificaciones de acuerdo con la norma correspondiente. El número de muescas adicionales se consideró para agregar una longitud adicional necesaria para traslape.

CÁLCULO DE LONGITUD LISA DE ANILLOS												
Clave	Descripción	Número de anillo	Sección poste (A)	Recubrimiento (B)	Diámetro varilla zuncho (D1)	Diámetro varilla refuerzo (D2)	Diámetro varilla de anillo (D3)	Número de muescas	Longitud media muesca	Longitud anillo	Muecas adicionales	Longitud total
			cm	cm	cm	cm	cm		cm			
6-G60	PCR- 12-750	1	32.95	2.5	0.306	0.95	0.411	8	5.21	83.33	1	93.75
6-G60	PCR- 12-750	3	31.28	2.5	0.306	0.95	0.411	16	2.35	75.08	1	79.78
6-G60	PCR- 12-750	16	20.16	2.5	0.306	0.95	0.411	12	1.65	39.71	1	43.02
8	PCR- 13C-600	1	34.42	2.5	0.306	1.27	0.411	12	3.51	84.13	1	91.14

Tabla 6.1: Cálculo de longitud lisa de anillos.

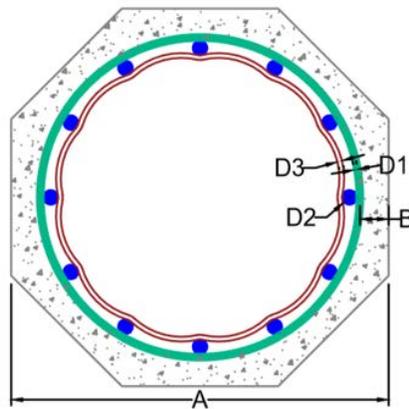


Figura 6.4: Dimensiones auxiliares para Tabla 6.1

La Tabla 6.2 es complemento de la Tabla 6.1, en ella se muestran los cálculos necesarios para conocer la longitud de media muesca. Por conveniencia se decidió calcular la longitud solamente de media muesca, debido a que el anillo es una figura geométrica regular y para obtener la longitud total del anillo basta con multiplicar la

6.1. MODELO MATEMÁTICO PARA CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8

longitud de media muesca por el doble del número de muescas.

CÁLCULO AUXILIAR PARA LONGITUD DE MEDIA MUESCA																
β	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7	L8	L9	$\alpha 1$	$\alpha 2$	$\alpha 3$	arc1	$\alpha 4$	arc2	Longitud media muesca
grados	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	rad	rad	rad	cm	rad	cm	cm
45	13.19	12.19	5.63	9.33	2.33	9.33	7.00	3.70	7.91	0.79	1.08	0.30	0.20	0.69	5.00	5.21
22.5	12.36	12.12	5.94	11.42	1.18	4.73	3.55	5.47	6.52	1.18	0.57	0.18	0.11	0.38	2.23	2.35
30	6.80	6.57	3.17	5.89	0.85	3.40	2.55	2.72	3.73	1.05	0.75	0.23	0.16	0.49	1.50	1.65
30	13.77	13.30	6.42	11.92	1.72	6.88	5.16	5.50	7.54	1.05	0.75	0.23	0.18	0.49	3.32	3.51

Tabla 6.2: Ejemplo de cálculo para obtener longitud de media muesca.

En la Figura 6.5 se muestran las longitudes de L1 a L9 y los ángulos β , $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ y $\alpha 4$ que son necesarios para conocer la longitud de los arcos (arc1, arc2) que conforman a una media muesca y se obtienen de acuerdo con los cálculos siguientes:

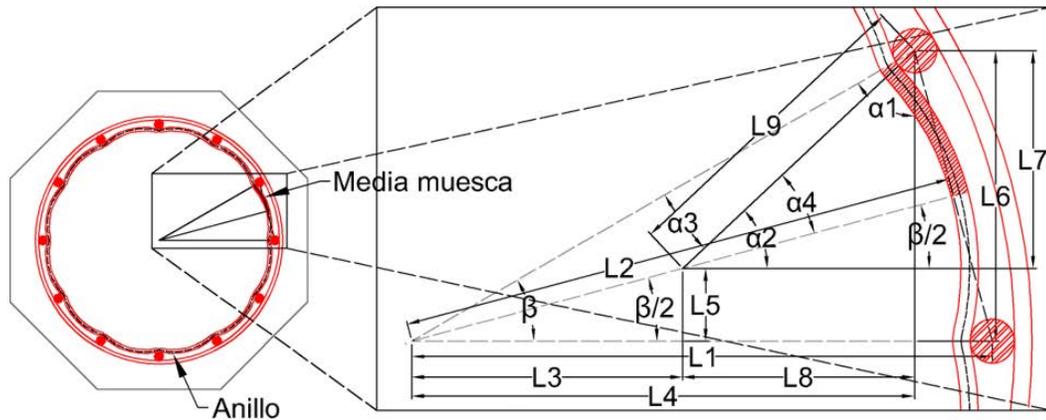


Figura 6.5: Longitudes auxiliares para cálculo de media muesca de la Tabla 6.2.

donde:

β es el ángulo que separa a cada una de las varillas de refuerzo y equivale a 360° dividido por el número de muescas.

$$\beta = \frac{360^\circ}{\#demuestras} \quad (6.2)$$

L1 es la mitad de la sección del poste menos el recubrimiento, menos el diámetro de la varilla del zunchado y menos un radio de la varilla de refuerzo.

$$L1 = \frac{1}{2}A - B - D1 - \frac{1}{2}D2 \quad (6.3)$$

L2 es la longitud que divide el ángulo β en dos partes iguales formando un triángulo rectángulo del cual se conocen la hipotenusa (L1) y el ángulo adyacente ($\beta/2$), siendo L2 el cateto opuesto y para calcularlo se usó la Ecuación 6.4.

$$L2 = L1 \cos(\beta/2) \quad (6.4)$$

L3 es la distancia horizontal que hay entre el centro geométrico del poste hasta la mitad de L2. Para conocer su longitud, de igual manera que L2, se forma un triángulo rectángulo del cual se conoce la hipotenusa equivalente a la mitad de L2 y el ángulo adyacente ($\beta/2$) al cateto L3.

$$L3 = \frac{1}{2}L2 \cos(\beta/2) \quad (6.5)$$

L4 es la longitud horizontal medida desde el centro geométrico del poste hasta el eje de la varilla de refuerzo que se encuentra desplazada un ángulo β respecto a la horizontal. Se forma un triángulo rectángulo donde L1 es la hipotenusa y β el ángulo adyacente al cateto L4.

$$L4 = L1 \cos \beta \quad (6.6)$$

L5 es la distancia vertical del centro geométrico del poste hasta el punto medio de L2. Se forma un triángulo rectángulo del que se conocen el cateto adyacente (L3) y el ángulo adyacente ($\beta/2$).

$$L5 = L3 \tan(\beta/2) \quad (6.7)$$

L6 es la distancia vertical del centro geométrico del poste hasta el eje de la primera varilla de refuerzo que fue desplazada un ángulo β respecto a la horizontal. Para conocer su longitud se consideró L1 como hipotenusa y L6 como el cateto opuesto respecto al ángulo β .

$$L6 = L1 \sin \beta \quad (6.8)$$

L7 es longitud a partir del punto medio de L2 hasta el eje de la varilla de refuerzo. Se obtiene con la diferencia entre L6 y L5.

$$L7 = L6 - L5 \quad (6.9)$$

6.1. MODELO MATEMÁTICO PARA CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8

L8 es la longitud horizontal partiendo del punto medio de L2 hasta el eje de la varilla de refuerzo y su longitud es la diferencia entre L4 y L3.

$$L8 = L4 - L3 \quad (6.10)$$

L9 es la longitud corresponde a la hipotenusa de un triángulo recto formado a partir del punto medio de L2 hasta el eje de la varilla de refuerzo, para calcular su longitud se utilizó teorema de Pitágoras donde L8 y L7 son los catetos.

$$L9 = \sqrt{L8^2 + L7^2} \quad (6.11)$$

α_1 es el ángulo que se forma en un rectángulo cuyo cateto adyacente es L6 y el cateto opuesto es L4. Se utilizó la función trigonométrica \tan^{-1} para conocer este ángulo.

$$\alpha_1 = \tan^{-1} \left(\frac{L4}{L6} \right) \quad (6.12)$$

α_2 mide la inclinación de la recta L9 respecto a la horizontal y es la relación tangencial entre el cateto opuesto L7 y el cateto adyacente L8.

