

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD DE ENCOFRADOS
DE LA NORMA COVENIN 2244-91, EN COMPARACIÓN
CON LA ACI 347-93, GUÍA DE ENCOFRADOS
PARA CONCRETO.**

Realizado por
Medina, Cruz Rafael

Trabajo de Grado presentado ante la Universidad de Oriente como
Requisito para optar al Título de:
INGENIERO CIVIL

Cantaura, Julio de 2021

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACION DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD DE ENCOFRADOS
DE LA NORMA COVENIN 2244-91, EN COMPARACIÓN
CON LA ACI 347-93, GUÍA DE ENCOFRADOS
PARA CONCRETO.**

Realizado por
Medina, Cruz Rafael

Jesús Álvarez
Asesor Académico

Cantaura, Julio de 2021

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL



**EVALUACION DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD DE ENCOFRADOS
DE LA NORMA COVENIN 2244-91, EN COMPARACIÓN
CON LA ACI 347-93, GUÍA DE ENCOFRADOS
PARA CONCRETO.**

El jurado hace constar que asignó a este Trabajo de Grado la calificación de:

APROBADO

Alvares, Jesús
Asesor Académico

Prof. Daniel Cabrera
Jurado

Prof. Anabel González
Jurado

Cantaura, Julio de 2021

RESOLUCIÓN

De acuerdo al Artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado de la Universidad de Oriente.

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y sólo podrán ser utilizados a otros fines, con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participará al Consejo Universitario, para su autorización”.



DEDICATORIA

A Jehová de los ejércitos, por ayudarme y guardarme de todo mal en todo en todo momento; sin él la existencia de esta gran empresa habría sido imposible; por mostrarme las ciencias y conocimientos que una vez pedí.

A mi madre Rosa M. Medina H. y Bernardo A. Medina H., por ser quienes estuvieron detrás de este gran logro.

A mi abuela Antonia R. Guanare por ser parte de este logro incondicionalmente.

A mis tias Aracelis Medina y Maritza Medina, por estar siempre allí presente de esta meta.

A mi esposa Yodelsy Soto De Medina Soto, por estar a mi lado desde el 2010 que empecé este gran camino de aprendizaje, ser mi apoyo más cercano y estar hasta el día de hoy presente y darme el mejor regalo mi hijo Christopher Medina.

A mis amigo de clase Carlos "El Chino" Gómez, Gabriel Velásquez, Manuel Serrano, Edgar Lizardo, por ser la segunda familia que la vida nos da.

Cruz Medina

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios Jehová todo poderoso, por no dejarme rendirme en los momentos más dificultosos y pruebas que la vida te pone.

A la universidad de oriente, en especial a mi casa de estudio la extensión Cantaura, por permitirme formarme y desarrollarme profesionalmente.

A mi familia Madre, abuela, tías, tíos, hermanos, primos por creer en mí y convertirme en el primer ingeniero de la familia Medina.

A mis profesores de toda la carrera; Ing. Anabel Gonzáles, Ing. Jonatán Martínez, Ing. Daniel Cabrera, Ing. Jesús Álvarez, Ing. Cesar Das Neves, Arq. Ramón Loaiza, Urb. Elis Rondón. Y demás profesores que fueron parte importante de todos los conocimientos que se requieren en tan importante carrera y por la preparación y dedicación que nos implementaron.

A mi profesor y tutor académico Ing. Jesús Álvarez, dedicado y entregado a su labor, profesor ejemplar de corazón y vocación, preocupado por el aprendizaje y porvenir de sus alumnos, a él todo mi respeto como persona y profesional.

A mi esposa y compañera Yodelsy Soto, por acompañarme en todo este tiempo y estar a mi lado en las buenas y malas, cocinar juntos, compartir juntos, llorar y reír juntos, y su apoyo siempre permanente.

A mis compañeros Carlos Gómez, Gabriel Velásquez, Manuel Serra, Edgar Lizardo, Rhonard Guzmán, José Ramón Guzmán, Eber Triana, y demás amigos y colegas por las cuales pasamos tanto sacrificio en busca de una meta y objetivos que pocos cumplimos.

ÍNDICE GENERAL

RESOLUCIÓN	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTOS	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	xi
ÍNDICE DE FIGURAS	xiii
RESUMEN	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I.....	20
EL PROBLEMA	20
1.1. Planteamiento del problema	20
1.2. Objetivos	23
1.2.1. Objetivo general.....	23
1.2.2. Objetivos específicos	23
1.3. Generalidades	24
1.3.1. Puente MERCOSUR (Tercer puente sobre el Río Orinoco) ...	26
1.3.2. Metro de CARACAS-GUATIRE-GUARENAS	30
CAPÍTULO II.....	32
MARCO TEÓRICO	32
2.1. Antecedentes	32
2.2. Terminología básica	34
2.2.1. Sistemas de encofrados	34
2.2.2. Encofrados especiales deslizantes	34

2.2.3. Encofrados especiales tipo túnel.....	35
2.2.4. Piezas de moldeo en los encofrados	35
2.2.5. Piezas de refuerzo en los encofrados	35
2.2.6. Conceptos generales de los sistemas constructivos de encofrados	36
2.2.7. Piezas de Soporte en los Encofrados	37
2.2.8. Puntales o apuntalamientos.....	37
2.2.9. Piezas de arriostramiento en los encofrados	37
2.2.10. Arriostramiento de puntales.....	38
2.2.11. Tiempos mínimos de duración para desencofrar	38
2.2.12. Tipos de encofrados	39
2.2.13. Cálculo de la presión lateral del concreto método ACI-347-04 40	
2.2.14. Cálculo de la presión lateral del concreto Eurocódigos.....	46
2.2.15. Cálculo de la presión lateral del hormigón fresco según la Norma DIN-18218	48
CAPÍTULO III	53
MARCO METODOLÓGICO	53
3.1. Tipo de investigación	53
3.2. Nivel de investigación	53
3.3. Técnicas e instrumentos a utilizar	54
3.3.1. Técnicas	54
3.3.2. Instrumentos	55
CAPÍTULO IV	56
ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS	56
4.1. Identificar los requerimientos mínimos establecidos en la norma COVENIN 2244-91, respecto a encofrados y requisitos de seguridad en la construcción	56
4.1.1. Contenido y aspectos resaltantes	56

4.1.2.	Requisitos de diseño	58
4.1.3.	Requisitos de seguridad	63
4.2.	Nuevas tecnologías de encofrados usados actualmente en el mundo	67
4.2.1.	Sistema de encofrados para muros	68
4.2.2.	Sistemas de encofrados trepantes	79
4.2.3.	Sistemas autotrepantes.....	89
4.2.4.	Encofrados horizontales para obras de edificación.....	99
4.2.5.	Encofrado de configuración especial para obras civiles.....	106
4.3.	Encofrados en obras nacionales de gran envergadura.....	109
4.3.3.	Puente MERCOSUR (Tercer puente sobre el Río Orinoco) .	110
4.3.4.	Metro Caracas-Guarenas-Guatire	115
4.4.	Comparación de los parámetros establecidos en la Norma COVENIN 2244-91. Con normas internacionales y los encofrados utilizados en las obras nacionales.	120
4.4.1.	Alcance	122
4.4.2.	Conceptos Básicos	123
4.4.3.	Materiales para cimbras.....	123
4.4.4.	Cálculos de estructura.....	124
4.4.5.	Requisitos de seguridad	124
4.4.6.	Construcción de encofrados.....	124
4.4.7.	Accesorios.....	125
4.4.8.	Tiempos mínimos de desencofrado	125
4.4.9.	Terminología básica.....	127
4.4.10.	Consideraciones generales.....	129
4.4.11.	Acopio.....	130
4.4.12.	Izado	131
4.4.13.	Medidas para el encofrado, uso y desencofrado de sistemas de encofrado horizontales	132
4.4.14.	Medidas para el encofrado, uso y desencofrado de sistemas de encofrado vertical	136
4.4.15.	Consideraciones preventivas	139

4.4.16. Cargas sobre los sistemas de encofrado.....	144
CAPÍTULO V	153
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	153
5.1. Conclusiones	153
5.2. Recomendaciones	154
BIBLIOGRAFÍA.....	157
HOJAS DE METADATOS.....	160

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipo de cemento o combinación.	43
Tabla 2. Densidad del concreto.	43
Tabla 3. Presión lateral máxima para el diseño de encofrados.	44
Tabla 4. Factores de seguridad (Fs) mínimos de accesorios para encofrado.	45
Tabla 5. Consistencia del hormigón fresco.	50
Tabla 6. Coeficiente de fraguado según la consistencia del hormigón fresco.	52
Tabla 7. Comparación de alcance entre normas.	122
Tabla 8. Comparación de conceptos básicos en las normas.	123
Tabla 9. Materiales para encofrados.	123
Tabla 10. Calculo de cargas sobre el encofrado.	124
Tabla 11. Requisitos de seguridad en la construcción de encofrados.	124
Tabla 12. Comparación de Parámetros de diseño en las normas.	124
Tabla 13. Comparación de accesorios en las normas.	125
Tabla 14. Tiempos mínimos de desencofrado COVENIN 2244-91.	125
Tabla 15. Tiempos mínimos de desencofrado ACI 347.	126
Tabla 16. Clasificación de los sistemas de encofrados.	128
Tabla 17. Requerimientos del encofrado según el tipo de forjado.	132
Tabla 18. Clasificación de las cargas.	145
Tabla 19. Estados límites de las cargas.	146
Tabla 20. Cargas a las que está sometido cada elemento del encofrado.	148

Tabla 21. Peso de losa maciza según espesor de losa. 150

Tabla 22. Peso de losas aligeradas según espesor de losa..... 150

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ubicación Tercer puente sobre el Río Orinoco	27
Figura 2. Alcance Tercer Puente Orinoco.....	28
Figura 3. Características Tercer puente sobre el Río Orinoco.	29
Figura 4. Ruta del sistema de tren caracas-guatire-guarenas.	31
Figura 5. Presión máxima (Pm) del Hormigón Fresco.	49
Figura 6. Presión del hormigón fresco (Pm) en función a la velocidad de vaciado....	51
Figura 7. Materiales para encofrar.	57
Figura 8. Separación entre traviesas.....	58
Figura 9. Separación de cepos o corbatas.	59
Figura 10. Fuerza ejercida por el hormigón fresco.	60
Figura 11. Separación de cepos en columnas.....	60
Figura 12. Separación de cepos para columnas pesadas.	61
Figura 13. Separación de cepos para columnas ligeras.....	61
Figura 14. Diámetro de los camones para encofrado de columnas circulares.	62
Figura 15. Diámetro de las columnas.....	62
Figura 16. Factores de seguridad en los encofrados.	63
Figura 17. Cantidad de puntales según la luz de la viga.	66
Figura 18. Tiempos mínimos para desencofrar.....	67
Figura 19. Encofrado para muros.....	69
Figura 20. Encofrados modulares para muros marca DOKA.	70

Figura 21. Encofrado modular para muros marca DOKA.	70
Figura 22. Sistema de encofrado de muros manuales.	72
Figura 23. Sistema de encofrado para muros rectos con grúa.....	74
Figura 24. Sistema de encofrado para muros curvos con grúa.	75
Figura 25. Encofrado para muros mixtos con grúa.	77
Figura 26. Proceso de trepado en sistema de encofrado vertical trepante.	80
Figura 27. Proceso de trepado en sistemas de encofrado vertical trepante.....	82
Figura 28. Partes y elementos en los sistemas de encofrado trepantes.	84
Figura 29. Plataformas utilizadas en los sistemas trepantes.	86
Figura 30. Sistemas de encofrados de una cara.....	87
Figura 31. Sistema de encofrado trepante para presas.	88
Figura 32. Sistema de encofrados trepante a una cara sobre presas.	89
Figura 33. Sistema autotrepante marca DOKA.....	90
Figura 34. Sistema de encofrado autotrepante - secuencia de trepado.	92
Figura 35. Componentes del sistema de elevación.	93
Figura 36. Sistema de encofrado autotrepante estándar.....	94
Figura 37. Sistema de encofrado autotrepante con plataforma.	96
Figura 38. Sistema de encofrado autotrepante para huecos estrechos.	97
Figura 39. Sistema de encofrado autotrepante para hormigonado de muros.	98
Figura 40. Sistema de encofrado autotrepante variable.	99
Figura 41. Componentes de un encofrado de mesas.	101
Figura 42. Sistema de encofrado horizontal – encofrado de mesas	102

Figura 43. Carro elevador de encofrado de mesas.	103
Figura 44. Balancín de traslado de encofrado horizontal.....	104
Figura 45. Componentes de sistema de encofrado horizontal tipo mecano.....	106
Figura 46. Encofrado especial tipo túnel.....	107
Figura 47. Sistema de encofrado especial.	108
Figura 48. Sistema de encofrado especial para viaducto.	109
Figura 49. Pilotes tercer puente sobre el Río Orinoco.	112
Figura 50. Sistema autotrepante SKe 100 DOKA.	114
Figura 51. Sistema de excavación túnel minero TBM.....	116
Figura 52. Viaducto Guarenas-Guatire.	117
Figura 53. Estructura mixta, Metro Guarenas-Guatire.....	119
Figura 54. Pilotes Viaducto Guarenas-Guatire.	120
Figura 55. Apuntalamiento en las plataformas de descargas.	133
Figura 56. Cargas puntuales excesivas.....	134
Figura 57. Calzamiento de puntales.	134
Figura 58. Superposición de puntales.	135
Figura 59. Estabilización de encofrados.	137
Figura 60. Trepado con tirantes.	138
Figura 61. Trepado con cono y tirante perdido.	138

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
EXTENSIÓN CANTAURA
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Autores: Medina, Cruz
Tutor Académico: Álvarez, Jesús
Año: 2021**

**EVALUACIÓN DE LOS REQUISITOS DE SEGURIDAD DE ENCOFRADOS
DE LA NORMA COVENIN 2244-91, EN COMPARACIÓN CON LA ACI 347-
93, GUÍA DE ENCOFRADOS PARA CONCRETO.**

RESUMEN

En la actualidad existen una gran variedad y tipos de encofrados para cada situación que se presente en cada obra en específico, teniendo en cuenta una serie de sistemas de encofrados avanzados para cubrir los requerimientos de obras de gran envergadura; del mismo modo, a nivel mundial, las normas, criterios e información que existe en español dedicada a los encofrados, es relativamente poca, a pesar de que constituyen parte importante de una obra, quedando así, por fuera, una serie de términos y conceptos básicos, referentes a los encofrados, materiales que se deben utilizar y la metodología para encofrar, que hasta hoy en día no se ha actualizado. Por el cual, se realizó el análisis de los parámetros o criterios fundamentales de las normativas nacionales, como lo son COVENIN 2244-91, en comparación con las normas internacionales como la ACI 347, y los sistemas de encofrados modernos utilizados actualmente. El proyecto se basó en una metodología del tipo documental ya que se fundamentó en datos y parámetros establecidos en normas y fuentes documentales, así mismo atendió a un nivel descriptivo ya que se identificó los procedimientos y técnicas apropiadas a la hora del diseño, fabricación, montaje, supervisión y desmontaje de los sistemas de encofrados utilizados actualmente, que no estén contemplados en la norma COVENIN 2244-91. Estableciendo una propuesta de actualización de dicha norma.

Palabras claves: Encofrado, hormigón, seguridad, criterios, normas, COVENIN, ACI.

INTRODUCCIÓN

Dentro del proceso constructivo, en las obras civiles los encofrados han sido pieza fundamental en el desarrollo de una buena edificación, ya que sería casi imposible darles a las estructuras de concreto una forma uniforme y mucho menos, un buen acabado; sin embargo, los encofrados no deben ser considerados como simples moldes, ya que son estructuras que están sujetas a diversos tipos de cargas y pesos que, usualmente alcanzan magnitudes de esfuerzos grandes. Con los años, los moldes de encofrado han ido evolucionando desde los encofrados tradicionales de madera hasta sistemas prediseñados compuestos por una combinación de acero, aluminio, madera fabricada, madera contrachapada y plásticos, siendo estos, resistentes a las cargas, indeformables a las presiones y ahorradores en cuanto a pérdidas apreciables de lechada o mortero.

Es por ello que los moldes de encofrado han ayudado a realizar piezas de formas geométricas sencillas, a encofrar pilares o muros completos, pudiéndose llegar a emplear también encofrados de cartón en pilares de planta circular. Del mismo modo, han ayudado al aumento de producción y seguridad en el lugar de construcción, reduciendo el tiempo trabajo mientras se produce un mejor producto terminado.

Bajo este contexto, se debe contar con una normativa técnica actualizada en esta rama, que permita el planteamiento de proyectos de gran envergadura, ayudando a los encargados que realizan los sistemas de encofrados, a desarrollar nuevas tecnologías; siendo de gran utilidad contar con datos, criterios y cuadros actualizados, para el empleo y diseño racional de los distintos sistemas de encofrados modernos, sean de madera, metálicos, prefabricados, etc., que permitan realizar su labor con las debidas garantías de seguridad.

Cabe destacar que, la situación en cuanto a desarrollo tecnológico varía de un país a otro, pero, en el caso de Venezuela, es tal vez el más preocupante, en particular los aspectos normativos, los sistemas institucionales de seguimiento y control de calidad, el sistema de ciencia, tecnología e innovación, y los procesos de formación de talento especializado. Por lo que actualmente en el caso de la norma vigente en Venezuela para el diseño de sistemas de encofrados, es la Norma COVENIN 2244-91, que refleja información que data de más de 28 años, teniendo apenas un aspecto muy limitado de la problemática global actualizada.

Por lo que es evidente los vacíos normativos en el país, en áreas de construcción de sistema de encofrados modulares, trepantes, autotrepantes y sistema de encofrado especiales o de túneles, entre otros que pueden mencionarse, ya que no aparece reflejada información alguna sobre estos sistemas, siendo necesario fortalecer, de manera general, tanto el sistema normativo, como el de metodología y calidad, así como los postgrados y los centros de investigación, particularmente en los temas relacionados con la construcción y diseños de sistemas de encofrados.

Por tal motivo, el proyecto se basa en la revisión de la Norma COVENIN 2244-91, en comparación con su equivalente internacional la ACI 347-93I, con la finalidad de poder resaltar las debilidades de la norma venezolana y así poder proponer una actualización. Es por ello que el siguiente proyecto está estructurado por 5 capítulos:

- Capítulo I: se presenta el planteamiento del problema y objetivos de la investigación, en conjunto con los comentarios generales, donde se describe toda la información referente a la Norma COVENIN 2244-91, y las obras de gran envergadura estudiadas en el proyecto.
- Capítulo II: incluye una breve reseña de las investigaciones utilizadas para el desarrollo del proyecto, en conjunto con el marco teórico referencial donde se desarrollan los conceptos básicos y ecuaciones técnicas.

- Capítulo III: en este capítulo se reflejan las estrategias metodológicas que se utilizaron, las técnicas de recolección de datos y los instrumentos empleados, finalmente se presenta la descripción de las técnicas y herramientas de procesamiento y análisis de datos.
- Capítulo IV: se plasman los resultados de la investigación, donde se discute la normativa venezolana vigente, en comparación con los sistemas de encofrados utilizados en las obras de gran envergadura a nivel nacional y las normativas internacionales utilizadas.
- Capítulo V: Por último se presentan conclusiones y recomendaciones orientadas a contribuir con el desarrollo de la actualización de la norma de encofrados en nuestro país.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1. Planteamiento del problema

Al momento de la creación del hormigón, todos los estándares, y criterios profesionales referentes a los encofrados para moldear el hormigón, eran casi inexistentes, por lo que estaban hechos con madera de muy diversas clases, calidades y dimensiones; décadas después fueron surgiendo productos nuevos, nuevas técnicas, más precisión en los métodos de cálculo, nuevos sistemas constructivos, etc. Que permitieron la seguridad, la resistencia y un buen acabado en los diferentes proyectos.

A nivel mundial, las normas, criterios e información que existe en español dedicada a los encofrados, es relativamente poca, a pesar de que constituyen parte importante de una obra, aun cuando el encofrado puede llegar a costar más que el hormigón vertido y moldeado; representando una parte substancial del costo de la construcción.

En efecto, cuando se vierte hormigón en un molde, aquél ejerce su máxima presión sobre los laterales de éste y sobre el fondo que soporta su peso, alcanzando la presión máxima ejercida en poco tiempo. En donde, los encofrados están sometidos a los máximos esfuerzos durante cortos períodos de tiempo, en el cual ocurren frecuentes accidentes. Así poco a poco se introdujo en la industria de la construcción el empleo de nuevos sistemas de encofrados que, naturalmente, en muchas aplicaciones, obras, o usos concretos, desplazaron a los encofrados de madera tradicionales, necesitándose nuevos criterios y parámetros de seguridad a la hora de utilizarlos.

En este contexto, la norma Encofrados Requisitos de Seguridad de la Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 2244-91, no cuenta con una actualización desde el año 1991, teniendo un breve y pobre contenido, en el cual, su mayor parte describe el uso de la madera en la construcción para obras pequeñas y no de gran envergadura con encofrados especiales. Hasta la presente fecha, han transcurrido 28 años, lo que deja por fuera mucho contenido de suma importancia.

Ante la problemática detectada, la falta de normativas, criterios y diseño en cuanto a sistemas de encofrados, representa para las empresas de construcción a nivel nacional una gran dificultad a la hora de realizar un proyecto. Lo que implica que, todos los encofrados especiales se basan en normativas y criterios internacionales, siendo muchas veces, normativas de países latinoamericanos como México, República Dominicana, Colombia, Chile, Perú, Ecuador, Argentina, etc., y principalmente de la Comisión Americana Concrete Institute (ACI) 347, Guía de Encofrados para Concreto; donde, surge la necesidad de identificar los riesgos que conllevan los diversos trabajos realizados en la ejecución de todo tipo de encofrados, unido a las particulares condiciones de trabajo, sobre las cuales se encuentran las obras de gran envergadura que se están realizando actualmente a nivel nacional.

Desde el punto de vista técnico, la propuesta de analizar los parámetros o criterios fundamentales en lo que a encofrados se refiere, se ubicará principalmente en la obtención de información mediante un sistema de recolección de datos bibliográfico, en las actuales obras de gran envergadura, para evaluar las condiciones de encofrados actuales en el país, ver la realidad, y ver bajo que estándares se manejan las construcciones a nivel nacional, consiguiendo así, poder comparar los datos recolectados con los diferentes criterios de las normativas nacionales e internacionales, como lo son (COVENIN) 2244-91 y la (ACI) 347; estableciendo un sistema ideal que vaya acorde con las exigencias y requerimientos actuales de la construcción en el país.

Dicho enfoque de la investigación, es identificar los procedimientos y técnicas apropiadas a la hora del diseño, fabricación, montaje, supervisión y desmontaje de los sistemas de encofrados utilizados actualmente, que no estén contemplados en la norma (COVENIN) 2244-91; a fin de dar a conocer un manejo óptimo sobre los sistemas y procedimientos de trabajo, así como proponer posibles soluciones de cara a eliminar o minimizar las posibles situaciones de peligro.

En cuanto a la originalidad del proyecto, podemos mencionar a Faustino (1995), quien realizó un trabajo investigativo sobre un manual de encofrados que cubriera las necesidades de posible riesgo facilitando así la interpretación de la norma COVENIN 2244-91. Otra investigación relevante es la de Rueda y Cayama (2003), que se enfocó en cálculos estructurales para el diseño apropiado de un sistema de encofrado. Hoy en día se desconoce un estudio minucioso sobre la materia de encofrados.

Por las consideraciones anteriores, la investigación, es de gran importancia debido a que tendrá un contenido complejo y detallado de los procesos de encofrados utilizados en el país, y los métodos que se deben llevar a cabo para realizar la evaluación de los encofrados, en conjunto con la metodología que se deberá aplicar en su proceso constructivo, siendo necesaria para evitar posibles fallas y riesgos en obras que utilicen sistemas de encofrados que no estén contemplados en la norma venezolana.

De igual manera, hace gran aporte a la Universidad De Oriente, ya que ayuda de forma general a futuras investigaciones, sirviendo como antecedente educativo y guía para el uso de normas nacionales e internacionales referentes a encofrados, del mismo modo al diseño y manejo de sistemas de encofrados en un proyecto de gran envergadura.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Evaluación de los requisitos de seguridad de encofrados de la norma COVENIN ACI 2244-91, en comparación con la ACI 347-93, guía de encofrados para concreto.

1.2.2. Objetivos específicos

- Identificar los requisitos mínimos establecidos en la norma COVENIN 2244-91, respecto a encofrados y requisitos de seguridad en la construcción.
- Analizar las nuevas tecnologías de encofrados internacionales con el fin de actualizar la norma nacional COVENIN 2244-91.
- Describir el uso de tecnologías de encofrados en obras de gran envergaduras nacionales, como el tercer puente sobre el Orinoco y metro de Guarenas.
- Comparar los requisitos de seguridad de encofrados en la COVENIN 2244-91 y ACI 347-93, utilizados en obras nacionales.
- Comparar el diseño de armado de encofrados utilizados en las obras nacionales de gran envergadura, con los parámetros y criterios establecidos en la norma COVENIN 2244-91.

1.3. Generalidades

La construcción de los diversos componentes de las estructuras de concreto armado, columnas, muros, vigas, techos, etc. requiere de encofrados, los mismos que, a modo de moldes, permiten obtener las formas y medidas que indiquen los respectivos planos.

Los costos elevados de mano de obra en la construcción exigen la aplicación de sistemas de encofrados cada vez más simples, rápido y que cumplan con los requerimientos de la obra en construcción. La gran mayoría de empresas del sector utilizan sistemas de encofrados prefabricados de uso universal, posibilitando que, con pocas piezas diferentes, se puedan modular los paneles y solucionar las necesidades en obra del modo más simple, seguro y económico.

Actualmente en Venezuela la normativa vigente referente a sistemas de encofrados es la NORMA VENEZOLANA COVENIN 2244-91, ENCOFRADOS. REQUISITOS DE SEGURIDAD, aprobada el 5 de junio de 1991 en la reunión N° 4-91 (107). En donde se estableció como objetivo principal de la norma:

- Establecer los requisitos mínimos de seguridad en lo relativo a materiales y diseño que deben cumplir los encofrados.
- Establecer los requisitos mínimos para su montaje.
- Mencionar los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los encofrados.

Quedando así a disposición, una serie de términos y conceptos básicos, referentes a los encofrados, materiales que se deben utilizar y la metodología para encofrar losas, vigas, columnas y muros. Información que hasta hoy en día no se ha actualizado, dejando por fuera, mucha información sobre las nuevas tecnologías

desarrolladas en la última década a nivel mundial en materia de construcción y sistemas encofrados.

En la actualidad existen existe una gran variedad y tipos de encofrados para cada situación que se presente en cada obra en específico, clasificándose en dos tipos: los sistemas de encofrados horizontales y lo sistemas de encofrados verticales; cada uno subclasificándose en otras categorías. De manera general, para permitir un óptimo transporte, almacenamiento, encofrado y desencofrado, son tres las condiciones básicas a tenerse en cuenta:

- Seguridad
- Precisión en las medidas
- Economía

De estas tres exigencias la más importante es la seguridad, puesto que la mayor parte de los accidentes en obra son ocasionados por falla de los encofrados. Principalmente las fallas se producen por no considerar la real magnitud de las cargas a que están sujetos los encofrados y la forma cómo actúan sobre los mismos; asimismo, por el empleo de madera en mal estado o de secciones y puntales insuficientes y, desde luego, a procedimientos constructivos inadecuados.

Por lo que tener en consideración normas actualizadas referente a trabajos de construcción es de gran importancia, no solo para evitar riesgos de accidentes, sino también, para tener herramientas y conocimientos para diseñar un óptimo sistema de encofrado que cumpla los requerimientos de cada obra en específico.

En Venezuela los sistemas de encofrado empleados para la ejecución de estructuras de edificación y obras de gran envergadura, se rigen principalmente por las instrucciones y especificaciones técnicas incluidas en los manuales de

instrucciones así como de los procedimientos de montaje, uso y desmontaje facilitados por los fabricantes de estos equipos de trabajo, ya que no se cuenta con una norma actualizada que contemple información referente a los sistemas de encofrado modernos desarrollados en las últimas décadas.

Cabe destacar que, se debe tener en cuenta la preponderancia que, en la estructura de los costos de las construcciones, tiene la partida de encofrados. El buen juicio en la selección de un buen sistema de encofrado acorde a los requerimientos de la obra, de los materiales, la planificación y su preservación, contribuyen notablemente en la reducción de los costos y aumento de seguridad en la construcción.

Entre las generalidades es importante resaltar las obras de gran envergadura que se usaron como estudio para la investigación como lo son:

1.3.1. Puente MERCOSUR (Tercer puente sobre el Río Orinoco)

El Tercer puente sobre el Río Orinoco o Puente Mercosur, es una infraestructura de transporte de tipo carretero-ferroviario que se construye desde finales de 2006, en la región de Guayana, al sur de Venezuela y que unirá las poblaciones de Caicara del Orinoco, Municipio Cedeño en el estado Bolívar y Cabruta, Municipio Las Mercedes en el estado Guárico (ver Figura 1). Es el segundo puente más grande de América Latina y el número 38 en el mundo; encomendado a la empresa brasileña Constructora Norberto Odebrecht.



Figura 1 Ubicación Tercer puente sobre el Río Orinoco
Fuente: Laia, A. Tercer puente sobre el Río Orinoco. Editado por el autor.

En la figura 2, se muestra que esta estructura genera una conexión que permite facilitar las comunicaciones entre la parte central y sur de Venezuela, casi aisladas ya que en esta zona solo es posible cruzar el río Orinoco, o acceder a estos sectores a través de botes o chalanas, o por vía aérea. El Tercer Puente sobre el Río Orinoco permitirá la dinamización de las relaciones comerciales con los países miembros del Mercado Común del Sur (Mercosur).

La empresa encargada de la obra es la brasileña Norberto Odebrecht, proyecta un puente de dos pisos, con un diseño moderno, cuatro canales de circulación, con dos torres en forma de diamante de 145 m de alto, 20,2 m de ancho y una longitud total de 11.125 metros, distribuidos de la siguiente manera:

- 2.280 metros de puente metálico.
- 4.020 metros del Viaducto de Acceso Norte.
- 4.825 metros del Viaducto de Acceso Sur.

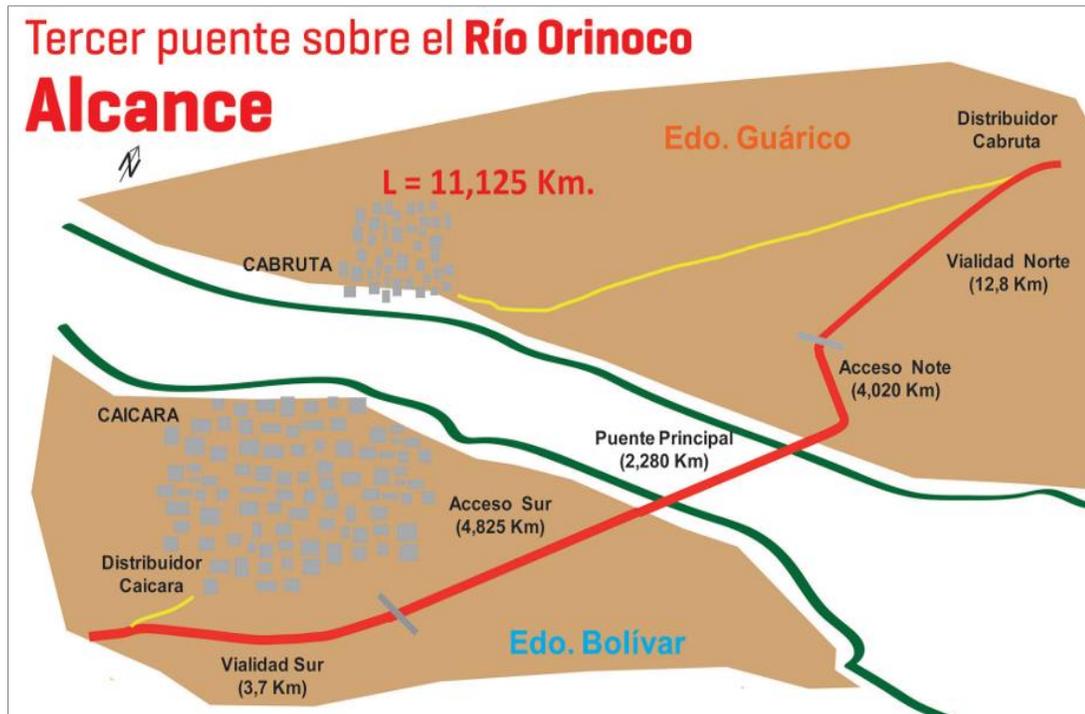


Figura 2. Alcance Tercer Puente Orinoco.
Fuente: Laia, A. Tercer puente sobre el Río Orinoco

El sistema vial completo llega a 122 km si se incluyen las carreteras de acceso necesarias para conectar al puente con los estados Guárico y Bolívar. Las piezas metálicas se fabricaron en Ciudad Guayana y transportadas por el río Orinoco durante más de 450 kilómetros de recorrido.