$$\alpha_2 = \tan^{-1} \left(\frac{L7}{L8} \right) \quad (6.13)$$

α_3 es el ángulo de apertura del arco arc1. Su valor es la diferencia entre α_1 y $90^\circ - \alpha_2$.

$$\alpha_3 = \alpha_1 - (90 - \alpha_2) \quad (6.14)$$

arc1 es la mitad de la longitud del arco formado en el anillo en el punto en el que rodea a la varilla de refuerzo. El valor de la longitud de un arco es igual al producto del radio multiplicado por el ángulo de apertura. En este caso, el ángulo de apertura es α_3 y el radio es igual la suma de un radio de la varilla de refuerzo más un radio de la varilla utilizada en el anillo.

$$\text{arc1} = \alpha_3 \left(\frac{1}{2}D2 + \frac{1}{2}D3 \right) \quad (6.15)$$

arc2 representa la mitad de la longitud del arco que se forma entre muesca y muesca. El ángulo de apertura es α_4 y el radio del arco es igual a L9 menos el radio del arco arc1.

$$\text{arc2} = \alpha_4 \left(L9 - \left(\frac{1}{2}D2 + \frac{1}{2}D3 \right) \right) \quad (6.16)$$

Finalmente, la longitud de media muesca es la suma del arc1 y arc2, que posteriormente debe de ser multiplicada por el doble del número de muescas más 1 muesca adicional que corresponde al traslape y así obtenemos la longitud total de alambre liso para el anillo correspondiente. La Tabla 6.3 muestra el resultado del diámetro de arco a arco que le corresponde al número de anillo, las letras A, B, D1, D2, D3 y número de muescas son los datos mencionados en el cálculo de longitud de anillos que son indicados por la especificación.

CÁLCULO DE LONGITUD DE DIÁMETRO DE ARCO A ARCO									
Clave	Descripción	Número de anillo	Sección poste (A)	Recubrimiento (B)	Diámetro varilla zuncho (D1)	Diámetro varilla refuerzo (D2)	Diámetro varilla de anillo (D3)	Número de muescas	Diámetro de arco a arco
			cm	cm	cm	cm	cm		cm
SKU	PCR- 12-750 G60	1	32.93	2.5	0.306	0.95	0.411	8	27.04
SKU	PCR- 12-750 G60	2	32.01	2.5	0.306	0.95	0.411	8	26.07
SKU	PCR- 12-750 G60	3	31.29	2.5	0.306	0.95	0.411	16	24.23

Tabla 6.3: Cálculo de longitud de diámetro de arco a arco.

El diámetro de arco a arco se representa en la Figura 6.6, identificada con la literal L10. Para obtener el diámetro fue necesario extraer las longitudes de L3, L5 y L9 obtenidas en las fórmulas 6.5, 6.7 y 6.11. Posteriormente se aplica la fórmula de la Ecuación 6.17.

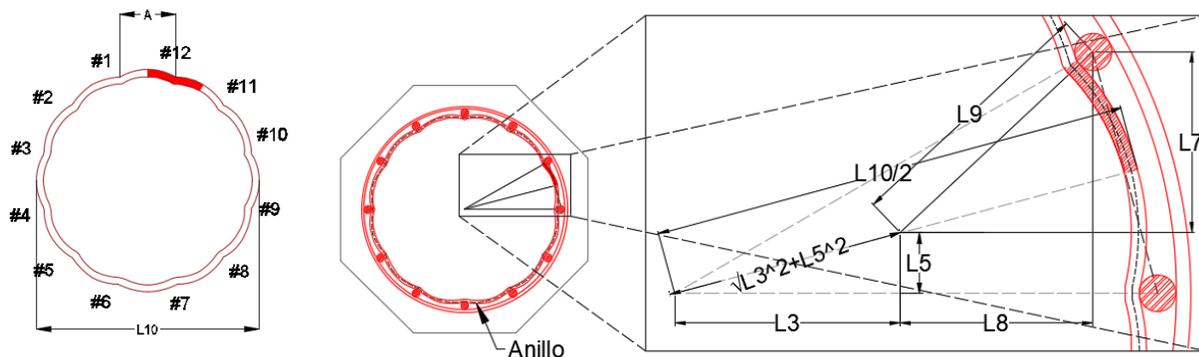


Figura 6.6: Diámetro de arco a arco.

6.1. MODELO MATEMÁTICO PARA CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8

$$B = 2 \left(\sqrt{L3^2 + L5^2} + L9 - \frac{1}{2}D2 \right) \quad (6.17)$$

Los últimos dos anillos están conformados por cuatro muescas para la ubicación de cuatro varillas. Estos anillos tienen forma de cuadros y se ubican en la sección sólida del poste. La Figura 6.7 muestra la representación del cuadro en corte transversal de su ubicación en el poste de concreto.

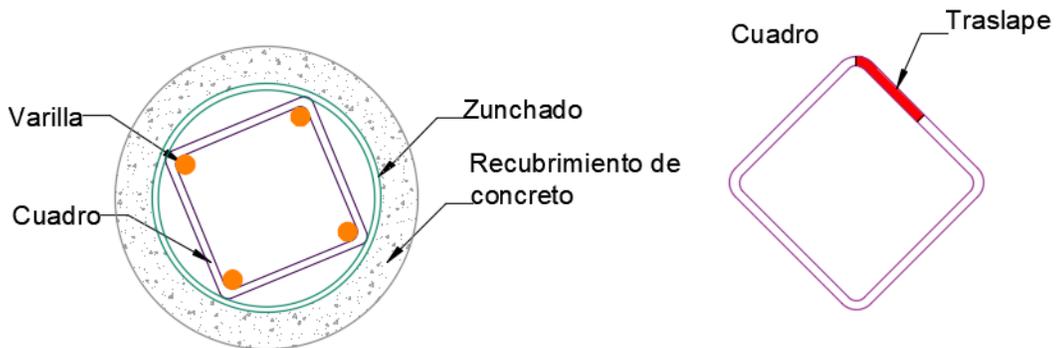


Figura 6.7: Cuadro en corte transversal en el poste de concreto.

Para calcular la longitud de alambre que se utiliza para fabricar cada uno de los cuadros, se elaboró una hoja de cálculo en Excel. La Tabla 6.4 muestra un ejemplo para calcular las longitudes de alambre para los cuadros que corresponden al poste de concreto de 12 metros grado 60.

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE ALAMBRE PARA CUADROS										
Descripción	Número de cuadro	Sección del poste	Recubrimiento (B)	Diámetro de varilla de cuadro (D1)	Diámetro de doblez (D4)	A	B	Long. Estribo sin traslape	Traslape	Longitud total
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
PCR- 12-750 G60	21	15.71	2.5	0.41	1.27	8.62	6.10	29.66	7.42	37.08
PCR- 12-750 G60	22	15.08	2.5	0.41	1.27	7.98	5.64	27.86	6.97	34.83

Tabla 6.4: Calculo de la longitud de alambre para cuadros.

La Figura 6.8 muestra las longitudes requeridas para realizar los cálculos correspondientes,

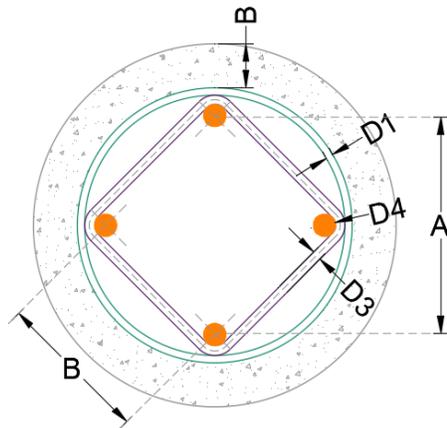


Figura 6.8: Longitudes para realizar los cálculos correspondientes.

donde:

D4 es el diámetro interior de doblez del cuadrado.