Además incluye una vía férrea que pasará por debajo de los canales de circulación vial, como se muestra en la figura 3. Tiene un costo estimado en 2800 millones de dólares proveniente s del FONDEN (Fondo de Desarrollo Nacional).



Figura 3. Características Tercer puente sobre el Río Orinoco.
 Fuente: Laia, A. Tercer puente sobre el Río Orinoco.

El Tercer Puente sobre el río Orinoco permitirá la integración de la región sur oeste con el resto del país, promoviendo el desarrollo humano de esas poblaciones e incrementando el intercambio comercial de Venezuela con la Comunidad Andina y con los países miembros del MERCOSUR. Además con la realización del tercer puente sobre el Río Orinoco, se podrán desarrollar proyectos que están previstos para esa zona del país, como parte del Programa Nacional de Desarrollo, la implantación de un polo de beneficiación del aluminio, una refinería a ser ubicada en el Municipio Santa Rita, industrias de transformación de algodón, así como potenciar los mayores yacimientos mineros, permitiendo el desarrollo de industrias no petroleras, impulsando las actividades en los sectores mineros y de hidrocarburos, además de los acuíferos, de suelos, agropecuarios, pesqueros y forestales.

1.3.2. Metro de CARACAS-GUATIRE-GUARENAS

La C.A. Metro de Caracas (CAMC) es una empresa de servicio del Estado Venezolano. Dentro de su misión es integrar la expansión y desarrollo de la red ferroviaria urbana de la ciudad de Caracas y sus zonas aledañas, el mantenimiento del sistema operativo del Metro, consta actualmente de cuatro (4) líneas, transportando de forma masiva a los habitantes de la capital, brindándoles una calidad de servicio.

El proyecto denominado sistema Caracas-Guatire-Guarenas, consiste en un sistema intermodal concebido en dos tramos: uno urbano en el que se utilizara el sistema metro, y uno suburbano en el que se utilizara el sistema ferrocarril, a través de una ruta estimada de 42 Km de línea, 2 áreas de patios y talleres de mantenimiento de trenes y un total de 9 estaciones: Montecristo, Boleíta, Horizonte, Urbina Sur, Urbina Norte, Guarenas 1, Guarenas 2, Guatire 1 y Guatire 2.

La función principal de esta obra es satisfacer a los miles las personas que viven en Guarenas y Guatire las cuales tienen en su mayoría sus fuentes de trabajo o sus estudios localizados en Caracas y por lo tanto, se ven obligadas a transportarse día a día a través del eje Caracas-Guarenas-Guatire, perdiendo horas en interminables colas en las principales vías arteriales, Autopista Gran Mariscal de Ayacucho y la Av. Intercomunal Guarenas-Guatire (ver Figura 4).



Figura 4. Ruta del sistema de tren caracas-guatire-guareñas.

Fuente: C.A METRO DE CARACAS, Gerencia ejecutiva de transporte superficial.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Para el desarrollo de este proyecto de modo investigativo o bibliográfico, se realizó una investigación de estudios previos que se hayan relacionados con el tema de encofrado en el país, arrojando como resultado de búsqueda las siguientes referencias de trabajos de tesis, cabe destacar que todos tienen más de 5 años de desarrollo y no se cuenta con un estudio reciente:

Rueda y Cayama (2003), en su tema de tesis desarrollado enfocado en el área estructural de las propiedades de los materiales, en cuanto a su resistencia, costo y elección, detallo, tanto los criterios teóricos como matemáticos la aplicación de métodos de análisis estructurales fundamentales para el diseño de capacidad de los encofrados en todo tipo de elementos, tales como; vigas, columnas y muros. Como en todo proyecto civil buscó la economía tanto en mano de obra como en materiales, su investigación se enfocó en una técnica de recolección de datos de entrevistas, documentos relacionados con el tema y materiales, con el fin de dar como resultado la economía, estabilidad estructural y buen acabado en la estética de encofrado en la industria de la construcción.

La investigación realizada por Rueda y Cayama, se tomó en consideración para la elaboración del proyecto, ya que aporta información importante en cuanto a los materiales actuales utilizados para el diseño de encofrados, así como los distintos tipos de sistemas utilizados en obras de gran envergadura, permitiendo de esta manera aportar información sobre los distintos tipos de encofrados existentes.

Del mismo modo Faustino (1995), desarrolló un estudio que se basó en una guía clara y concreta de todo lo que conforma un sistema de encofrado, su desarrollo fue de 80% teórico investigativo, con el propósito de dar a describir tres (3) elementos fundamentales que componen a un encofrado, detallando así la manera adecuada de como armar o establecer la secuencia de colocación de elementos de un encofrado, con el fin de facilitar su construcción tanto al personal técnico como al personal obrero.

El autor reflejó principalmente aspectos de las normativas de la COVENIN 2244-91, simplificando así su contenido y dando a entender así una idea más sencilla de cómo actúan y cómo están conformados los distintos tipos de encofrados. Este antecedente de estudio, merece ser incorporado en esta investigación, debido a que el investigador describe las partes fundamentales de los sistemas de encofrado actuales, lo cual aporta información sobre los elementos fundamentales, permitiendo enfocar la investigación de manera más estricta sobre dichos elementos, al momento de proponer los criterios de seguridad, armado y desarmado.

Por otro lado, Pérez (1994), presento un estudio donde se esquematizaba los proyectos de encofrados, rigiéndose bajo las normativas nacionales e internacionales como la ACI 347-93. Creó parámetros y metodologías detalladas de los cálculos, procedimientos y requisitos fundamentales para el diseño y ejecución de un buen encofrado, para estructuras de concreto armado, basándose así en los métodos ya preestablecidos de fórmulas estructurales para todo tipo de material de encofrado, siguiendo los criterios fundamentales para la ejecución de encofrados estables y resistentes.

El objetivo principal de su investigación fue disminuir los costos utilizando la elección de los materiales apropiados. El trabajo realizado por Pérez, guarda relación con esta investigación, por cuanto el uso de la normativa ACI 347-93, por lo cual

aportó información relevante sobre cómo está estructurada dicha normativa y el establecimiento y manejo de sus criterios, ayudando así a realizar una comparación más exacta con la norma equivalente nacional COVENIN 2241.

2.2. Terminología básica

Según la norma COVENIN 2241 (1991), Encofrados, Requisitos de Seguridad, establece como objetivo principal, los requisitos mínimos de seguridad en lo que a materiales, diseño y montaje de encofrados se refiere. A continuación, presentamos los términos utilizados para definir cada concepto utilizado en el campo de los sistemas de encofrados en Venezuela:

2.2.1. Sistemas de encofrados

La norma COVENIN 2241 (1991), define a los encofrados como “aquellos moldes y dispositivos utilizados con la finalidad de confinar y amoldar el concreto en estado fluido al ser vaciado” (Pág. 1), es decir el encofrado no es más que un sistema de retención de materiales o concreto en estado de fluidez hasta lograr su tiempo de fraguado, con la finalidad de dar un acabado deseado a una estructura determinada.

2.2.2. Encofrados especiales deslizantes

La normativa venezolana de encofrados, requisitos de seguridad, establece a los encofrados deslizantes que son “aquellos contruidos a base de moldes, de maderas o generalmente metálicos, colocándoles componentes metálicos, estructurales o tubulares como elementos de agarre, tienen la propiedad de ir desplazándose hacia las áreas por encofrar y generalmente son usados en estructuras muy grandes” (*op. cit*, p.38), en pocas palabras, es un tipo de encofrado especial que tiene la propiedad de

desplazarse a zonas por encofrar una vez fraguado el concreto y que por lo general son utilizados en grandes obras como torres, silos y puentes.

2.2.3. Encofrados especiales tipo túnel

Del mismo modo la norma COVENIN 2241-91, define a los encofrados tipo túnel como encofrados metálicos en forma de “U” invertida, que encofran simultáneamente paredes y techo mediante laminas metálicas soportadas internamente con una unidad mecánica funcional retráctil que descansan sobre ruedas, se entiende como otro tipo de encofrado especial que a diferencia al deslizante, éste no se desplaza, sino que se arma y desarma en el mismo sitio una vez culminado el tiempo de endurecimiento del concreto.

2.2.4. Piezas de moldeo en los encofrados

Según la norma COVENIN 2241-91, se consideran como pieza de moldeos “aquellas que van en contacto directo con el concreto y le dan la forma requerida al elemento por construir” (Pág. 3), también son conocidas en obras como; tableros, paneles, cajetones y formaletas. Y su fabricación se produce en una variedad de materiales tales como: madera, metal, fibra de vidrio, etc.

2.2.5. Piezas de refuerzo en los encofrados

Del mismo modo, la normativa venezolana denomina pieza de refuerzos a los componentes del encofrado que contrarrestan la presión ejercida por el concreto sobre las piezas de moldeo. Se podría definir que la función de dichas piezas es disminuir las fuerzas actuantes en el material de moldeo con la finalidad de evitar un colapso, ruptura o punto de quiebre en el encofrado.

2.2.6. Conceptos generales de los sistemas constructivos de encofrados

La norma COVENIN 2244 (1991), establece como conocimiento y conceptos básicos en el ámbito de encofrados en el país, los siguientes objetivos, con la intención de definir términos ideales a la hora de su fabricación como “Son los requisitos mínimos de seguridad en lo relativo a materiales, diseño, montajes y seguridad diseño que deben de cumplir los encofrados”.

En cualquier sistema de encofrado se pueden distinguir los siguientes términos:

- Traviesas: piezas de refuerzos que impiden que se deformen los tableros.
- Cepos: pletinas de acero o de madera colocadas en los encofrados de columnas y otros elementos similares, con el fin de brindarle más resistencia al material de encofrado.
- Codales: garantizar la separación correcta entre tableros, evitando su deformación al ser vaciado el concreto.
- Tensores: elementos principales de resistencia, generalmente de alambre, guayas o cabilla sujetando los tableros, pero manteniendo la separación mediante un codal, lo cual le brinda una gran seguridad constructiva a la hora ensamblar encofrados o vaciado de concreto.
- Parales: listones colocados en forma vertical, que permiten que los tableros para encofrar muros o columnas, sean clavados sobre ellos.
- Largueros: listones colocados en forma horizontal que permiten que los tableros para encofrar muros, o columnas sean clavados sobre ellos.
- Tornapuntas: son listones inclinados que se colocan para mantener la estabilidad del encofrado en piezas verticales como columnas o muros, son armados en dirección diagonal del encofrado.

2.2.7. Piezas de Soporte en los Encofrados

Haciendo referencia nuevamente la normativa venezolana COVENIN 2244 (1991), se refiere a toda pieza de soporte como aquellas que reciben las cargas producidas por el peso propio de los moldes, así como también del concreto que se habrá de vaciar. Según su función pueden ser: puntales, muletas y guías o cuarterones, entre otros que actúen de igual forma (Pág. 5).

2.2.8. Puntales o apuntalamientos

La norma COVENIN 2244 (1991), considera a los apuntalamientos como aquellas piezas de madera o metálicas colocadas verticalmente o inclinadas, generalmente son usadas para soportar cargas de encofrados de losas y vigas. Desde el punto de vista ingenieril, los puntales es la pieza clave de soporte de todo sistema constructivo de encofrado, resiste las cargas que en éste se ejercen durante su tiempo de encofrado y después del desmonte. En el desarrollo de esta investigación se estará determinado el tipo de puntal ideal según el tipo de construcción y su material, a su vez se clasificarán los diferentes modelos según su calidad y resistencia.

2.2.9. Piezas de arriostramiento en los encofrados

Así mismo la norma COVENIN 2244 (1991), establece que todo miembro que proporcione estabilidad y garantice seguridad a las piezas que conformen el encofrado, tales como los propios moldes o los puntales, se definirán como arriostramientos. Es decir, que generalmente son cuarterones o listones de madera, tubos de hierro o piezas metálicas diseñadas para tal fin, según su uso puede ser para puntales o para moldes (Pág. 5).

2.2.10. Arriostramiento de puntales

En todo encofrado los arriostramiento forman parte de la estabilidad de toda estructura, tienen un diseño característicos su construcción se realiza en elementos en forma de “X” (cruces de san Andrés) o en forma horizontal, colocando las riostras perpendiculares entre sí, lo cual ofrece un mejor rendimiento en cuanto a resistencia y estabilidad nos referimos.

2.2.11. Tiempos mínimos de duración para desencofrar

Las Normativa venezolana establece que para toda obra deberá haber un tiempo mínimo de duración para desencofrados (COVENIN 2244-91). Dicha duración contempla:

- Para Cementos Portland: se pueden desencofrar los costados de Vigas, Pilares y Muros en 2 días, del mismo modo establece un tiempos de duración mínimo de 6 días para desencofrar vigas con luz menores a 3 metros, así mismo hace referencia un mínimo de 12 días para losas y vigas en un rango de luz entre 3 y 6 metros de desencofrado, y para losas y vigas con luz mayores a los 6 metros, su tiempo de desencofrado será de 2,5 por su longitud, y su resultado será el tiempo estimado de días mínimo de desencofrado.
- Para Cementos de Alta Resistencia: se pueden desencofrar los costados de Vigas, Pilares y Muros en 1 día; del mismo modo establece un tiempos de duración mínimo de 2 días para desencofrar vigas con luz menores a 3 metros; así mismo, hace referencia un mínimo de 6 días para losas y vigas en un rango de luz entre 3 y 6 metros de desencofrado, y para losas y vigas con luz mayores a los 6 metros, su tiempo de desencofrado será de 2,5 por su longitud, y su resultado será el tiempo estimado de días mínimo de desencofrado.

2.2.12. Tipos de encofrados

- Encofrados modulares: Habitualmente se componen de bastidores metálicos con un núcleo de madera o metálico. Tienen diferentes medidas, con unas dimensiones de ancho y largo determinadas por el fabricante. Este factor posibilita la ejecución de elementos estructurales de tamaños superiores a los del módulo gracias a que la unión de varios de ellos entre sí permite el hormigonado de volúmenes mayores.
- Encofrados tipo mecano o de forma: En las obras de edificación es igualmente común la instalación de sistemas de entramados de vigas a las cuales se les agrega tableros. Estos sistemas responden a la denominación de “tipo mecano” o “de forma”.
- Encofrados perdidos: En este tipo de encofrados se utilizan elementos que no se pueden recuperar después del fraguado y, por lo tanto, pasan a formar parte del elemento estructural al que sirven de molde, una vez construido.
- Sistemas de encofrado diseñado: Este encofrado se construye con módulos prefabricados con estructura de metal (generalmente de acero o aluminio) y cubierta con concreto. Sus laterales pueden ser cubiertos con el material deseado (acero, aluminio, madera, entre otros). Las dos principales ventajas de los sistemas de encofrado, en comparación con el encofrado de madera, son la velocidad de la construcción, gracias a los sistemas modulares, ya sea alfiler, un clip o un tornillo de forma rápida. También ayuda a reducir los costes del ciclo de vida.
- Encofrado de plástico, Re-utilizable: Estos sistemas modulares se utilizan para construir de forma muy variada, pero relativamente simple, es especial para estructuras de hormigón. Los paneles son ligeros y muy robustos. Están especialmente indicados para presupuestos de bajos costos y es muy utilizado para los planes de vivienda masiva.

- Encofrado aislado permanente: Este encofrado, mayormente, se monta en los hoteles, por lo general fuera del aislamiento y de formas concretas (ICF). El encofrado se mantiene en su lugar después del fraguado del concreto, y puede ofrecer ventajas en términos de velocidad, fuerza, mejor aislamiento térmico, acústico, el espacio para ejecutar los servicios públicos dentro de la capa de EPS, y la tira de enrasar integrada para el revestimiento de acabados.
- Stay-In-Place (permanece en el lugar): Son sistemas estructurales de encofrado. Este encofrado por lo general es de forma prefabricada, de plástico reforzado de fibra. Estos son en forma de tubos huecos, y se utilizan generalmente para las columnas y pilares. El encofrado se queda en su lugar después de que el concreto se haya curado y actúa como refuerzo axial y de corte, además de servir para confinar el hormigón y prevenir contra los efectos ambientales, tales como: ciclones, congelación, descongelación y la corrosión.

2.2.13. Cálculo de la presión lateral del concreto método ACI-347-04

El encofrado se diseña de modo que las losas, muros y otros elementos tengan la forma, dimensiones y posiciones correctas dentro de las tolerancias establecidas, por lo que el encofrado debe presentar un soporte seguro a las cargas verticales y laterales que podrían aplicarse.

La ACI 347-04 establece parámetros estrictos de diseños de encofrados, es por esto que toma en cuenta los distintos tipos de cargas que actúan en dicha estructura, las cuales pueden ser cargas verticales compuestas por cargas muertas y cargas vivas, el peso que soportará el encofrado es importante saberlo a la hora de su diseño estructuras:

- Para Cargas Vivas el diseño no debe ser menor a 50 lb/ft², pero al utilizarse equipos móviles, su carga de diseño será como mínimo de 75 lb/ft².
- Para las Cargas Muertas su diseño no debe ser inferior a los 75 lb/ft².
- La Combinación entre ambas cargas no deberá estar por debajo de los 125 lb/ft².
- Cargas verticales:
 - Carga muerta: peso del encofrado + concreto recientemente colocado.
 - Carga viva: peso de los trabajadores + equipo + material almacenado + rampas + impacto (mínimo 2,4 kN/m², cuando existen carretillas motorizadas 3,6 kN/m²).
 - La carga vertical combinada (CV+CM) mínima cuando se utilizan carretillas motorizadas debe ser de entre 4,8 o 6 kN/m².
- Presión lateral del Concreto

$$P = w \cdot h \text{ (kPa)}$$

(Ec. 1)

En donde:

P = presión lateral del suelo (kPa, kN/m²)

w = peso unitario del concreto fresco (kN/m³)

h = profundidad de colocación del concreto (m)

- Columnas

Para concreto que tiene un asentamiento de 175mm o menor y colocado con vibración interna en espesores de 1.2 metros o menos, el encofrado debe ser diseñado para soportar una presión lateral igual a:

$$P_{max} = C_w \cdot C_c \left[7,2 + \frac{785R}{T + 17,8} \right]$$

(Ec. 2)

En donde:

P_{max} = presión lateral máxima (kPa, kN/m²).

R = rata de colocación (m/h).

T = temperatura del concreto durante la colocación (°C).

C_w = coeficiente por peso unitario del concreto.

C_c = coeficiente químico.

Con un máximo de $150 C_w \cdot C_c$ y mínimo de $30 C_w$ (kPa, kN/m²), pero no mayor que wh .

- Muros

Con una rata de colocación menor de 2.1 m/h y colocado en alturas que no exceden 4.2 m.

$$P_{max} = C_w \cdot C_c \left[7,2 + \frac{785R}{T + 17,8} \right]$$

(Ec. 3)

Con un mínimo de $30 C_w$ (kPa), pero no mayor que wh .

Con una rata de colocación menor de 2.1 m/h y colocado en alturas que exceden 4.2m y para todos los muros con ratas de colocación entre 2.1 y 4.5 m/h.

$$P_{max} = C_w \cdot C_c \left[7,2 + \frac{1156}{T + 17,8} + \frac{244R}{T + 17,8} \right]$$

(Ec. 4)

Con un máximo de $100 C_w$ y un mínimo de $30 C_w$ (kPa), pero no mayor que wh , así mismo, en la tabla 1 y tabla 2, se muestran los valores de C_c y C_w , para el cálculo de la presión lateral máxima según el tipo y características del cemento utilizado.

Tabla 1. *Tipo de cemento o combinación.*

Tipo de cemento o combinación	C_c
I, II y III sin retardadores	1
I, II y III con retardadores	1,2
Otros tipos de combinaciones menos del 70% de escoria o 40% de ceniza volante sin retardadores	1,2
Otros tipos de combinaciones menos del 70% de escoria o 40% de ceniza volante con retardadores	1,4
combinaciones que contienen más del 70% de escoria o 40% de ceniza volante con retardadores	1,4

Fuente: ACI 347-04. Editado por el autor.

Tabla 2. *Densidad del concreto.*

Densidad del concreto KN/m ³	C_w
Menos de 22,5	$0.5(1+(w/23,2))$, no menor que 0,8
22,5 hasta 24	1
Más de 24	$w/23,2$

Fuente: ACI 347-04. Editado por el autor.

- Cargas horizontales

Las abrazaderas y puntales se diseñan para que resistan cargas horizontales como: sismo, viento, tensión de los cables, apoyos inclinados, descargas del concreto, arranque de equipos.

Carga horizontal de viento:

- Para encofrados de edificios mínimo 1,5 kN/ml del borde de piso o 2% del peso muerto total del encofrado distribuido como carga uniforme por metro lineal de borde de losa.

- Para encofrados de muros expuestos al medio ambiente, mínimo 0,72 kN/m².

Tabla 3. Presión lateral máxima para el diseño de encofrados.

Velocidad de colocación R 30,5 cm/hr	p, presión lateral máxima Kg/m ² , para la temperatura indicada						
	32°C	27°C	21°C	15°C	10°C	4°C	
1	Rige mínimo 2929 Kg/m ²						
2							
3							
4							
5	3174	3476	1180	1339	5127	6225	
6	3662	4028	1371	1563	6005	7324	
7	4150	4580	1563	1786	6884	8422	
8	4638	5127	1753	2009	7763	9521	
9	5127	5678	1945	2232	8642	10619	
10	5615	6225	2137	2455	9521	11718	
11	6103	6777	2328	2679	10400	12817	
12	6591	7324	2519	2902	11279	13915	
13	7080	7875	2711	3125	12157	14647	
14	7568	8422	2902	3348	13036		
16	8544	9521	3284	3795	14647		
18	9521	10619	3667	4241			
20	10497	11718	4049	4465			
22	11474	12817	4433				
24	12450	13915	4465				
26	13427	14647					
28	14403						
30	14647	Rige máximo 14647 Kg/m ²					

Fuente: ACI 347-04. Editado por el autor.

- Las abrazaderas para encofrados de muros deben diseñarse para una carga horizontal mínima de 1,5 kN/ml de muro, aplicada en la parte más alta.

- Si el hormigón se bombea desde la base de un encofrado. El encofrado debe diseñarse para una carga hidrostática w_h más un mínimo del 25% de la presión de bombeo.
- Para el diseño de los puntales considerar: carga de la losa, carga viva, cargas de paredes, peso y carga muerta del hormigón y encofrado, tiempo entre la colocación de pisos sucesivos, entre los principales.

Tabla 4. *Factores de seguridad (Fs) mínimos de accesorios para encofrado.*

Accesorios	Fs	Tipo de construcción
Tirante o separador	2	Todo uso
Anclaje	2	Encofrado que soporta solo el peso de sí mismo y las presiones del hormigón.
Anclaje	3	Encofrado que soporta el peso de encofrados, hormigón, carga viva de construcción y el impacto.
Suspendedores	2	Todo uso
Insertos de anclaje usados como tirantes	2	Cuando se usan como encofrado paneles de hormigón prefabricado.

Fuente: ACI 347-04. Editado por el autor.

Estos factores están basados en la resistencia última del accesorio.

- El refuerzo diagonal tiene por objetivo resistir cargas laterales y evitar la inestabilidad de los elementos individuales.
- Se pueden diseñar amarres horizontales en cualquier dirección de tal manera que permitan asegurar la relación de esbeltez l/r para la carga soportada.

l = longitud sin soporte.

r = radio de giro mínimo.

2.2.14. Cálculo de la presión lateral del concreto Eurocódigos

En Europa se ha desarrollado una serie de normas que afectan el sector de la construcción conocidas como Eurocódigos (EC). Dichas normas se han desarrollado con el objetivo de proporcionar una base uniforme. Válida para toda Europa, para la equiparación de las especificaciones de los productos, y realización de cálculos.

Los Eurocódigos son actualmente el conjunto de normativa más avanzado a nivel mundial en el sector de la construcción, por lo que las grandes empresas del subsector de encofrados en Europa, han incorporado desde un primer momento el uso de los Eurocódigos como base de las especificaciones de los productos. Dada su condición de multinacionales, la incorporación de los Eurocódigos garantiza a estas empresas que sus sistemas de encofrados tendrán una fácil implantación en el mercado del mundo, al manejarse la misma normativa en todos ellos. Así, como determinadas empresas alemanas de productos de encofrado, ya relegaron las normas DIN (Deutsche Industrie Normen) para incorporar los Eurocódigos como estándar para el desarrollo y caracterización de sus productos.

Por lo que es de gran importancia que las normas venezolanas contemplen y apliquen criterios establecidos en los Eurocódigos, para el cálculo de encofrados, donde se establece el método de los estados límites al cálculo de encofrados, exigiendo que:

$$E_d \leq R_d$$

En donde:

E_d : Valores de cálculo de los efectos (V_{E_d} , N_{E_d} , M_{E_d}) producidos por una acción F_d en una determinada sección.

R_d : Valores de cálculo de la capacidad resistente de una sección (V_{R_d} , N_{R_d} , M_{R_d}), producidos dependiendo de las características de los materiales.

$$F_d = \gamma_F \cdot F_k \quad (\text{Ec. 6})$$

F_d : Valores de cálculo de la acción.

Acero:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_s} \quad (\text{Ec. 6})$$

Madera:

$$R_d = K_{mod} \cdot \frac{R_k}{\gamma_t} \quad (\text{Ec. 7})$$

En donde:

F_k : Valor característico de la acción (carga muerta, presión del hormigón, etc.).

R_k : Valor característico de la resistencia (compresión, tensión).

γ_F : Coeficiente de seguridad parcial para la acción (para carga muerta, para presión del hormigón, etc.). Valores recogidos en la norma EN 12812.

γ_i : Coeficiente de seguridad parcial para los materiales (γ_s para el acero, γ_t para la madera). Valores recogidos de la norma EN 12812.

K_{mod} : Factor de modificación (únicamente para madera, para tener en cuenta la influencia de la humedad y la duración de la acción de carga).

Para facilitar la labor del usuario de los sistemas de encofrado, los fabricantes en las especificaciones de sus productos, dan el valor característico de la carga máxima admisible F_{kmax} para cada uno de los componentes del sistema. Estos valores característicos son de más sencilla obtención por parte del usuario del sistema (consultar valores en tablas o con sencillas operaciones), que de este modo no tiene

que ocuparse de realizar otros cálculos aplicando coeficientes de seguridad. El valor característico la carga máxima admisible que figura en las especificaciones de los sistemas se obtiene de la siguiente forma.

$$F_d \leq R_d$$

$$\gamma_F \cdot F_k \leq \frac{R_k}{\gamma_i}$$

(Ec. 8)

$$F_K \leq \frac{R_k}{\gamma_i \cdot \gamma_F} = F_{max}$$

(Ec. 9)

De este modo el problema del dimensionamiento se reduce a calcular con el valor de la carga máxima admisible F_{Kmax} y el problema de comprobación se reduce a verificar que $F_K \leq F_{Kmax}$.

2.2.15. Cálculo de la presión lateral del hormigón fresco según la Norma DIN-18218

Esta norma se suele usar comúnmente, ya que la mayoría de los encofrados usados en Europa se fabrican en Alemania. Las hipótesis que usa esta normativa DIN son las siguientes:

- Tamaño máximo del árido: 63 mm.
- Encofrados verticales con una desviación máxima de $\pm 5^\circ$ respecto a la vertical.
- Peso específico del hormigón: 25 KN/m³.
- Temperatura de hormigón de 15 °C.
- Tiempo de fraguado máximo de 5 horas.
- Velocidad máxima de ascenso del hormigón: 7 m/h.

Y ofrece los resultados en función de:

- Variación de la temperatura,
- Variación del peso específico
- La existencia de Retardadores de Fraguado

Dicha normativa considera inicialmente una ley de empujes hidrostática ($E=g \cdot x$ siendo g la densidad del hormigón) hasta un valor de presión máxima “ P_m ”, en cuyo momento la ley es constante con dicha presión (P_m). A una profundidad de $5 \cdot V$ (siendo V la velocidad ascendente del hormigón en m/h) la presión máxima desaparece al estar el hormigón suficientemente fraguado como para no empujar.

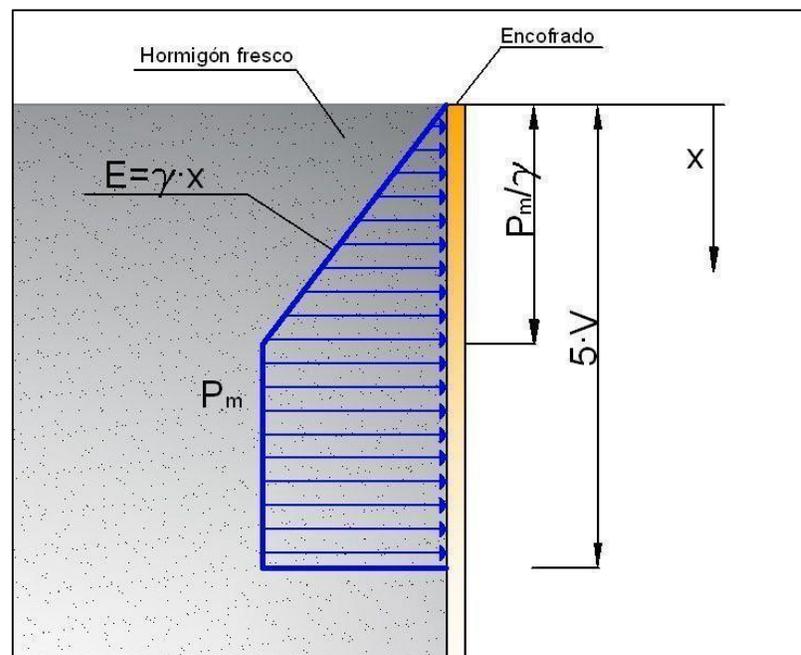


Figura 5. Presión máxima (P_m) del Hormigón Fresco.
Fuente: Norma DIN18218. Editado por el autor.

La profundidad a la que desaparece el empuje ($5 \cdot V$) es muy importante, por ejemplo, trabajar con encofrados deslizantes.

Tabla 5. *Consistencia del hormigón fresco.*

Consistencia	Cono de Abrams (cm)	Pm [KN/m ²]
Seca	0-2	$5 \cdot V + 21$
Plástica	3-5	$10 \cdot V + 19$
Blanda	6-9	$14 \cdot V + 18$
Fluida	10-15	$17 \cdot V + 17$

Fuente: Norma DIN18218. Editado por el autor.

Se hace una distinción entre pilares y muros:

- Pilares: sin exceder al mínimo de 10 KN/m^2 y $25 \cdot H$
- Muros: sin exceder al mínimo de 80 KN/m^2 y $25 \cdot H$

Donde:

Pm: Presión máxima del hormigón en KN/m^2

V: Velocidad ascendente de hormigonado en m/h

H: Profundidad en m

De forma gráfica se tiene:

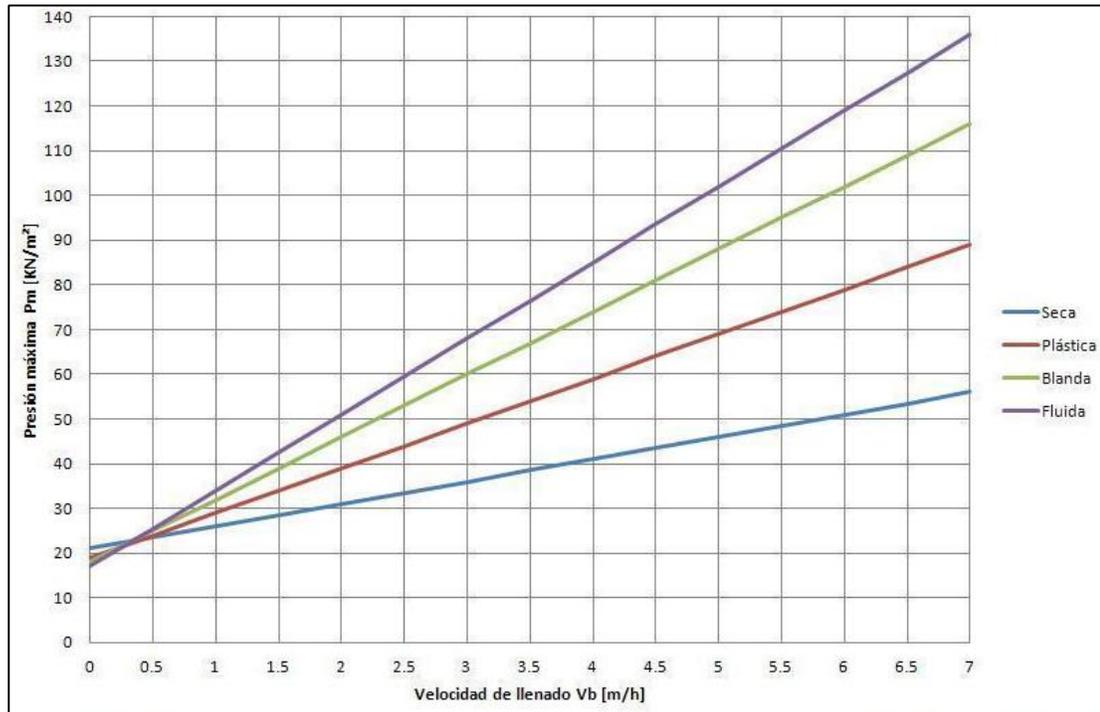


Figura 6. Presión del hormigón fresco (P_m) en función a la velocidad de vaciado.
Fuente: Norma DIN18218. Editado por el autor.