A es la longitud de varilla a varilla opuesta y se calcula mediante la ecuación 6.18.

$$A = \text{sección del poste} - 2B - 2D1 - 2D3 - D4 \quad (6.18)$$

B es la longitud de los cuatro lados rectos del cuadrado y se calcula usando la Ecuación 6.19.

$$B = \frac{A}{\sqrt{2}} \quad (6.19)$$

La longitud estribo sin traslape es la longitud de alambre con el que se forma el cuadrado, sin considerar un traslape y se calcula mediante la Ecuación 6.20.

$$\text{longitud estribo sin traslape} = 4B + \pi(D4 + D3) \quad (6.20)$$

El traslape es la longitud adicional de traslape, el cual se calcula empleando la Ecuación 6.21.

$$\text{traslape} = \text{longitud total} - \text{longitud estribo sin traslape} \quad (6.21)$$

Finalmente, la longitud total, la cual es expresada como:

$$\text{longitud total} = \frac{5}{4} \text{longitud estribo sin traslape} \quad (6.22)$$

6.2. Desarrollo de modelo matemático para consumo de alambre calibre 11

Las varillas de refuerzo longitudinal del poste conforman una sección cónica debido al cambio de sección del poste. Inicia con una sección en la base y esta disminuye conforme se acerca a la punta del poste. El alambre de refuerzo transversal (zunchado) se encuentra abrazando el refuerzo longitudinal de manera cónico helicoidal y por especificación se debe de cumplir un paso específico entre cada una de las vueltas del zunchado.

Para conocer la longitud del zunchado partimos en que su forma se crea a partir de una espiral que se desarrolla a todo lo largo del poste, por lo tanto, podemos obtener la longitud de una espiral de manera plana y después se complementará con la longitud del poste.

Se parte de que la longitud del arco (L) de una curva se puede obtener con la Ecuación 6.23:

$$L = \int_a^\beta \left[\rho^2 + \left(\frac{d\rho}{d\theta} \right)^2 \right]^{1/2} d\theta \quad (6.23)$$

La longitud de la espiral surge de la relación entre el radio de un círculo r , la revolución del mismo θ y la longitud de un arco L , como se muestra en la Figura 6.9.

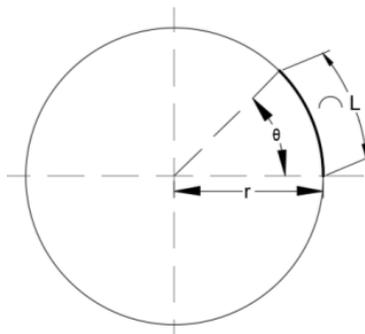


Figura 6.9: Relación entre las variables r , θ y L .

Por lo tanto, la longitud del arco se puede obtener mediante la Ecuación 6.24

$$L = \int_0^{\theta_{total}} r d\theta \quad (6.24)$$

y cuya solución es

$$L = r\theta \quad (6.25)$$

Sin embargo, nuestro caso considera un radio que varia en función de la posición angular, como se muestra en la Figura 6.10.

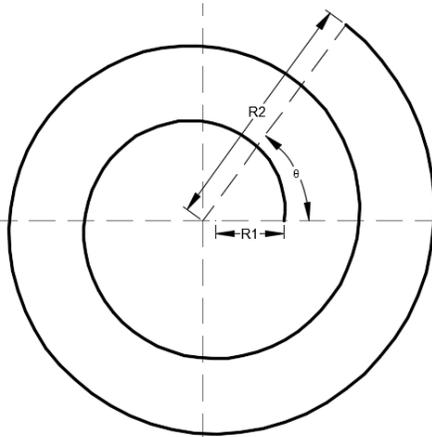


Figura 6.10: Longitud de un arco en función del radio variable.

donde $R1$ es el radio menor; $R2$ es el radio mayor y; θ es el ángulo entre ellos. Además, en la Figura 6.10 se muestra como a partir del radio $R2$ se reduce una parte proporcional de la diferencia entre $R2$ y $R1$ según sea el ángulo de revolución de interés y el ángulo total de revolución. De esta manera, se tiene un radio que varia en función del giro, como se representa en la Ecuación 6.26.

$$r(\theta) = R2 - \frac{R2 - R1}{\theta_{total}}\theta \quad (6.26)$$

Tomando la Ecuación 6.24 y sustituyendo el radio r por el radio $r(\theta)$ de la Ecuación 6.26, se obtiene la Expresión 6.27

$$L = \int_0^{\theta_{total}} \left(\frac{R2 - R1}{\theta_{total}}\theta \right) d\theta \quad (6.27)$$

Resolviendo la integral, evaluándola en el intervalo indicado y reduciendo términos se tiene

$$L = \frac{\theta_{total}(R1 + R2)}{2} \quad (6.28)$$

La Figura 6.11 muestra una vista frontal del desarrollo del zunchado de manera cónico helicoidal.

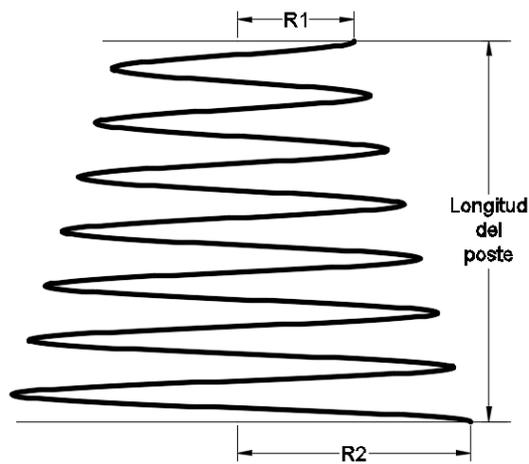


Figura 6.11: Vista frontal del desarrollo del zunchado de manera cónica helicoidal.

Esta claro que si se desenrolla el alambre del zunchado se obtiene una longitud recta dando lugar al triangulo rectangulo que se muestra en la Figura 6.12. Observe que la longitud del alambre para zunchado representa la hipotenusa del triángulo, donde los catetos son la longitud de la espiral y la longitud del poste. Por lo tanto, para calcular la longitud del alambre de zunchado se aplica el teorema de Pitágoras.



Figura 6.12: Longitud total desarrollada.

6.3. Aplicación del modelo matemático

En la Tabla 6.3 se muestra el ejemplo de la hoja de cálculo que es adaptable para todos los modelos de postes la cual contiene en las celdas las fórmulas para obtener radio mayor y menor de zunchado, número de vueltas de zunchado, ángulo total de giro de zunchado y la longitud de alambre para zunchado.

CÁLCULO DE ZUNCHO POSTE PCR-13-600												
Dist. A la base (mm)	Sección del poste	Recubrimiento	Diámetro de alambón para zuchado	Radio de alambón para zuchado		Longitud de desarrollo del zuchado	Radio mayor de zuchado	Radio menor de zuchado	Paso de zuchado	Número de vueltas del zuchado	Ángulo total de giro de zuchado	Longitud de alambre para zuchado
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		L (mm)	R1 (mm)	R2 (mm)	p (mm)		(rad)	(mm)
25	344.63	25.00	3.05	145.79	R1							
12975	150.38	25.00	3.05	48.66	R2	12950	145.79	48.66	40	323.75	2034.18	198196.8

Tabla 6.5: Cálculo de zuncho poste PCR-13-600.

Para obtener el radio del alambre donde inicia (radio mayor R1) y donde termina (radio menor R2) el zuchado consiste en conocer la sección del poste donde se encuentra R1 y R2 respecto a la distancia de la base, los cuales se obtienen a partir de la interpolación lineal, posteriormente se resta el recubrimiento y el diámetro del alambre para zuchado y es dividido entre dos para obtener los radios.

Para calcular el ángulo total de giro (θ_{total}) de zuchado, que es multiplicado por la suma de R1 y R2, y dividido entre dos para conocer la longitud del espiral (Ecuación 6.28, es necesario obtener el número de vueltas del zuchado, el cual depende del paso del zuchado y de la longitud de desarrollo del zuchado mediante la Ecuación 6.29.

$$\text{número de vueltas de zuchado} = \frac{\text{longitud de desarrollo de zuchado}}{\text{paso de zuchado}} \quad (6.29)$$

El ángulo total de giro del zuchado se obtiene multiplicando el número de vueltas del zuchado por el valor en radianes de una vuelta:

$$\text{ángulo total de giro de zuchado} = 2\pi \cdot \text{número de vueltas del zuchado} \quad (6.30)$$

La longitud de desarrollo del zuncho y el paso de zuchado son los valores ingresados en la Tabla indicados por la especificación J6200-03 con el fin de conocer la longitud de alambre para zuchado.

Capítulo 7

Resultados

En la empresa CENMEX, los documentos para el diseño de los productos no estaban actualizados. Para solucionar este problema se diseñaron planos de ingeniería para cada poste de concreto reforzado abordados en esta investigación que permitieran hacer cálculos confiables de los consumos teóricos.

Además, en esta tesis se realizó una comparativa de los consumos propuestos obtenidos con el cálculo teórico con respecto a las cantidades registrados en el sistema ERP del consumo de material para alambre pulido calibre 8 utilizado para la fabricación de anillos, y calibre 11, utilizado para el zunchado que forman parte de la estructura para la fabricación del poste de concreto octagonal. Posteriormente, se determinó la conveniencia del cambio de los consumos registrados en el sistema ERP de la empresa CENMEX en los materiales anteriormente mencionados.

7.1. Generación de planos de ingeniería

Para realizar los planos de ingeniería de los postes de concreto se extrajo información establecida por la especificación CFE J6200-03 Postes de concreto que se muestra en la Tabla 7.1, y del procedimiento para la fabricación, almacén y carga al cliente del poste de concreto reforzado octagonal PCM-7505, el cual se muestra en la Tabla 7.2. Se realiza un checklist que contiene un listado de los elementos necesarios.

ESPECIFICACIÓN CFE J6200-03 POSTES DE CONCRETO	
Punto	Descripción
5.1 pag.2-3	Tolerancias máximas permitidas en postes de concreto
a)	Longitud
b)	Dimensiones Transversales
c)	Canalización
d)	Distancia entre anillos
e)	Recubrimiento de concreto
f)	Paso entre espirales
g)	Espesor de pared
5.3.4.1 pag.8	Refuerzo corrugado
5.3.4.3 pag.9	Acero grado 60
5.3.4.4 pag.9	Refuerzo transversal
5.3.4.5 pag.9	Armados
5.3.4.6 pag.9	Anillos
5.3.4.7 pag.9	Amarres
5.3.4.8 pag.10	Canalización de referencia a tierra
5.4.1 pag.10	Tabla 8. Resistencia a compresión del concreto
Figura 21 pag.48	Poste PCRGR60-12-750
Figura 22 pag.49	Poste PCRGR60-13-600
Figura 8 pag.35	Poste PCR-12-750
Figura 4 pag.31	Poste PCR-9-400
Figura 10 pag.37	Poste PCR-13-600
Figura 12 pag.39	Poste PCR-15C-800

Tabla 7.1: Especificación CFE J6200-03 postes de concreto.

PROCEDIMIENTO PARA LA FABRICACIÓN, ALMACÉN Y CARGA AL CLIENTE DEL POSTE DE CONCRETO REFORZADO OCTAGONAL	
Punto	Descripción
7.2.1.6 pag.12	Tabla de diámetros y distancias entre anillos de poste 12C-750
7.2.1.3 pag.9	Tabla de diámetros y distancias entre anillos de poste 9C-400
7.2.1.3 pag.9	Tabla de diámetros y distancias entre anillos de poste 9C-400
7.2.1.8 pag.14	Tabla de diámetros y distancias entre anillos de poste 13C-600
7.2.1.10 pag.16	Tabla de diámetro y distancias entre anillos de poste 15C-800
9.1.10 pag.25	Zunchado de armados con alambre pulido cal. 11
9.1.12 pag.26	Tabla de paso de zunchado de espiral armados para postes octagonal
9.1.13 pag.26	Tejido de espiral con alambre recocido cal. 18
9.4.2 pag.28	Tabla de longitud de poliducto
Anexo 2	Tabla de medidas para la colocación del punto de equilibrio

Tabla 7.2: Procedimiento para la fabricación, almacén y carga al cliente del poste de concreto reforzado octagonal.

7.1. GENERACIÓN DE PLANOS DE INGENIERÍA

Teniendo los datos anteriores, se elaboró el plano de ingeniería con las tablas de especificación de anillos mostradas dentro la la Figura 7.2.

Cada plano cuenta con solapa horizontal que contiene información de la empresa y logotipo, clave y descripción del producto, unidades, escala y número de revisiones del plano; una solapa vertical que incluye el número del plano, notas, especificaciones, área de firmas (elaboró, revisó, validó y autorizó), número de revisión, fecha y número de hoja.

El Figura 7.1 muestra el ejemplo del diseño del plano de ingeniería 01 el cual contiene la información necesaria para la fabricación correcta del poste de concreto. La modulación de varillas del armado representa el tipo, la longitud y la cantidad de varillas que deben de usar además de la modulación de la ubicación de las varillas y anillos, la posición del poliducto, la colocación del zunchado y el poste terminado. En dicho plano de ingeniería se tienen los detalles de anillos que muestran la localización de varillas de acuerdo con el número de muescas y el detalle de "U". Se agregó la tabla de consumos que contiene los materiales con sus cantidades correspondientes que deben de usarse y respetarse, en la solapa se cuenta con notas y especificaciones para la fabricación del poste.

El plano de ingeniería 02 que se muestra en la Figura 7.2 contiene información específica que permite fabricar cada anillo para el armado correspondiente. El plano indica el número de anillo con la cantidad de muescas y las literales A, B, C, D y E señaladas en el plano muestran las dimensiones de los anillos, que son la distancia entre muescas/traslape, diámetro de arco a arco, longitud de alambre liso, longitud de alambre troquelado y distancia entre anillos, cuyos valores se encuentran registrados en la tabla.

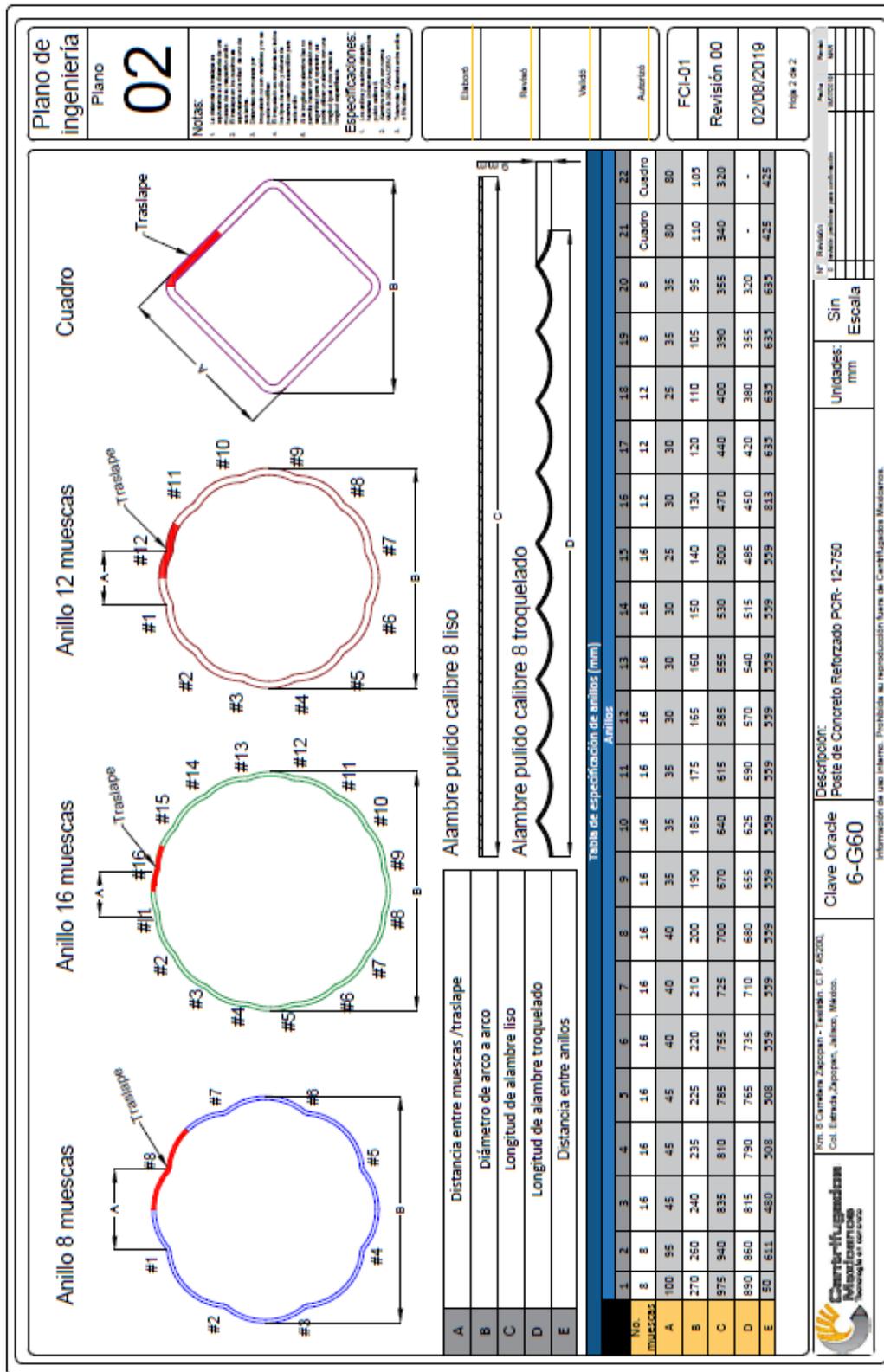


Figura 7.2: Plano de ingeniería 02.