Si no se cumplen las hipótesis de partida de la norma, se deben hacer las siguientes correcciones:

- Influencia de la Temperatura del Hormigón Fresco
 - Si la temperatura del hormigón fresco excede de $+ 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ se puede reducir la presión un 3 % por cada $^{\circ}\text{C}$ sin exceder un máximo de un 30% siempre y cuando la temperatura del hormigón permanezca más o menos constante.
 - Si la temperatura es inferior a $+ 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ se debe aumentar la presión en un 3 % por cada $^{\circ}\text{C}$.
- Influencia de la Temperatura Exterior: La influencia de una temperatura exterior de menos de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ no se debe tener en cuenta cuando se evita la disminución de la temperatura propia del hormigón por medidas de aislamiento térmico. Si no hay aislamiento térmico, esta influencia se debe tener en cuenta

sólo cuando la temperatura del hormigón fresco alcanza temperaturas por debajo de + 15 °C durante el tiempo de fraguado en cuyo caso se actuará como indica el apartado anterior.

- Influencia de los Retardadores: Al aplicar estos agentes, la presión del hormigón fresco debe multiplicarse por los factores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 6. *Coficiente de fraguado según la consistencia del hormigón fresco.*

Gama de Consistencia.	Cono de Abrams en cms.	Coficientes de Fraguado para un Retardo de:	
		5h.	15h.
Seca	0 - 2	1.15	1.45
Plástica	3 - 5	1.25	1.80
Blanda - Fluida	6 - 15	1.40	2.15

Fuente: Norma DIN18218.

Esta tabla sólo es válida para una altura de hormigonado de 10 metros. Se pueden interpolar linealmente los valores que se necesiten.

- Influencia del Peso Específico del Hormigón: Si el peso específico del hormigón fresco g difiere del valor de 25 KN/m³, hay que corregir la presión del hormigón fresco multiplicándolo por el valor $a=g/25$.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

El proyecto atendió a un tipo de investigación documental, donde Arias, F. (2012), explica que “es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales” (p.27), puesto que la misma estuvo fundamentada en la obtención de datos y parámetros estipulados en normas y teorías existentes para la formulación de las posibles propuestas de cambio en la norma COVENIN 2244-91, así como también en la ubicación de documentación técnica referente a sistemas de encofrados utilizados las obras de gran envergadura en el país como la del metro CARACAS-GUATIRE-GUARENAS y la del Tercer puente sobre el Río Orinoco.

3.2. Nivel de investigación

El presente proyecto, se ubicó en un nivel de investigación descriptivo, ya que no se buscó verificar una hipótesis, sino que, a partir de modelos teóricos definidos, se logró describir de manera detallada los requerimientos mínimos establecidos en la norma COVENIN 2244-91, mediante el cual, se formularon soluciones a las posibles fallas o errores constructivos en campo, en relación a las nuevas tecnologías de encofrados usadas actualmente en las obras más emblemáticas del país. Además, se explicó la metodología y técnicas ideales, que se den como resultado en el desarrollo de este proyecto.

De acuerdo Arias, F. (2012), dice que: “La investigación descriptiva consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno, individuo o grupo, con el fin de establecer su estructura o comportamiento” (p. 24). Es decir, permite detallar situaciones y eventos, cómo es y cómo se manifiesta determinado fenómeno, buscando especificar las propiedades importantes del problema que sea sometido a análisis; del mismo modo, la investigación descriptiva no consiste únicamente en acumular y procesar datos, el investigador debe definir su análisis y los procesos que involucrará el mismo.

3.3. Técnicas e instrumentos a utilizar

3.3.1. Técnicas

- Revisión documental: se obtuvo información de importancia sobre los criterios y parámetros relevantes en el estudio. Se consultaron distintas referencias bibliográficas, manuales, y normas tales como:
 - Norma internacional “Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318-14) y Comentario”.
 - Encofrados Requisitos de Seguridad - Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) 2244-91.
- Entrevistas Personales: Se realizaron entrevistas no estructuradas dirigidas al personal encargado que labora en las obras nacionales de gran envergadura, con la finalidad de recopilar información sobre las técnicas y métodos utilizados, para el encofrado de la estructura.
- Análisis comparativo de resultados: Mediante ésta técnica, se pudo analizar, comparar y explicar los resultados cualitativos y cuantitativos de la investigación. Analizando los incidentes contenidos en los datos, comparando

donde están las similitudes y las diferencias de los hechos y resultados obtenidos.

3.3.2. Instrumentos

La aplicación de una técnica conduce a la obtención de información, la cual debe ser guardada en un medio material, de manera que los datos puedan ser recuperados, procesados, analizados e interpretados posteriormente, a dicho soporte se le denomina instrumento.

- **Materiales de oficina:** Se emplearon para obtener, registrar y almacenar aspectos relevantes de la investigación, recabados de las fuentes bibliográficas indagadas, igualmente se utilizó la computadora y sus unidades de almacenaje, lapiz y libreta.
- **Memoria USB (Pendrive):** Se utilizó para el resguardo de la información suministrada, y así como los diferentes manuales y normas recopilados de las referencias bibliográficas relacionadas con el proyecto en estudio.
- **Software:** Permitió transcribir, guardar, corregir y presentar en digital toda la información recolectada.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE DATOS Y RESULTADOS

4.1. Identificar los requerimientos mínimos establecidos en la norma COVENIN 2244-91, respecto a encofrados y requisitos de seguridad en la construcción

En este objetivo, se presenta un resumen y revisión comentada de la Norma Venezolana COVENIN 2244-91, titulada “ENCOFRADOS. REQUISITOS DE SEGURIDAD”. Esta norma consta de dos partes; PARTE 1: conceptos básicos relevantes que nos da conocer la definición y la relación de los materiales, diseño, montaje y seguridad que han de cumplir los encofrados, los cuales fueron ya establecidos en el capítulo II MARCO TEÓRICO. Y una Parte 2: en cuanto a los requisitos de diseño de los sistemas de encofrados.

4.1.1. Contenido y aspectos resaltantes

Señala que, para encofrados de madera, se debe utilizar madera del tipo ceiba (madera fina de fibra larga, conserva la humedad sin poder deformarse a la hora del vaciado de hormigón), aurora o aurora rosada (madera semidura de fibras compactas utilizada especialmente para guías, paraleles, largueros, tornapuntas) y mangle (madera de gran dureza y gran contracción, especialmente para puntales).

PIEZAS DE:	ELEMENTOS	MADERA	AGLOMERADO	PLASTICO	METALICO
Moldeo	- Tableros Pre-fabricados.	X	X	*	*
	- Paneles	*	X	*	X
	- Retículas	X	X	X	X
Refuerzo	- Cepos o corbatas	X	*	*	X
	- Camones	X	X	*	X
	- Zunchos	*	*	*	X
	- Tensores	*	*	X	X
	- Codales	X	*	*	X
Arriostramiento		X	X	*	X
Apuntalmiento	- Puntales	X	*	*	X
	- Muletas	X	*	*	X
	- Guías	X	*	*	X

NOTA: * No existe elemento de este tipo de material.

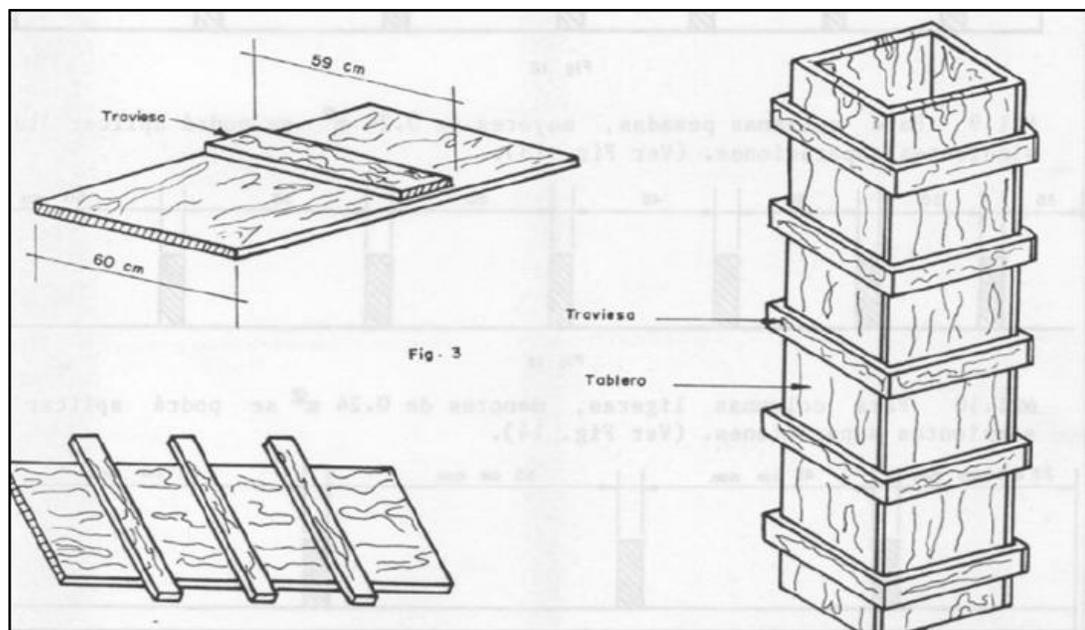
Figura 7. Materiales para encofrar.
Fuente: COVENIN 2244-9.

Siguiendo los diferentes parámetros de calidad:

- Los tableros se deben conservar húmedos, debido al hinchamiento que se produce por la humedad al momento de vaciar el concreto, para así evitar que se doblen y sufran torceduras.
- La madera debe ser de consistencia blanda, que permita el clavado con facilidad sin que se raje.
- Los cuarterones no deben conservar humedad debido a la función que desempeñan, siendo estos más resistentes que las tablas.
- Las viguetas por ser piezas distintas a los puntales, deben ser de madera dura.

4.1.2. Requisitos de diseño

La separación y cantidad de traviesas, dependerá del tamaño del encofrado, teniendo en cuenta la presión del concreto según el volumen de este, sin exceder 80 cm la separación entre cada una; colocándose medio centímetro del centro de los tableros, también en algunos casos sobresaliendo 2.50 cm.



Los cepos podrán ser de 10 cm de ancho por 24 cm más que el ancho de los tableros del encofrado, el grueso podrá ser de 2.5 cm si es de tabla y de 5 cm si es de cuartón.

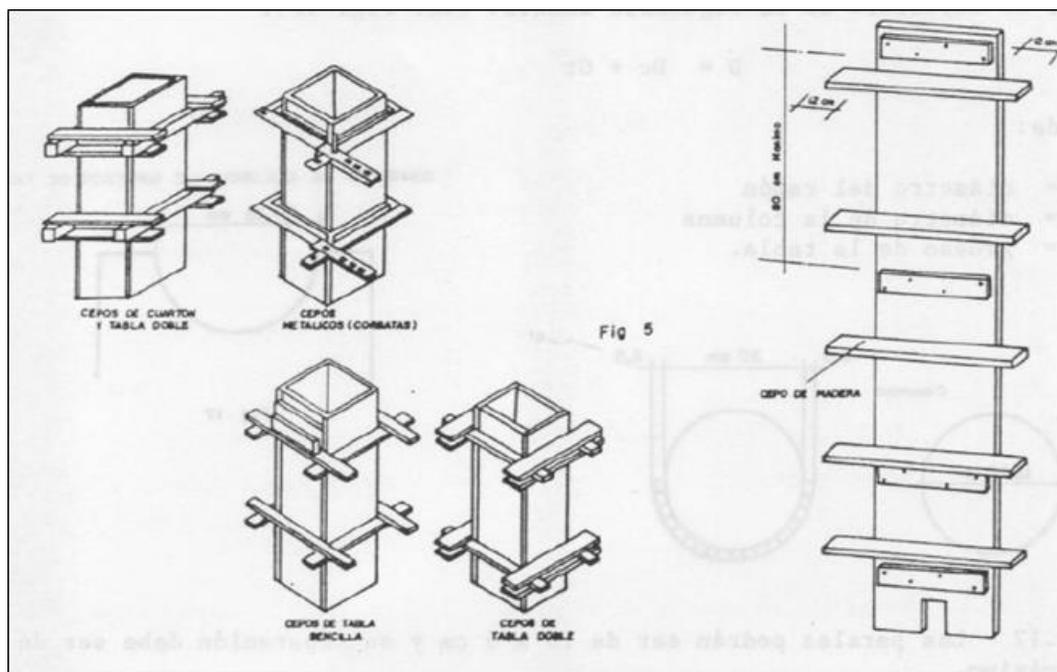


Figura 9. Separación de cepos o corbatas.

Fuente: COVENIN 2244-9.

Los cepos para columnas de tipo normal se deberán colocar primero a 30 cm del piso y los restantes a 45 cm aproximadamente. Del mismo modo, cuando se utilicen corbatas de metal, se deberá colocar traviesas para que las corbatas queden apoyadas sobre estas. Los refuerzos (cepos de madera o corbatas metálicas), se deberán colocarse más juntos en la parte inferior de la columna, ya que cuando en el encofrado se vacía el concreto, este produce una fuerza de empuje que trata de separar los tableros del encofrado. Esta fuerza se produce en forma creciente de arriba hacia abajo, y ejerce la mayor intensidad en el tercio inferior de la altura del encofrado.

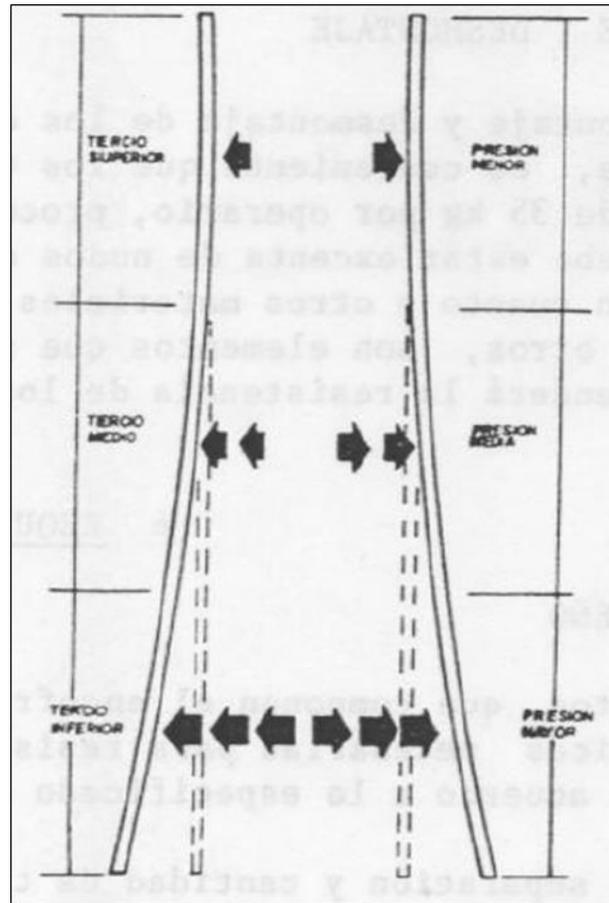


Figura 10. Fuerza ejercida por el hormigón fresco.
Fuente: COVENIN 2244-9.

Para las columnas, generalmente el primer refuerzo deberá ir a 30 cm de la parte inferior del encofrado. Los sucesivos refuerzos deberán colocarse a 45 cm aproximadamente:

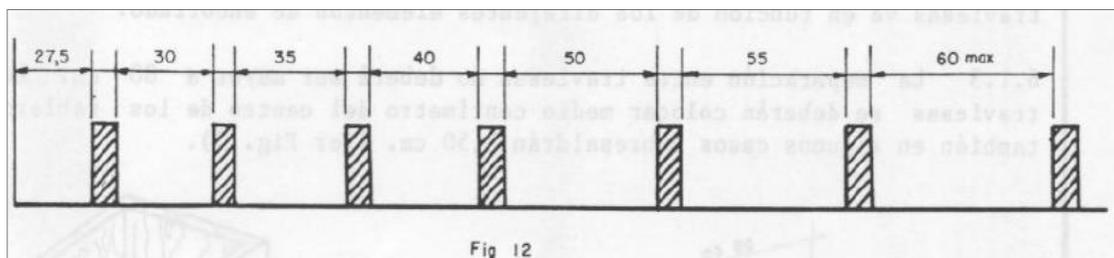


Figura 11. Separación de cepos en columnas.
Fuente: COVENIN 2244-9.