7.2. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 8 para anillos

La longitud teórica calculada de alambre calibre 8 para la fabricación de anillos se comparó con la de los escantillones, que son un patrón de longitud formada de alambre que tiene grabada la posición métrica para la fabricación de los anillos.

7.2.1. Poste de concreto reforzado PCR- 9C-400

En poste de concreto reforzado de 9 metros de carga 400 contiene un armado con 19 anillos. La Tabla 7.3 muestra el número de anillo y la comparación de la longitud de alambre calculada con respecto a la que se utiliza en el escantillón actualmente. La longitud calculada fue de 1,101.50 cm y la utilizada en el escantillón es de 1,173.50. Por lo tanto, si la longitud de alambre para anillos es optimizada se lograría un ahorro del 6.5 % por cada poste fabricado de 9 metros.

7.2. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8
PARA ANILLOS

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ANILLOS				
Clave	Descripción	Número de anillo	Longitud total	Longitud Escantillón
			cm	cm
SKU	PCR- 9-400	1	77	79
SKU	PCR- 9-400	2	75	79
SKU	PCR- 9-400	3	72	75
SKU	PCR- 9-400	4	71	75
SKU	PCR- 9-400	5	69	71
SKU	PCR- 9-400	6	68	69
SKU	PCR- 9-400	7	67	66
SKU	PCR- 9-400	8	65	67
SKU	PCR- 9-400	9	64	68
SKU	PCR- 9-400	10	61	66
SKU	PCR- 9-400	11	58	63
SKU	PCR- 9-400	12	55	60
SKU	PCR- 9-400	13	52	58
SKU	PCR- 9-400	14	49	55
SKU	PCR- 9-400	15	46	50
SKU	PCR- 9-400	16	43	49
SKU	PCR- 9-400	17	40	45
SKU	PCR- 9-400	18	37	40.5
SKU	PCR- 9-400	19	34	38
Consumo de longitud total			1101.50	1173.50

Tabla 7.3: Calculo de longitud de alambre para anillos para poste de concreto reforzado PCR- 9C-400.

7.2.2. Poste de concreto reforzado PCR- 12C-750

La Tabla 7.4 muestra el número de anillos que contiene el poste de concreto 12 metros con varillas grado 42. El resultado de la longitud sugerida fue de 923.30 cm y la utilizada en el escantillón es de 983.5 cm. Optimizar la longitud del escantillón da como resultado 6.5 % de ahorro para cada poste de 12 metros fabricado.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ANILLOS				
Clave	Descripción	Número de anillo	Longitud total	Longitud Escantillón
			cm	cm
SKU	PCR- 12-750	1	86	90
SKU	PCR- 12-750	2	82	86
SKU	PCR- 12-750	3	80	82
SKU	PCR- 12-750	4	77	82
SKU	PCR- 12-750	5	74	78
SKU	PCR- 12-750	6	71	75
SKU	PCR- 12-750	7	68	72
SKU	PCR- 12-750	8	66	70
SKU	PCR- 12-750	9	63	69
SKU	PCR- 12-750	10	57	61
SKU	PCR- 12-750	11	51	56
SKU	PCR- 12-750	12	45	47
SKU	PCR- 12-750	13	41	42
SKU	PCR- 12-750	14	34	38.5
SKU	PCR- 12-750	15	29	35
Consumo de longitud total			923.30	983.5

Tabla 7.4: Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto reforzado PCR- 12C-750.

7.2.3. Poste de concreto reforzado PCR- 13C-600

El poste de concreto de 13 metros con varillas grado 42 contiene 15 anillos, la longitud total del escantillón de alambre que se utiliza para formar los anillos es de 1,030.50 y la longitud total calculada teóricamente fue de 967.98, lo cual genera un ahorro de 6.5% de consumo de alambre para anillos. La Tabla 7.5 muestra el análisis antes mencionado.

7.2. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8 PARA ANILLOS

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ANILLOS				
Clave	Descripción	Número de anillo	Longitud total	Longitud Escantillón
			cm	cm
SKU	PCR- 13-600	1	91	87
SKU	PCR- 13-600	2	88	92
SKU	PCR- 13-600	3	86	90
SKU	PCR- 13-600	4	83	87
SKU	PCR- 13-600	5	80	84
SKU	PCR- 13-600	6	78	85
SKU	PCR- 13-600	7	75	82
SKU	PCR- 13-600	8	69	75
SKU	PCR- 13-600	9	63	68
SKU	PCR- 13-600	10	57	62
SKU	PCR- 13-600	11	51	56
SKU	PCR- 13-600	12	45	47
SKU	PCR- 13-600	13	39	42
SKU	PCR- 13-600	14	33	39
SKU	PCR- 13-600	15	30	35
Consumo de longitud total			967.98	1030.50

Tabla 7.5: Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto reforzado PCR- 13C-600.

7.2.4. Poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60

En la Tabla 7.6 se muestra el análisis de consumo de alambre en el poste de concreto 12 metros G60, con varillas grado 42 y grado 60. La longitud total calculada fue de 1,186.71 y la longitud total utilizada de los escantillones es de 1,281.82. La diferencia genera un ahorro en alambre de 8% para cada poste de 12 metros grado 60.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ANILLOS				
Clave	Descripción	Número de anillo	Longitud total	Longitud Escantillón
			cm	cm
SKU	PCR- 12-750 G60	1	94	94
SKU	PCR- 12-750 G60	2	90	88
SKU	PCR- 12-750 G60	3	79	84
SKU	PCR- 12-750 G60	4	77	82
SKU	PCR- 12-750 G60	5	74	80
SKU	PCR- 12-750 G60	6	71	77
SKU	PCR- 12-750 G60	7	69	74
SKU	PCR- 12-750 G60	8	66	71
SKU	PCR- 12-750 G60	9	63	68
SKU	PCR- 12-750 G60	10	60	68
SKU	PCR- 12-750 G60	11	57	63
SKU	PCR- 12-750 G60	12	54	64
SKU	PCR- 12-750 G60	13	51	60
SKU	PCR- 12-750 G60	14	49	55
SKU	PCR- 12-750 G60	15	46	52
SKU	PCR- 12-750 G60	16	43	45
SKU	PCR- 12-750 G60	17	40	42
SKU	PCR- 12-750 G60	18	36	38
SKU	PCR- 12-750 G60	19	35	41
SKU	PCR- 12-750 G60	20	32	36
Consumo de longitud total			1186.71	1281.82

Tabla 7.6: Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60.

7.2.5. Poste de concreto reforzado- 13-600 G60

El poste de concreto de 13 metros con varilla grado 42 y grado 60 en su armado necesita 23 anillos. La Tabla 7.7 muestra la longitud para cada uno de ellos, al sumarse se obtiene la longitud total. La longitud total actual para fabricarlos es de 1463 cm y la longitud teórica de 1,269.62 cm. Si el alambre de los escantillones es sustituido por la calculada teóricamente se tendría un posible ahorro del 15.2% por cada poste fabricado.

7.3. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 8 PARA CUADROS

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ANILLOS				
Clave	Descripción	Número de anillo	Longitud total	Longitud Escantillón
			cm	cm
SKU	PCR- 13-600 G60	1	99	93
SKU	PCR- 13-600 G60	2	96	93
SKU	PCR- 13-600 G60	3	85	90
SKU	PCR- 13-600 G60	4	82	87
SKU	PCR- 13-600 G60	5	80	84
SKU	PCR- 13-600 G60	6	77	81
SKU	PCR- 13-600 G60	7	75	78
SKU	PCR- 13-600 G60	8	72	74
SKU	PCR- 13-600 G60	9	69	72
SKU	PCR- 13-600 G60	10	66	70
SKU	PCR- 13-600 G60	11	63	67
SKU	PCR- 13-600 G60	12	60	64
SKU	PCR- 13-600 G60	13	57	60
SKU	PCR- 13-600 G60	14	55	56
SKU	PCR- 13-600 G60	15	52	53
SKU	PCR- 13-600 G60	16	49	53
SKU	PCR- 13-600 G60	17	46	48
SKU	PCR- 13-600 G60	18	44	44
SKU	PCR- 13-600 G60	19	41	49
SKU	PCR- 13-600 G60	20	38	37
SKU	PCR- 13-600 G60	21	35	37
SKU	PCR- 13-600 G60	22	35	39
SKU	PCR- 13-600 G60	23	32	34
Consumo de longitud total			1269.62	1463.00

Tabla 7.7: Cálculo de longitud de alambre para anillo para poste de concreto reforzado-13-600 G60.