Para columnas pesadas, mayores de 0.24 m² se podrán aplicar las siguientes separaciones:

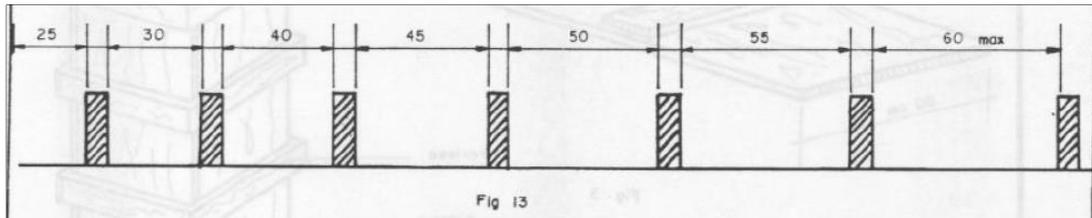


Figura 12. Separación de cepos para columnas pesadas.
Fuente: COVENIN 2244-9.

Para columnas ligeras, menores de 0.24 m² se podrán aplicar las siguientes separaciones:

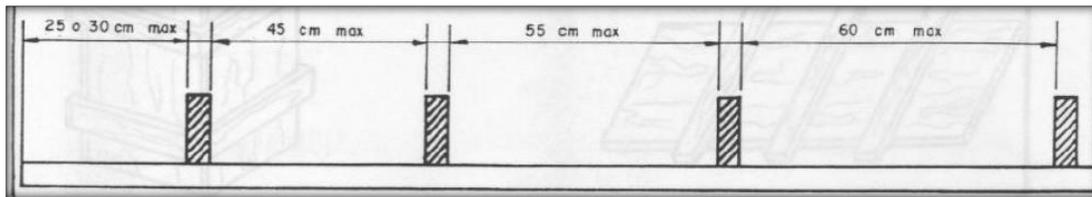


Figura 13. Separación de cepos para columnas ligeras.
Fuente: COVENIN 2244-9.

El diámetro de los camones deberá ser mayor que el de la columna, este se calculará de la siguiente manera:

$$D = D_c + G_t$$

(Ec. 10)

Donde:

D = diámetro del camón

D_c = diámetro de la columna

G_t = grueso de la tabla

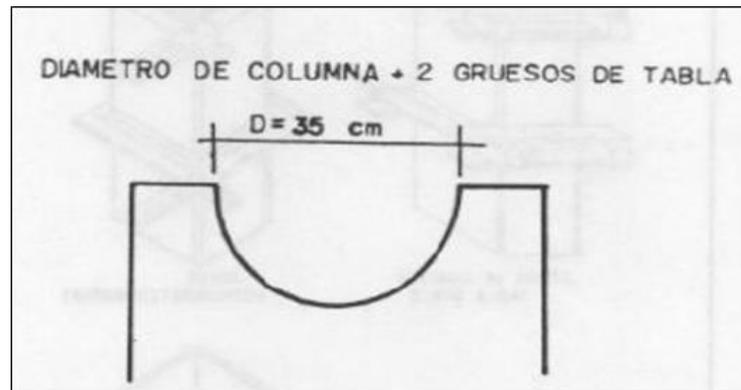


Figura 14. Diámetro de los camones para encofrado de columnas circulares.
Fuente: COVENIN 2244-9.

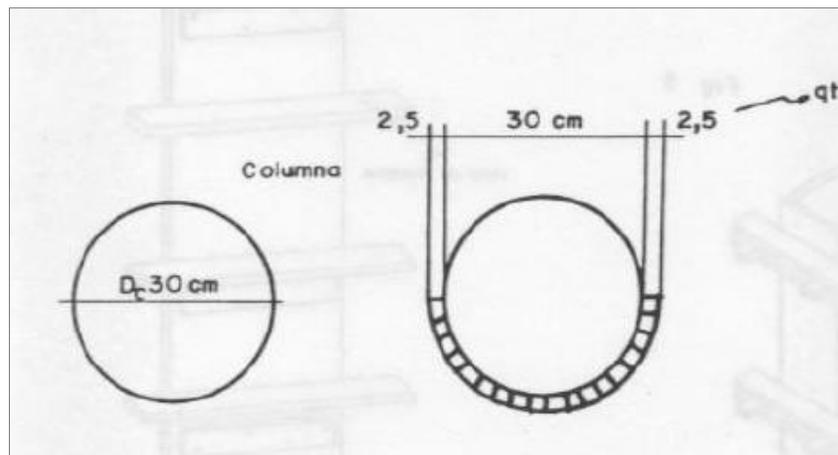


Figura 15. Diámetro de las columnas.
Fuente: COVENIN 2244-9.

Los parales podrán ser de $10 \times 5 \text{ cm}$ y su separación debe ser de 60 cm máximo. Los largueros podrán ser de $10 \times 5 \text{ cm}$ el primero se deberá colocar a 30 cm de la base, los dos siguientes de 40 a 50 cm y los otros de 60 a 80 cm . Todos los encofrados deberán ser tratados con aceites, para evitar que el concreto se adhiera a la madera, estos aceites deberán aplicarse antes del montaje, en todo caso el aceitado se deberá hacer antes de la colocación de los refuerzos.

4.1.3. Requisitos de seguridad

Para la inspección de los encofrados se deberá tener en cuenta los siguientes factores:

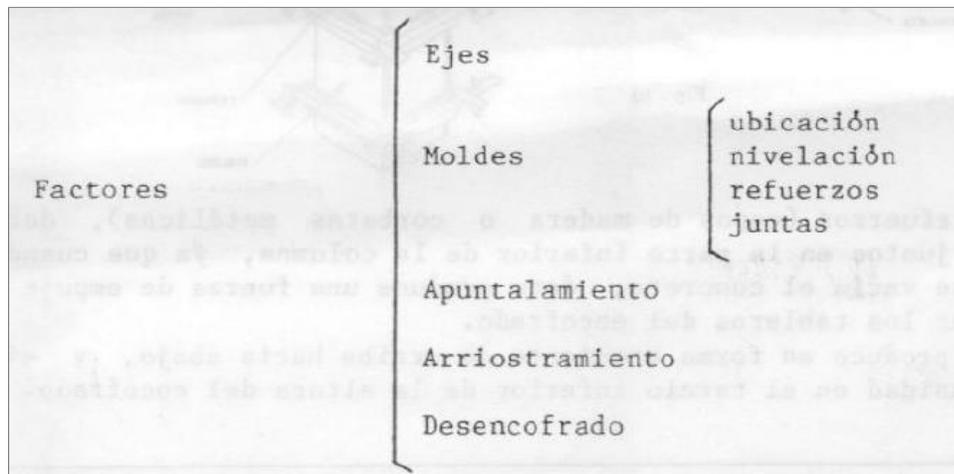


Figura 16. Factores de seguridad en los encofrados.
Fuente: COVENIN 2244-9.

4.1.3.1. Ejes

Se deberá verificar los ejes en el replanteo teniendo en cuenta las referencias, medidas y ángulos, se deberá revisar también los ejes en casa nueva planta y comprobar que correspondan exactamente con los de la planta inferior, ya que de ello depende la superposición exacta de los centros de ejes verticales.

Al momento de verificar todos los elementos, en particular las columnas, deben de tener todos sus ejes perpendiculares, coincidiendo con la intersección de los ejes principales. En donde, las caras de los tableros (en el caso de ser rectangulares o cuadrados) deberán ser paralelas a los ejes principales.

Se deberá verificar que los puntos de referencia para el trazado de los ejes sean inamovibles, y que estén debidamente identificados con el plano respectivo.

4.1.3.2. Moldes

Los moldes de cualquier material se deberán verificar tomando en cuenta:

- Ubicación: donde se debe observar que los moldes estén colocados en la posición correcta respecto a sus ejes correspondiendo a las especificaciones del proyecto, en donde las caras de los moldes deberán ser paralelas a sus ejes en columnas cuadradas o rectangulares. En columnas circulares o poligonales, se deberá comprobar que el eje vertical del molde coincida exactamente, con la intersección de los ejes principales, también se deberá comprobar que los arranques de escaleras, ejes de paredes o muros correspondan con los ejes respectivos.
- Nivelación: establece que se deberá toma en cuenta la contra flecha necesaria para que la estructura una vez desencofrada tome la posición prevista. Se podrá tomar una contra flecha de 1 mm por m. Se deberá verificar el aplomado en varios puntos del tablero, principalmente en los extremos. Cuando el molde es circular o poligonal el en la intersección de los ejes principales, comprobando la verticalidad de los costados de vigas y tableros de cierres de losas. Se deberá verificar la horizontalidad de los peldaños en las escaleras y en los diferentes puntos del nivel de las losas. Igualmente, la posiciones y forma, así como la solidez del apoyo antes de vaciar el concreto o después de una lluvia.
- Refuerzos: los moldes deben tener las piezas de refuerzos (corbatas, tensores, codales y otros) que garanticen la suficiente resistencia de los tableros para contrarrestar la presión que ejercerá el concreto al

momento del vaciado de tal forma que no permitan ningún tipo de deformación.

- Juntas: Deben ser estancas y en caso de ser necesario se deberán calafatear con estopa o similar a fin de evitar escapes de lechada de concreto.

4.1.3.3. Apuntalamiento

Los encofrados deberán estar apoyados sobre puntales, que se arriostraran longitudinalmente y transversalmente, de modo que las cargas horizontales que produzcan pueden ser transmitidas directamente al suelo. Para apuntalar con piezas de madera se deberán usar puntales rectos y si se usan viguetas, tendrán un diámetro no menor de 7 cm, y para reducir la longitud de pandeo se colocarán arrostramientos en direcciones perpendiculares entre sí. Si el apuntalamiento está hecho sobre terreno natural, la carga transmitida por los puntales deberá distribuirse sobre este, por medio de tablas, cuñas de madera, fundaciones de concreto u otro dispositivo conveniente de acuerdo a la resistencia del suelo.

El encofrado y el apuntalamiento con elementos de acero deberán tener un factor de seguridad no menor de 2.5. Si la construcción es de varios niveles los puntales de los distintos niveles deberán colocarse superpuestos según sus verticales. El largo de cada cubrejunta no deberá ser inferior a siete veces la menor dimensión transversal por empalmar y la cantidad de puntales empalmados no será mayor de 20% del total distribuidos equitativamente entre los puntales sin empalmar, sin llevar empalmes en el tercio central.

La separación máxima entre puntales es de 1.50 m esta distancia puede variar en función del peso que deberá soportar, pero en ningún caso debe sobrepasar esta distancia. Del mismo modo, al desencofrar se deberá dejar en su sitio algunos

“puntales de seguridad” durante un periodo de 8 días en las obras construidas con cemento de tipo normal o de 4 días para las de cemento de alta resistencia inicial.

En losas de más de 3 m de luz. Se deberá dejar un puntal de seguridad en el centro de la losa y a partir de este se dejarán puntales a una distancia máxima entre sí de 3 m. En vigas de menos de 3 m de luz se deberá dejar un puntal de seguridad en el centro de la luz y en vigas de más de 3 m de luz se deberá usar el número de puntales de seguridad señalado en la figura 17.

LUZ DE VIGA (m)	No. DE PUNTALES DE SEGURIDAD
3 a 6	2
6 a 8	3
8 a 10	4

Figura 17. Cantidad de puntales según la luz de la viga.
Fuente: COVENIN 2244-9.

4.1.3.4. Arriostramiento

Se deberá comprobar que el arriostramiento es suficiente para garantizar la estabilidad de los moldes y que estos estén suficientemente fijos. Cuando sea necesario apuntalar un molde muy alto, es recomendable utilizar andamios de acuerdo con lo especificado en la Norma Venezolana COVENIN-2116.

4.1.3.5. Desencofrado

El desencofrado se deberá efectuar con el mayor cuidado para no deteriorar los moldes, verificando que no se desencofre antes de que el concreto haya alcanzado la resistencia necesaria para soportar las cargas muertas y las cargas adicionales que

puedan presentarse, cerrando el tránsito de personas y solo se permitirá la presencia de aquellas necesarias para la operación.

Las columnas deberán desencofrarse antes de desencofrar las losas y vigas que sustentan. Para utilizar un entrepiso inmediatamente después de retirar los puntales, se deberán tomar precauciones adicionales. Las losas comenzaran a ser desencofradas por los extremos y luego la zona central. En la figura 18, se indican los tiempos mínimos de desencofrados, dependiendo del tipo de concreto y el elemento estructural a desencofrar.

Clase de cemento	Costados de vigas, pilares y muros	Losas con luz menor o igual a 3 m	Losas con luz mayor a 3 m Luz menor a 5 m Vigas con luz menor o igual 6 m	Losas con luz mayor a 5 m Vigas con luz mayor a 6 m
Cemento Portland	2 días	6 días	12 días	2,50 x longitud de días
Cemento de alta resistencia	1 día	2 días	6 días	1,10 x longitud de días.

Figura 18. Tiempos mínimos para desencofrar.
Fuente: COVENIN 2244-9. Editada por el autor.

4.2. Nuevas tecnologías de encofrados usados actualmente en el mundo

Los encofrados son formaleas, moldes temporales o permanentes que se utilizan para dar forma al concreto u otros materiales similares, para la construcción de los diversos componentes de estructuras de concreto armado como columnas, muros, vigas, techos, etc. Los cuales han tenido avances e innovaciones tecnológicas en las últimas décadas, para así optimizar tiempos, costos y eficiencia.

Hasta fechas recientes, el material más comúnmente usado para la realización de encofrados era la madera. Posteriormente, la utilización de nuevos materiales como el aluminio y el plástico han hecho que esta actividad se realice con procesos mucho más estandarizados e industrializados, los cuales tienen como principal ventaja el rápido montaje y desmontaje, reduciendo en gran medida los tiempos de ejecución.

A la hora de realizar una clasificación de los diferentes sistemas de encofrado que se utilizan actualmente en obras de construcción, se pueden dividir los mismos en:

4.2.1. Sistema de encofrados para muros

Son estructuras provisionalmente auxiliares formadas por una serie de paneles y componentes prefabricados metálicos (acero, aluminio, etc.) y de madera que, unidos de forma solidaria, permiten sostener y moldear el hormigón fresco hasta que endurezca y adquiera la resistencia adecuada. En la actualidad el encofrado clásico de madera ha dado paso a los encofrados mediante módulos recuperables prefabricados, preparados para armarse y disponerse según las necesidades y geometría de la obra.

Los materiales empleados (rectos o curvos) son de múltiple naturaleza: paneles metálicos, elementos de madera o plásticos, y piezas cerámicas para los de pequeñas dimensiones, cimentaciones o pequeñas zanjas. El panel suele estar compuesto por una superficie lisa (multicapa fenólica o chapa de acero) a la que se dota de la resistencia y rigidez requeridas mediante una serie de perfiles metálicos soldados en su reverso.



Figura 19. Encofrado para muros.

Fuente: Encofrado marca Doka - Información para el usuario. Editado por el autor.

Para un hormigón se emplean paneles lisos, impermeables, por lo general, metálicos, ya que ello permite mayor número de puestas que los tableros de madera, y según se requiera, pueden recubrirse de productos desencofrantes, lo cual mejora el aspecto de la superficie garantizando la calidad en el acabado final de obra.

Todos los sistemas de encofrados para muros, ofrecen una integración perfecta, económica y sencilla de los dispositivos de seguridad, para una colocación, alineada y fijación correcta del encofrado contra las cargas del viento; en este tipo de sistemas se deben utilizar puntales telescópicos y de ajustes, igualmente requieren de un anclaje en el suelo, que ofrece la máxima seguridad.

Para su desplazamiento solo se deben utilizar equipos de desplazamiento adecuado como lo son los ganchos de desplazamiento y ganchos de elevación.



Figura 20. Encofrados modulares para muros marca DOKA.
Fuente: Encofrado marca Doka - Información para el usuario.