7.3. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 8 para cuadros

La Tabla 7.8 muestra las longitudes de alambre propuestas para la fabricación de cuadros, cada poste debe de tener dos cuadros, por lo tanto, las longitudes de los cuadros que corresponden a cada poste son sumadas para así obtener el peso en kilos de alambre. Actualmente, todos los cuadros son fabricados de 40 cm, al compararlo con las longitudes propuestas se generaría un ahorro del 6 % al 13 % por cada cuadro.

CÁLCULO DE LA LONGITUD DE ALAMBRE PARA CUADROS							
Descripción	Número de cuadro	Sección del poste	Long. Estribo sin traslape	Traslape	Longitud total	Peso de Alambre	Kilos de alambre
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(Kg/m)	(Kg)
PCR- 12-750 G60	21	15.71	29.66	7.42	37.08	0.104	0.0748
PCR- 12-750 G60	22	15.08	27.86	6.97	34.83	0.104	
PCR- 12-750	16	15.69	29.61	7.40	37.01	0.104	0.0747
PCR- 12-750	17	15.08	27.86	6.97	34.83	0.104	
PCR- 9-400	20	15.96	30.36	7.59	37.94	0.104	0.0757
PCR- 9-400	21	15.08	27.86	6.97	34.83	0.104	
PCR- 13-600 G60	24	15.81	29.93	7.48	37.41	0.104	0.0751
PCR- 13-600 G60	25	15.08	27.86	6.97	34.83	0.104	
PCR- 13-600	16	15.81	29.93	7.48	37.41	0.104	0.0751
PCR- 13-600	17	15.08	27.86	6.97	34.83	0.104	

Tabla 7.8: Cálculo de longitud de alambre para cuadros.

7.4. Resultado de los cálculos del consumo de alambre calibre 11 para refuerzo transversal y zunchado

El análisis se realizó al comparar los pesos de alambón en kilos de la longitud teórica propuesta contra el peso registrado en el Sistema ERP. Posteriormente en la empresa CENMEX se tomaron muestras de los postes fabricados para revisar que dieran cumplimiento con el paso de zunchado según la especificación J6200-03. El paso de zunchado va en relación con la longitud total de alambre de zunchado.

7.4.1. Poste de concreto reforzado PCR- 9C-400

En la especificación J6200-03 para el poste de concreto de 9 metros debe de cumplir con dos pasos desde la base hacia la punta. El primer paso debe de desarrollarse en una longitud de 2,750 mm con paso de 35 a 40 mm. El segundo paso en una longitud de 6,150 mm con un paso de 75 a 80 mm. En la Tabla 7.9 se muestra los datos mencionados anteriormente. El resultado teórico del zunchado fue de 4.61 Kg y el registrado en el sistema ERP es de 6.55.

7.4. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 11 PARA REFUERZO TRANSVERSAL Y ZUNCHADO

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO POSTE PCR-9-400							
Longitud de desarrollo del zunchado	Paso de zunchado	Longitud de alambón para zunchado	Peso de alambón	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado TOTAL	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Diferencia en porcentaje
L (mm)	p (mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg		Kg	Kg
2750	40	45564.0	0.057	2.60	4.61	6.55	29.7%
L (mm)	P(mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg			
6150	80	35275.4	0.057	2.01			

Tabla 7.9: Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste PCR- 9C-400.

En la muestra tomada de los postes de 9 metros el paso de zunchado era de 35 a 40 mm en toda la longitud del poste, por lo tanto, el consumo de alambre era mayor al requerido. Después de este análisis se tendría un ahorro de 29.7% de alambre en cada poste fabricado si se respeta el paso mencionado en la especificación J6200-03.



Figura 7.3: Zunchado del poste de concreto reforzado PCR- 9C-400.

7.4.2. Poste de concreto reforzado PCR- 12C-750

La longitud de desarrollo del zunchado en el poste de concreto de 12 metros es de 11,950 mm con un paso de 35 a 40 mm. En la Tabla 7.10 se muestra el resultado

teórico obtenido del alambre en Kilogramos y es comparado con el peso del alambón que se encuentra registrado en el sistema ERP de la empresa CENMEX, el porcentaje de la diferencia es de 1 %.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO POSTE PCR-12-750						
Longitud de desarrollo del zunchado	Paso de zunchado	Longitud de alambón para zunchado	Peso de alambón	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Diferencia en porcentaje
L (mm)	p (mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg	Kg	Kg
11950	40	175877.9	0.057	10.03	10.10	1%

Tabla 7.10: Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 12C-750.

7.4.3. Poste de concreto reforzado PCR- 13C-600

El poste de 13 metros tiene una longitud de desarrollo de zunchado de 12,950 mm con paso de 35 a 40 mm, el peso teórico fue de 11.30 Kg y el peso registrado en el sistema ERP de la empresa CENMEX es de 13.60 Kg. Lo cual genera la diferencia de 16.9%. En la Tabla 7.11 muestra lo mencionado anteriormente.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO POSTE PCR-13-600						
Longitud de desarrollo del zunchado	Paso de zunchado	Longitud de alambón para zunchado	Peso de alambón	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Diferencia en porcentaje
L (mm)	p (mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg	Kg	Kg
12950	40	198196.8	0.057	11.30	13.60	16.9%

Tabla 7.11: Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 13C-600.

7.4. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 11 PARA REFUERZO TRANSVERSAL Y ZUNCHADO

7.4.4. Poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60

Los postes de concreto grado 60 según la especificación J6200-03 [15] deben cumplir con un paso de zunchado de 30 ± 5 mm.

El poste de concreto 12 metros grado 60 tiene una longitud de desarrollo del zunchado de 11950, en la Tabla 7.12 se encuentra el peso de alambón para zunchado con paso de 35 mm, el resultado es de 11.45 Kg del peso calculado teóricamente y 10.10 Kg del registrado en el sistema ERP.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO POSTE PCR-12-750						
Longitud de desarrollo del zunchado	Paso de zunchado	Longitud de alambón para zunchado	Peso de alambón	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Diferencia en porcentaje
L (mm)	p (mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg	Kg	Kg
11950	35	200894.5	0.057	11.45	10.10	-13%

Tabla 7.12: Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado PCR- 12-750 G60.

7.4.5. Poste de concreto reforzado- 13-600 G60

La longitud de desarrollo del zunchado es de 12950 para postes de 13 metros. El resultado del peso de alambón teórico para zunchado fue de 12.90 Kg con un paso de 35 mm, y el registrado en el sistema ERP es de 11 Kg.

CÁLCULO DE LONGITUD DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO POSTE PCR-13-600						
Longitud de desarrollo del zunchado	Paso de zunchado	Longitud de alambón para zunchado	Peso de alambón	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Diferencia en porcentaje
L (mm)	p (mm)	(mm)	(Kg/m)	Kg	Kg	Kg
12950	35	226397.3	0.057	12.90	11.00	-17.3%

Tabla 7.13: Cálculo de longitud de alambre para zunchado para el poste de concreto reforzado- 13-600 G60.

El consumo registrado en el sistema ERP es 13% menor en alambre para postes de 12 metros y el 17.3% en postes de 13 metros que los consumos calculados teóricamente.

Debido a que el consumo teórico calculado es mayor y para corroborar el consumo, se tomaron muestras de los pasos de zunchado para postes de 12 metros grado 60, las cuales se muestran de la Tabla 7.13. La prueba consistió en contar la cantidad de vueltas que se encuentran en 100 cm, después la cantidad los 100 cm son divididos entre la cantidad de vueltas para obtener el promedio del paso se zunchado, se sabe que debe de haber de 28 a 40 vueltas para cumplir con la especificación CFE J6200-03, este dato se muestra en la Tabla 7.14 y se obtiene al igual que las muestras dividiendo 100 cm entre los pasos de 25 a 35 mm. En la columna paso se encuentran los pasos de 40 a 25 mm. De 35 a 40 mm para postes de grado 42, y para postes grado 60 las tolerancias son de 30 ± 5 .