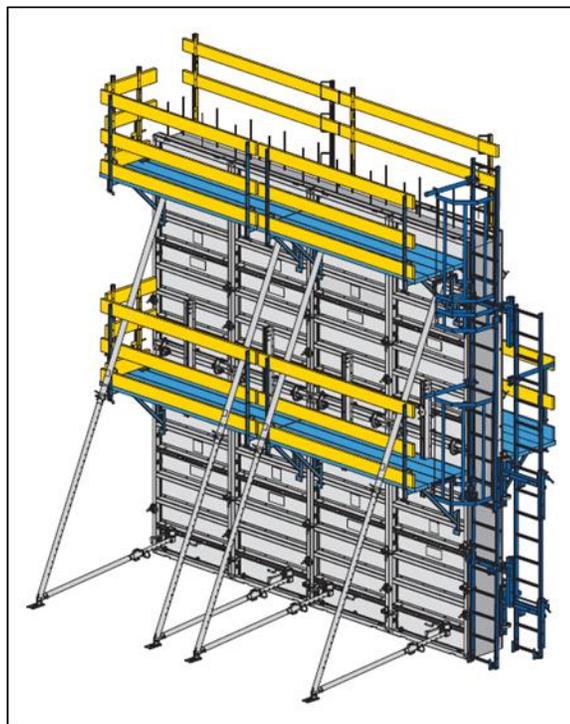


Figura 21. Encofrado modular para muros marca DOKA.
Fuente: Encofrado marca Doka - Información para el usuario.

El sistema de encofrado de muros tiene la gran ventaja de ahorrar hasta un 50% de anclajes, ayudando a reducir el tiempo de trabajo, debido a la sencilla unión vertical con elementos estándares sin anclajes adicionales.

El montaje de este encofrado se realiza mediante la unión de los diversos paneles unitarios modulados, hasta conseguir el conjunto deseado, tanto en longitud como en altura, siguiendo los criterios de seguridad establecidos para el montaje, traslado dentro de la obra, disposición final y desmontaje.

No resulta fácil realizar una clasificación de los elementos de encofrados, ya que los conjuntos de elementos necesarios vienen impuestos por imperativos técnicos y económicos muy variados y en función de la singularidad del encofrado realizado en obras de edificación u obra civil. Los componentes principales que conforman el sistema son los siguientes:

- Consola de trabajo.
- Panel.
- Elementos estabilizadores.
- Accesos.
- Grapas.
- Elemento auxiliar de apoyo del apuntalamiento.
- Rigidizadores.
- Tensores de radio.
- Tensores externos.

4.2.1.1. Tipos de encofrados para muros

Su resistencia y versatilidad en la modulación de los paneles hacen de él un producto capaz de solucionar, con sus elementos estándar, la mayoría de situaciones

que se presentan tanto en edificación como en obra civil. Ya sean muros de hormigón recto, circular, irregular o el encuentro entre estos; pueden clasificarse de la siguiente manera:

a) Encofrados manuales de muros

Los encofrados manuales de muros son sistemas de encofrados recuperables empleados para la construcción de muros de hormigón armado, están diseñados para poder ser manipulados en forma totalmente manual sin necesidad del uso de grúas.

El sistema se compone de un marco reforzado de acero cincado y un forro de contrachapado fenólico de 12 mm de espesor. Este sistema posee gran diversidad de módulos, accesorios, con superficies fenólicas de fácil desencofrado, poseen poco peso y cuñas para ensamblaje; por estas razones constituye un sistema rápido de montar, de gran manejabilidad y un buen acabado.



Figura 22. Sistema de encofrado de muros manuales.
Fuente: Sistemas de encofrados marca ULMA.

Ventajas del sistema:

- Es un sistema ligero, con sólo 24 kg/m², por lo tanto su uso ideal se corresponde con aquellas obras que no disponen de grúa. A pesar de ello.
- La rápida unión entre paneles se realiza mediante cuñas rápidas que se acoplan entre sí y se aseguran con un golpe de martillo. Una vez montada una de las caras del muro, la otra cara se alinea automáticamente mediante los tirantes que sujetan las dos caras del encofrado.
- Debido a la gran variedad de modulación y accesorios se puede ejecutar cualquier tipo de muro con paneles de 5/15/20/25.../55 y 60 cm. Con los mismos paneles estándar y sus accesorios correspondientes, el sistema permite ejecutar muros poligonales. Asimismo pueden utilizarse los paneles de muro para encofrar pilares utilizando el ángulo exterior.
- La superficie de encofrado es un tablero de contrachapado fenólico que proporciona un acabado de hormigón visto con una presión admisible de al menos 48,80 kN/m²

b) Encofrados de muros con grúas

Este tipo de encofrados actúan y se diseñan del mismo modo que los sistemas de encofrados manuales, con la diferencia de que requieren la ayuda de una grúa para su ensamble, ya que alcanzan alturas de 3 a 9 metros. Este sistema de muros se clasifican en:

Muros con grúa acabado visto: Se consignan dos tipos de encofrados para muros, según sean rectos o curvos:

Para muro recto: Es un sistema de encofrado recuperable para muros de hormigón está diseñado para ser manipulado con grúa, compuesto por un marco reforzado de acero y un forro de contrachapado fenólico de 15 mm de espesor.



Figura 23. Sistema de encofrado para muros rectos con grúa.
Fuente: Sistemas de encofrados marca ULMA.

Accesorios para su Montaje:

- Tornapuntas.
- Consola de Trabajo y Plataforma de Trabajo
- Consolas Trepantes.
- Desencofrante.
- Grapa Manual y Grapa Extensible.
- Muro a una cara.
- Rigidizador.
- Asa de seguridad.

Debido a su estudiada estructura de acero reforzada se consiguen grandes superficies (3 y 6 m²) con mínimas juntas entre los paneles. Este sistema solo requiere de dos tirantes de 3 metros de altura, permitiendo un acabado del muro en marcas excesivas.

El sistema de encofrado junto con sus accesorios puede montarse en forma fácil y rápida. El apoyo del marco de 15 mm facilita el ensamblaje y alineación de los paneles, la grapa manual permite la unión en cualquier punto del bastidor, consiguiendo además alinear los paneles.

Con su superficie encofrante de contrachapado fenólico de 15 mm, proporciona un acabado de hormigón visto. Asimismo posibilita el definir la textura del hormigón mediante la colocación de berengenas u otros elementos de fácil adhesión al forro.

Para muro circular: Sistema de encofrado de muros circulares está formado por un bastidor de acero cincado y una superficie de contrachapado. El sistema de unión de los paneles se realiza mediante la grapa rápida y manual utilizada en los sistemas de encofrados.

Los módulos vienen pre-montados de fábrica y sólo es necesario darles el radio en la obra, para ello el diseño del panel incorpora los elementos necesarios, y no requiere ninguna herramienta especial para curvar.



Figura 24. Sistema de encofrado para muros curvos con grúa.
Fuente: Sistemas de encofrados marca ULMA.

Accesorios para su Montaje:

- Tornapuntas.
- Consola de Trabajo.
- Consolas Trepantes 160 y 240.
- Desencofrante.
- Grapa Manual y Grapa Extensible.

Este sistema premontado, con todos sus accesorios, permite un montaje fácil y rápido. El cambio de radio se puede realizar sin necesidad de desmontar la pantalla. Opcionalmente este sistema de encofrado ofrece la utilización de suplementos de compensación metálicos que se unen al panel mediante tornillo y tuerca. Estos suplementos quedan adheridos a la pantalla en los movimientos en la obra para siguientes puestas.

De igual forma la superficie encofrante fenólica proporciona un acabado de hormigón visto. Además la pantalla dispone de un sistema de refuerzo de larguero extremo con una doble función (mejorar la unión rígida entre paneles y asegurar la correcta curvatura del radio en la zona de transición entre paneles).

El sistema de encofrado circular se ha diseñado de manera tal que la pantalla viene premontada y tiene un espesor de 15 mm facilitando mucho su manejo y reduciendo el coste en los transportes. Los tensores de radio vienen protegidos para evitar su deterioro por los golpes o restos de hormigón.

c) Muros con Grúa Acabado Arquitectónico.

Los Encofrados para muros con grúa acabado arquitectónico se realizan mediante un sistema de encofrado recuperable para muros rectos y curvos con modulaciones estándar y especiales, con acabado de hormigón visto de calidad.



Figura 25. Encofrado para muros mixtos con grúa.
Fuente: Sistemas de encofrados marca ULMA.

Accesorios para Montaje:

- Grapa Manual y Grapa Extensible
- Tornapuntas
- Consola de Trabajo y Plataforma de Trabajo
- Consola Trepante
- Desencofrante

Este sistema está formado por una estructura de soporte mixta compuesta de vigas de madera con perfiles de acero y una superficie encofrante de tableros de contrachapado. Los sistemas de paneles con marco metálico permiten que las juntas entre paneles sean casi imperceptibles por ser ambas de tablero contrachapado.

Respecto a los sistemas de paneles con marco metálico los muros consiguen que las juntas entre paneles sean casi imperceptibles. La libre disposición de los tirantes permite que la pantalla se adapte al proyecto del arquitecto. Este sistema ofrece un buen acabado de hormigón arquitectónico.

El sistema de encofrado de muros en general, se caracteriza principalmente por poder adaptarse a cualquier geometría mediante diversas soluciones:

- Las grapas mencionadas anteriormente, se pueden colocar en cualquier punto del bastidor, proporcionando una gran versatilidad, permitiendo hacer muros en desnivel y combinaciones de paneles en vertical y horizontal.
- La diversidad de modulación de los paneles permite solucionar de forma fácil las esquinas de los muros más habituales en edificación u obra civil. Mediante piezas que forman el ángulo de la esquina exterior se unen los paneles estándar formando la esquina inferior con el espesor del muro deseado.
- En los casos en los que el encuentro de muros y las esquinas de muros formen ángulos no rectos, se utilizan esquinas articuladas exteriores e interiores. De esta forma, se pueden solucionar los ángulos deseados facilitando la unión de dos paneles estándar con el ancho apropiado en función del espesor del muro.
- El sistema de muro a una cara produce un encofrado robusto. Está formado por un bastidor metálico o de madera con cara encofrante de madera o chapa, orientado a la ejecución de muros o pantallas con encofrado en una cara de los mismos (generalmente se realizan contra el terreno o en taludes) con gran superficie y buen acabado.
- El encofrado circular es usado para gran cantidad de soluciones en muros, por ejemplo: muros de plantas depuradoras y biogas, rampas estacionamientos, silos y demás proyectos circulares que exigen encofrar los más diferentes radios. Para ello en primer lugar se fijan los paneles con el radio requerido

(mediante plantillas de madera interiores y exteriores con el radio y los perfiles requeridos) y se posicionan los elementos de estabilización.

- La mayoría de empresas del sector disponen también de sistemas ligeros de encofrado, sin necesidad de utilizar medios de elevación para su disposición en obra. Los paneles se van acoplando entre sí, una vez montada una de las caras del muro, la otra cara se alinea automáticamente mediante los tirantes que sujetan las dos caras del encofrado, siendo muy utilizados en cimientos para muros y pilares en edificación. Todas estas propiedades confieren a este sistema una gran manejabilidad, rapidez, funcionalidad y seguridad en su uso.
- Los sistemas de encofrados circulares verticales pueden ser con anclajes o sin anclajes a la zapata (donde el encofrado articulado absorbe la presión del hormigonado a través de un anillo cerrado de encofrado). Al prescindir de los anclajes de zapata, se genera un ahorro significativo en los costes de mano de obra y de material, resultando muy ventajoso en obras estancas. En función del radio y espesor a ejecutar se generan diferencias de presión entre el panel exterior e interior, las cuales son absorbidas por compensaciones de madera o por compensaciones metálicas.

4.2.2. Sistemas de encofrados trepantes

Son aquellos sistemas de encofrados que se desplazan verticalmente para ejecutar aquellos muros que por su altura no pueden realizarse de una sola vez. Por ello es necesario crear una plataforma requerida como lugar de trabajo y soporte de encofrado, anclado mediante un sistema semiautomático accionado por la propia grúa que transporta el conjunto de trepa. Así mismo dispone de un sistema de centrado en la primera puesta que permite desviaciones entre ejes.

Los sistemas trepantes, se apoyan en el hormigón ya fraguado mediante anclajes instalados en cada fase de hormigonado, sirviendo para conformar una

plataforma de trabajo en altura. El desplazamiento de los elementos se realiza mediante grúas fijas o móviles, permitiendo a los sistemas de encofrados diseñados poder trepar muros ha alturas mayores de 6 metros con total seguridad para el operario, con una plataforma de trabajo de 1,6 m de ancho libre de obstáculos.

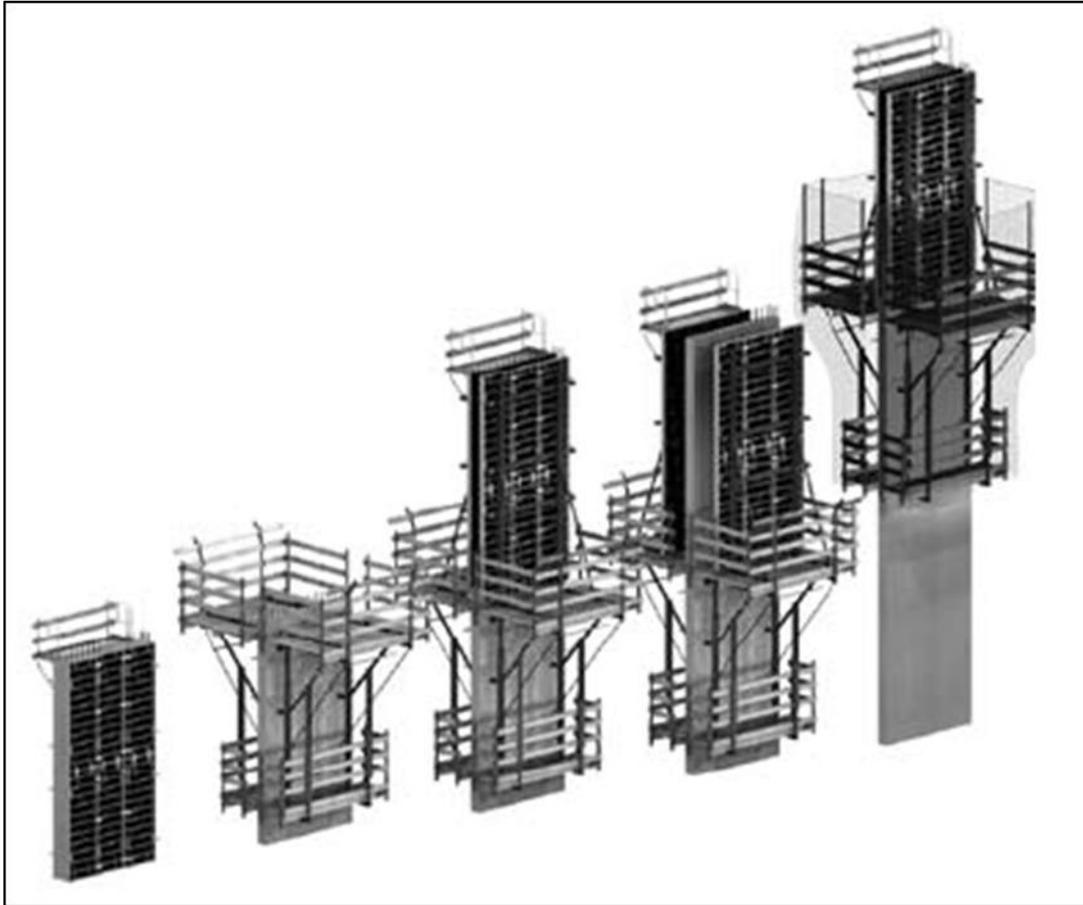


Figura 26. Proceso de trepado en sistema de encofrado vertical trepante.
Fuente: NTP-836 Sistemas trepantes (I).

Los sistemas de encofrado trepante se pueden clasificar por diferentes tipos de criterios:

- Por tipo de movimiento: La plataforma de trabajo y el encofrado se pueden mover de una fase a otra de forma separada, o bien conjuntamente en un único

movimiento de grúa. De este modo, pueden ser sistemas de trepados convencionales.

- Por tipo de encofrado: Pudiendo ser sistemas trepantes a dos caras y a una cara.
- Por tipo de consola trepado: Pudiendo ser una consola fija o móvil (con carro de desplazamiento, permitiendo el retranqueo del panel de encofrado).