VUELTAS DE ACUERDO AL PASO			
Grado	Paso (mm)	Vueltas por 12 (m)	Vueltas por 100 (cm)
42	40	298.75	25.0
42-60	35	341	28.6
60	30	398.33	33.3
60	25	478	40.0

Tabla 7.14: Vueltas de acuerdo al paso.

Para estimar el tamaño de muestra se aplica la fórmula:

$$n = \frac{Z^2 pq}{B^2} \quad (7.1)$$

donde n es el tamaño de muestra; Z es 1.96 para 95 % de confianza, 2.56 para el 99 %;

7.4. RESULTADO DE LOS CÁLCULOS DEL CONSUMO DE ALAMBRE CALIBRE 11 PARA REFUERZO TRANSVERSAL Y ZUNCHADO

p es la frecuencia esperada del factor a estudiar; q es igual a $1 - p$ y; B es la precisión o error admitido.

El valor de n obtenido por esta fórmula indica el tamaño de la muestra para una población infinita, a efectos prácticos se considera población infinita cuando la muestra supone menos del 5% de la población total [36]. Con un nivel de confianza del 95% se tomaron 19 muestras. Los promedios de los pasos muestreados se encuentran en la Tabla 7.15, lo cual indica que los postes de grado 60 están elaborados con el mismo paso que los de grado 42.

MUESTREO DE VUELTAS EN 100 cm		
Muestra	Vueltas por 100 (cm)	Paso promedio(mm)
1	24	4.17
2	26	3.85
3	28	3.57
4	25	4.00
5	26	3.85
6	27	3.70
7	28	3.57
8	27	3.70
9	24	4.17
10	25	4.00
11	28	3.57
12	24	4.17
13	25	4.00
14	27	3.70
15	26	3.85
16	27	3.70
17	27	3.70
18	27	3.70
19	27	3.70

Tabla 7.15: Muestreo de vueltas en 100 cm.

Por lo tanto, la separación de los pasos para postes grado 60 sobrepasa las tolerancias indicadas por la Especificación J6200-03, lo cual causa que la longitud de alambre que consumen los postes grado 60 sea menor a la que se debe de usar para que cumpla con el estándar de calidad.

7.5. Análisis de costo anual de consumo de alambre para anillos

En la Tabla 7.16 se presenta el consumo de longitud total teórica de alambre requerido para formar todos los anillos necesarios para cada tipo de poste. En la Tabla se encuentra la longitud calculada para fabricar los cuadros y la longitud de los escantillones actuales, estas longitudes son multiplicadas por el peso nominal del alambre para obtener el consumo de alambre en kilogramos.

Se tiene el costo por kilogramo de alambre y el registro de la cantidad de postes fabricados en un año en la empresa CENMEX planta Zapopan. Con los datos anteriores se obtienen los costos anuales del consumo de alambre teórico propuesto y el actual, la diferencia que hay entre estos dos da como resultado el posible ahorro en pesos por cada tipo de poste si los escantillones fueran modificados. El posible ahorro de alambre para fabricar anillos es de \$33,006.78 y para cuadros de \$2,645.74.

Análisis de consumo anual de alambre para anillos												
Descripción del producto	Longitud total teorica	Longitud Escantillón	Peso de Alambre	Peso Longitud teorica	Peso Escantillón	Costo promedio de alambre	Costo Total de longitud teorica	Costo total de longitud escantillón	Fabricación Anual	Costo total Anual de longitud teorica	Costo total Anual de longitud escantillón	Posible Ahorro
	(m)	(m)	(Kg/m)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	\$	\$	Pza	\$	\$	\$
PCR- 12-750 G60	11.87	12.8182	0.104	1.23418304	1.3330928	\$15.50	\$19.13	\$20.66	5529	\$105,768.87	\$114,245.39	\$8,476.52
PCR- 12-750	9.23	9.835	0.104	0.96023284	1.02284	\$15.50	\$14.88	\$15.85	1126	\$16,758.94	\$17,851.63	\$1,092.68
PCR- 9-400	11.02	11.74	0.104	1.1455628	1.22044	\$15.50	\$17.76	\$18.92	8132	\$144,393.61	\$153,831.58	\$9,437.97
PCR- 13-600 G60	12.70	14.63	0.104	1.32040046	1.52152	\$15.50	\$20.47	\$23.58	4176	\$85,466.88	\$98,484.95	\$13,018.07
PCR- 13-600	9.68	10.31	0.104	1.00670425	1.07172	\$15.50	\$15.60	\$16.61	974	\$15,198.21	\$16,179.76	\$981.54

Tabla 7.16: Análisis de consumo anual de alambre para anillos.

7.6. ANÁLISIS DE COSTO ANUAL DE CONSUMO DE ALAMBRE PARA ZUNCHADO

Análisis de consumo anual de alambre para cuadros												
Descripción del producto	Longitud total teórica	Longitud Escantillón	Peso de Alambre	Peso Longitud teórica	Peso Escantillón	Costo promedio de alambre	Costo Total de longitud teórica	Costo total de longitud escantillón	Fabricación Anual	Costo total Anual de longitud teórica	Costo total Anual de longitud escantillón	Posible Ahorro
	(m)	(m)	(Kg/m)	(Kg)	(Kg)	(Kg)	\$	\$	Pza	\$	\$	\$
PCR- 12-750 G60	0.72	0.8	0.104	0.07478097	0.0832	\$15.50	\$1.16	\$1.29	5529	\$6,408.69	\$7,130.20	\$721.51
PCR- 12-750	0.66	0.8	0.104	0.06905899	0.0832	\$15.50	\$1.07	\$1.29	1126	\$1,205.29	\$1,452.09	\$246.80
PCR- 9-400	0.73	0.8	0.104	0.07567999	0.0832	\$15.50	\$1.17	\$1.29	8132	\$9,539.16	\$10,487.03	\$947.87
PCR- 13-600 G60	0.72	0.8	0.104	0.07512293	0.0832	\$15.50	\$1.16	\$1.29	4176	\$4,862.56	\$5,385.37	\$522.81
PCR- 13-600	0.67	0.8	0.104	0.06950534	0.0832	\$15.50	\$1.08	\$1.29	974	\$1,049.32	\$1,256.07	\$206.75

Tabla 7.17: Análisis de consumo anual de alambre para cuadros.

7.6. Análisis de costo anual de consumo de alambre para zunchado

En la Tabla 7.18 se muestra el peso total de alambre para zunchado que es comparado con el peso registrado en el sistema ERP de la empresa CENMEX. La longitud total es multiplicada por el costo promedio del alambre, después por la cantidad de postes que fueron fabricados en un año según corresponda su descripción, de esa manera podemos comparar la diferencia en pesos que hay entre el consumo teórico y la longitud actualmente utilizada. Para los postes que en el sistema ERP utilizan menor cantidad de alambre que la calculada teóricamente la cantidad monetaria se propone como inversión y en caso contrario será propuesta como ahorro.

Análisis de Costo anual de consumo para zunchado									
Descripción del Producto	Peso de alambón para zunchado	Peso de alambón para zunchado ORACLE	Costo promedio de alambre	Costo Total de longitud teórica	Costo total de longitud ORACLE	Fabricación Anual	Costo total Anual de longitud teórica	Costo total Anual de longitud ORACLE	Diferencia
	(Kg)	(Kg)	(Kg)	\$	\$	Pza	\$	\$	\$
PCR- 12-750 G60	11.45	10.10	\$16.10	\$184.36	\$162.61	5529	\$1,019,331.53	\$899,070.69	-\$120,260.84
PCR- 12-750	10.03	10.10	\$16.10	\$161.40	\$162.61	1126	\$181,739.94	\$183,098.86	\$1,358.92
PCR- 9-400	4.61	6.55	\$16.10	\$74.22	\$105.46	8132	\$603,565.17	\$857,560.06	\$253,994.89
PCR- 13-600 G60	12.90	11.00	\$16.10	\$207.76	\$177.10	4176	\$867,625.70	\$739,569.60	-\$128,056.10
PCR- 13-600	11.30	13.60	\$16.10	\$181.89	\$218.96	974	\$177,156.18	\$213,267.04	\$36,110.86

Tabla 7.18: Análisis de consumo anual de alambre para zunchado.

Capítulo 8

Conclusiones

Los planos de ingeniería son diseñados para mejorar el método de fabricación y permiten que los productos sean homogéneos ya que contienen información precisa del orden y los materiales que son empleados en la elaboración de cada uno de los productos. Esto evita variaciones y la aparición de defectos en el producto manteniendo así su calidad.

Con el desarrollo del presente proyecto se generó información confiable de los consumos de materiales de los productos en el sistema ERP y así contribuir con la dirección de la empresa a tomar mejores decisiones estratégicas. Este trabajo permitirá contar con un margen de utilidad real que indicará la rentabilidad de los productos.

El análisis de costos realizado en esta investigación arrojó que si se usan las longitudes propuestas de escantillón, en alambre calibre 8 para la fabricación de anillos y cuadros se puede tener un ahorro de \$35,652.52 al año para la empresa CENMEX planta Zapopan.

Se implementó la propuesta para el alambre calibre 11 utilizado para el zunchado en los postes de concreto de 9 metros, lo cual generó un ahorro de 1.94 Kg en cada poste fabricado de tal forma que el ahorro anual podría ser de \$253,994.89 tan solo en este tipo de poste en un año. Así mismo, se proyecta un ahorro anual de \$37,469.77 para el consumo de alambre para zunchado en postes de 12 y 13 metros grado 42. Por otro lado, para postes de 12 y 13 metros grado 60 la longitud utilizada es menor a la propuesta en esta investigación, debido a que se detectó que los postes elaborados

de G60 tienen un paso mayor a 35 mm el cual sobrepasa las tolerancias indicadas por la especificación J6200-03, esto implica que la longitud de alambre que consumen los postes grado 60 actualmente sea menor a la que se debe de usar para que cumpla con el estándar de calidad, al no cumplir con las especificaciones podrían estar en riesgo de presentar fallas en las pruebas de calidad, dada la importancia de la empresa de crear un producto de buena calidad. Por lo tanto, la cantidad de \$248,316.94 se considera como una posible inversión. Cabe recordar que CENMEX ofrece su servicio en 12 plantas que cubren el territorio nacional y los resultados obtenidos tan solo son para la planta ubicada en Zapopan.

Bibliografía

- [1] P. López Lemos, *Cómo documentar un sistema de gestión de calidad según ISO 9001: 2015*. FC EDITORIAL, 2015.
- [2] S. R. Castaño, “Redes de distribución de energía,” *Universidad Nacional de Colombia*, [Online], 2004.
- [3] J. M. Villavicencio Pesantez, “Proyecto de inversión para la implementación de una planta de fabricación de postes de hormigón armado para sistemas de distribución eléctrica,” Master’s thesis, 2014.
- [4] Fundación, Este País, “El sector energético en México, cinco temas clave,” *Este país*, vol. 205, 2008.
- [5] Honorable Cámara de Diputados. (2016) Boletín n° 1343: En México, hay 500 mil viviendas sin electricidad, principalmente en comunidades indígenas y rurales.
- [6] INEGI, Tabulados Básicos de la Muestra, “II Censo de población y vivienda 2005,” *Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*, 2005.
- [7] R. M. Grant, “The resource-based theory of competitive advantage: implications for strategy formulation,” *California management review*, vol. 33, no. 3, pp. 114–135, 1991.
- [8] J. Barney, “Firm resources and sustained competitive advantage,” *Journal of management*, vol. 17, no. 1, pp. 99–120, 1991.
- [9] Y. Sánchez and G. Morón, “Estrategias para la optimización de costos bajo el enfoque del costo objetivo (target costing) en la línea de agua mineral San Marco de

la embotelladora terepaima, ca-venezuela,” *I Encuentro Iberoamericano de Contabilidad de Gestión*, pp. 1–9, 2000.

- [10] L. L. Berry, D. R. Bennett, and C. W. Brown, *Calidad de servicio*. Ediciones Díaz de Santos, 1989.
- [11] R. Días Chimba, “Capacitación y desempeño laboral de los empleados de la comisión federal de electricidad de la zona montemorelos-linares, nuevo león,” 2011.
- [12] CFE. (2018) Especificación CFE j6200-03 postes de concreto.
- [13] PCM-7505. (2015) Procedimiento para fabricación, almacén y carga al cliente de poste de concreto reforzado octagonal.
- [14] PCM-7512. (2015) Procedimiento para la fabricación de postes de concreto grado 6000.
- [15] Industria Siderúrgica. (2013) NMX-B-253-CANACERO-2013, alambre de acero liso o corrugado para refuerzo de concreto - especificaciones y métodos de prueba, cámara nacional de la industria del hierro y del acero organismo nacional de normalización.
- [16] J. A. S. de León, “Determinación del ángulo de proyección ortogonal de corruga de alambre laminado,” *Científica*, vol. 22, no. 1, pp. 13–15, 2018.
- [17] Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, México. (2013) NMX-B-072, alambre corrugado de acero, laminado en frío para refuerzo de concreto.
- [18] Corrugada, Industria de la Construcción–Varilla, “de acero proveniente de lingote y palanquilla para refuerzo de concreto–especificaciones y método de prueba,” *Norma Mexicana NMX C*, vol. 407.
- [19] National Organization for Norms and Certification for Construction and Buildings, “Norm nmx-c-083-onncce-2002: Construction industry-concrete–determination of the compressive strength of concrete cylinders,” 2002.

- [20] Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la construcción y Edificación, S.C., “NMX-C-088-1997-ONNCCE Industria de la construcción - Agregados - Determinación de impurezas Orgánicas en el Agregado Fino,” *Norma Mexicana NMX C*.
- [21] Norma Mexicana, NMX, “C-111-ONNCCE-2014,” *Agregados Para Concreto Hidráulico, Análisis Granulométrico, Métodos de Prueba. Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación, SC Available online: www.onncce.org.mx (accessed on 18 February 2017)*.
- [22] De Equipos, Laboratorio de Pruebas, “Materiales LAPEM (2010),” *Balance Térmico del sistema de enfriamiento al*, vol. 100.
- [23] J. H. Lee, S. H. Kim, and K. Lee, “Integration of evolutionary boms for design of ship outfitting equipment,” *Computer-Aided Design*, vol. 44, no. 3, pp. 253–273, 2012.
- [24] F. Miranda González, “otros (2005): Manual de dirección de operaciones,” *Thomson. Madrid*.
- [25] J. C. Fransoo and W. G. Rutten, “A typology of production control situations in process industries,” *International Journal of Operations & Production Management*, 1994.
- [26] S. H. Kosmatka, W. C. Panarese, and M. S. Bringas, *Diseño y control de mezclas de concreto*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1992.
- [27] J. C. L. García and Á. J. Loredó, “Mortero compuesto con material de cambio de fase (PCM) para paneles prefabricados ligeros,” 2019.
- [28] J. L. C. Yam, R. S. Carcaño, and E. I. Moreno, “Influencia de los agregados pétreos en las características del concreto,” *Ingeniería*, vol. 7, no. 2, pp. 39–46, 2003.
- [29] G. Rivera, “Agregados para mortero o concreto,” *Popayán: Universidad del Cauca*, 2013.

- [30] P. K. Mehta and P. Monteiro, *Concreto: Estructura, propiedades y materiales*. Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto, 1998.
- [31] Unión de Empresas Siderúrgicas. (2017) ¿qué es el acero? [Online]. Available: "https://unesid.org/siderurgia-que-es-el-acero.php"
- [32] A. H. Nilson and D. Darwin, *Diseño de estructuras de concreto*. McGraw-Hill Distrito Federal, México, 1999.
- [33] B. Treminio and D. Del Rosario, "Análisis de control estadístico de calidad en los postes de concreto del producto terminado que se fabrican en la empresa prenic, sa en el periodo octubre–diciembre 2014," Ph.D. dissertation, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua, 2015.
- [34] H. J. Harrington *et al.*, *Business process improvement*. Association for Quality and Participation, 1994.
- [35] P. B. Crosby, *La calidad no cuesta. El arte de cerciorarse de la calidad* *Quality is free. The art of making quality certain*. Compañía Editorial Continental, 1994, no. 658.562 C949E.
- [36] E. Mateu and J. Casal, "Tamaño de la muestra," *Rev Epidem Med Prev*, vol. 1, no. 4, pp. 8–14, 2003.