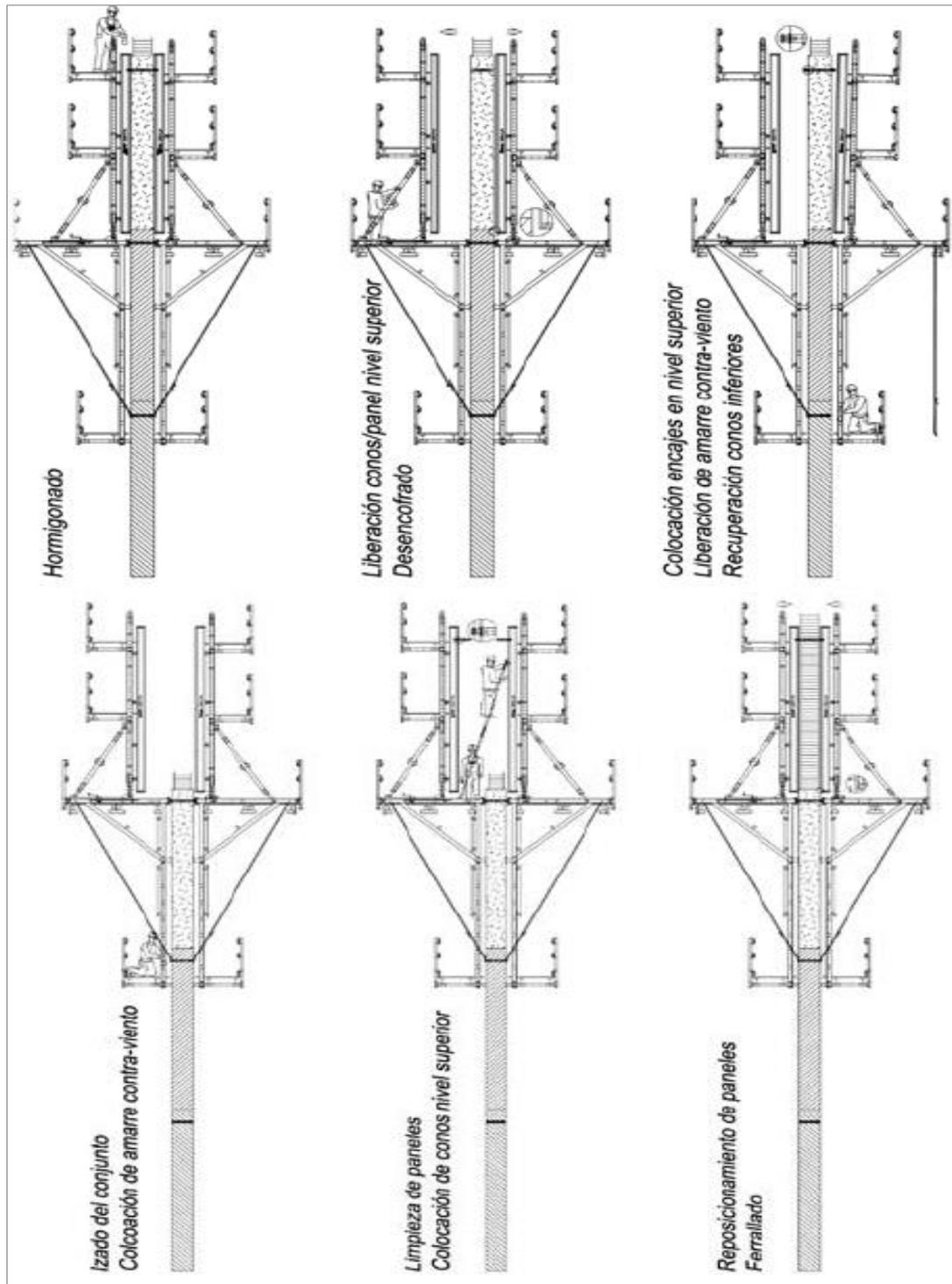


Figura 27. Proceso de trepado en sistemas de encofrado vertical trepante.
Fuente: NTP-836 Sistemas trepantes (I).

Un encofrado trepante está formado (según sean la geometría y condicionantes de la obra a ejecutar) por un conjunto de módulos de trepa formados cada uno de ellos por los siguientes elementos:

- Panel de encofrado: En general es un panel de encofrado convencional para la ejecución de muros. Deberá incorporar, por tanto, una plataforma superior para el hormigonado y, si fuese necesario en función de la altura, otra plataforma a mitad del panel para dar acceso a posiciones intermedias de anclajes o elemento de unión entre módulos.
- Consola de trepa: está formada por dos estructuras planas de forma triangular denominadas consolas convenientemente arriostradas, que permiten la formación, en el plano horizontal, de una plataforma de trabajo. Deben estar preparadas para adaptarles en su parte inferior unas prolongaciones que permitan la creación de una plataforma colgante de trabajo para la recuperación de anclajes y operaciones de repaso y acabado.
- Elementos de conexión: Son una serie de accesorios propios de cada sistema mediante los cuales se realiza la conexión del panel de encofrado a la unidad de trepa. En los encofrados trepantes modernos, los elementos de conexión deben posibilitar el izado del módulo de trepa completo; las operaciones de encofrado y desencofrado, permitiendo el aplome y nivelación del encofrado, y retranqueo de los paneles de encofrado para poder efectuar las labores de limpieza del mismo, así como el ferrallado. En el caso de encofrados trepantes a una cara, los elementos de conexión permiten dimensionar la transmisión de los empujes del hormigón, garantizando el perfecto apriete del encofrado en su solape con la tongada inferior evitando así pérdidas de lechada.
- Anclajes: están diseñados para permitir el cuelgue del módulo de trepa sin la intervención directa de ningún operario, evitando así la presencia de personas sobre el módulo de trepa durante la maniobra de izado y cuelgue del

mismo. Los sistemas de encofrados trepantes, son empleados en la construcción de muros, diques, embalses, presas, etc.

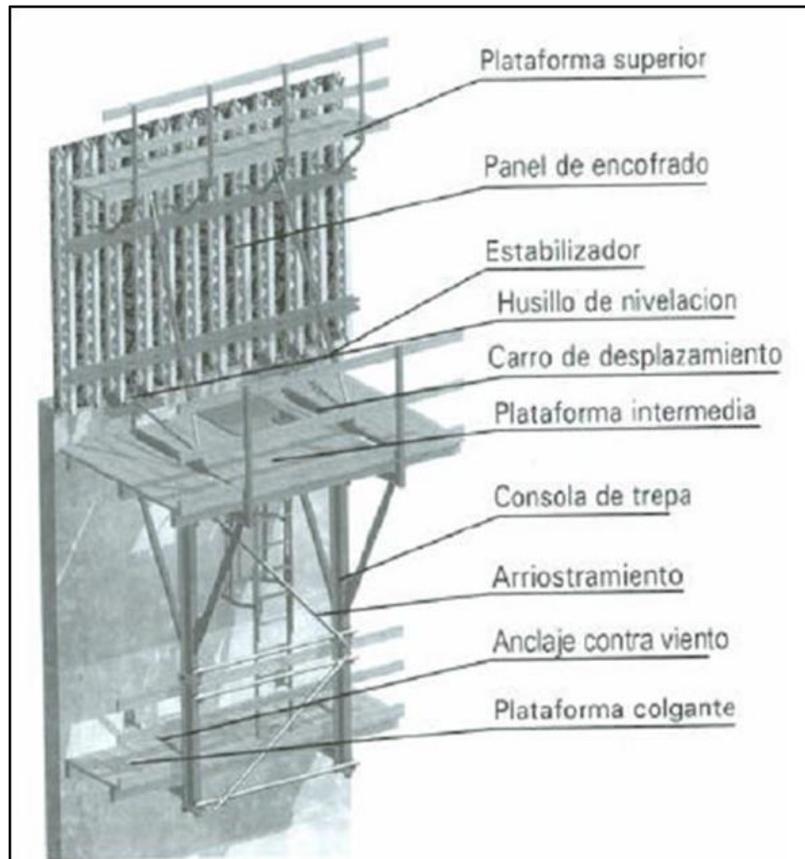


Figura 28. Partes y elementos en los sistemas de encofrado trepantes.
Fuente: NTP-836 Sistemas trepantes (I). Editado por el autor.

Además de todas las recomendaciones habituales para cualquier tipo de encofrado, en encofrados trepantes se presta una especial atención a los medios auxiliares de obra, en particular a la capacidad de grúa, a fin de que esta pueda elevar holgadamente los módulos de trepa diseñados.

Los sistemas trepantes están compuestos por plataformas (hormigonado, vela, principal y la de recuperación de conos) situadas a diversos niveles. En algunos casos se prescinde de alguna de las plataformas.

- Plataforma de hormigonado/consola de trabajo o superior de vela: Cuya función es facilitar el hormigonado, vibrado y las comprobaciones previas al mismo.
- Plataforma inferior de vela: Cuya función es facilitar la colocación / retirada de las barras roscadas, así como de los elementos de cierre entre encofrados. Si la altura del encofrado es pequeña, es decir, se pueden colocar barras roscadas y elementos de cierres desde la plataforma principal, esta plataforma no se realizará.
- Plataforma principal/plataforma trepante: Es la plataforma más amplia de trabajo y sobre ella se realiza la mayor parte del trabajo, ajuste, aplome, así como la colocación del acero de refuerzo, las vainas, etc.
- Plataforma de recuperación de conos/plataforma inferior trepante o suspendida o plataforma inferior: sobre la que se realizan las operaciones de acabado, ya sea retirada de conos, sellados, atado de encofrados, etc.

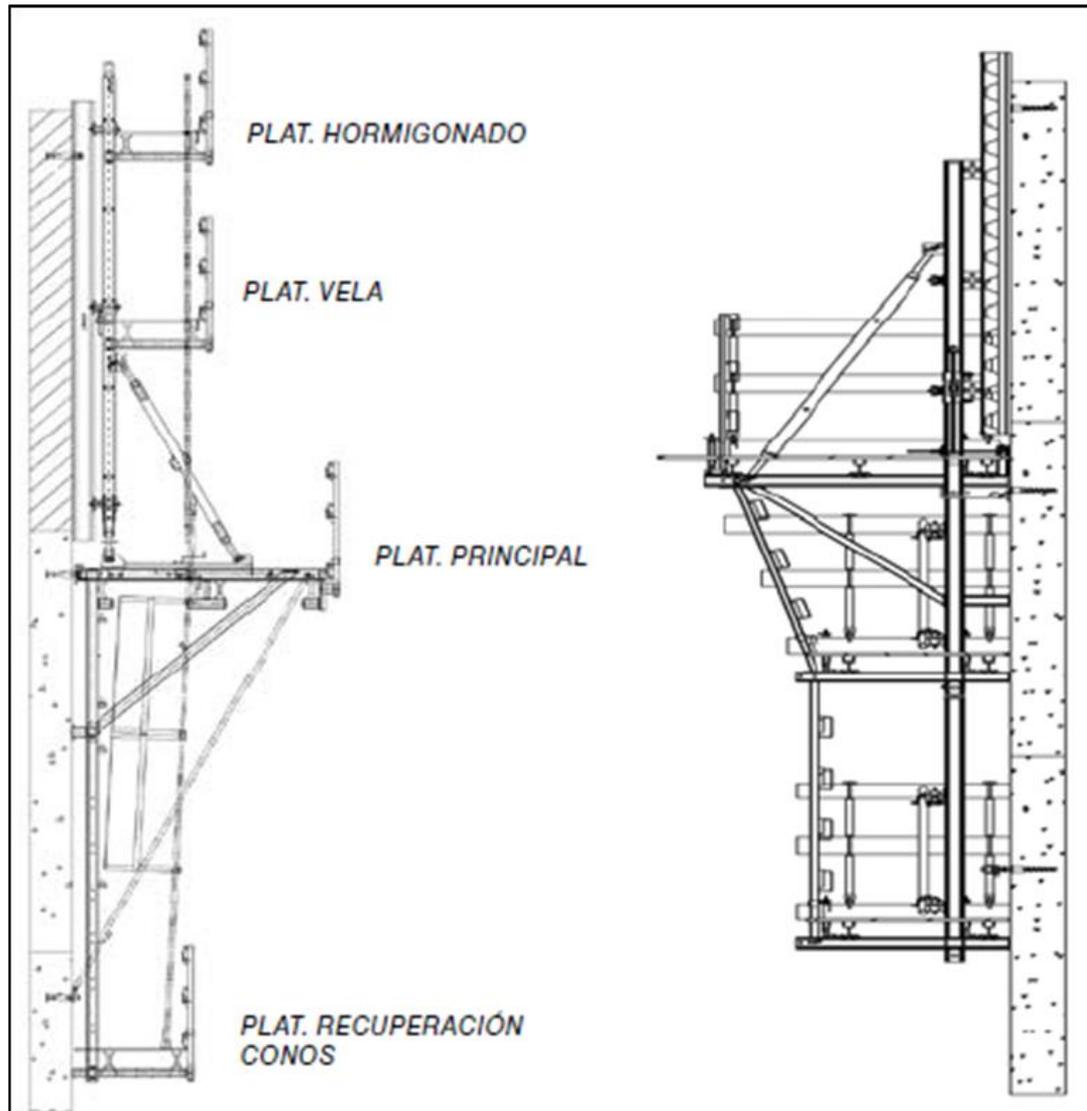


Figura 29. Plataformas utilizadas en los sistemas trepantes.
Fuente: NTP-836 Sistemas trepantes (I).

Existe una gran variedad de sistemas de encofrado trepantes en el mercado, adaptándose cada uno de ellos a una situación específica en la obra. Es por ello que se encuentran sistemas de trepado específicos para presas y otras obras hidráulicas, sistemas diseñados para muros verticales de grandes dimensiones, sistemas para muros de reducidas dimensiones etc. asegurando un manejo sencillo, puestas rápidas

y una adaptación versátil a las distintas geometrías existentes en obra pública o edificación, el más utilizado es el sistema trepante sobre rieles.

Este sistema de trepado sobre rieles reúne las ventajas de los otros sistemas de trepado, añadiendo además rentabilidad, rapidez y seguridad a gran altura. Según el uso, el sistema trepa a elección con grúa o impulsado por unidades de trepado hidráulicas móviles, permitiendo adaptar fácilmente las variantes estándar de montaje a las exigencias específicas de cada obra.

Con el riel de trepado los módulos están unidos a la construcción durante todo el proceso de trepado a través de soportes. El módulo trepante tampoco se mueve con fuertes vientos, permitiendo trepar con rapidez y seguridad en todo momento.



Figura 30. Sistemas de encofrados de una cara.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

En el caso de presas, diques de embalses y obras de edificación para construcciones robustas donde se transmiten mayores esfuerzos por el peso de

hormigón, se utilizan un determinado tipo de paneles que permiten ajustar el encofrado a los cambios de inclinación vertical hacia delante y atrás definidos en proyecto. Este encofrado vertical se caracteriza por ser un sistema trepante a una cara, donde los esfuerzos de la presión de hormigonado se descargan sin anclajes de encofrado, utilizando correas y tornapuntas (de gran capacidad), a través de la consola al anclaje de la misma.

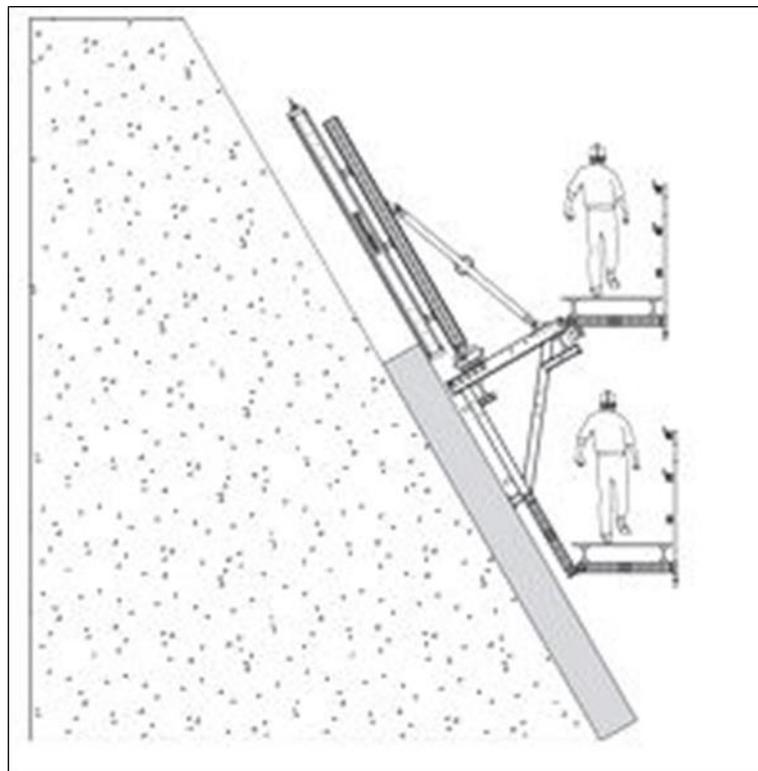


Figura 31. Sistema de encofrado trepante para presas.
Fuente: NTP-836 Sistemas trepantes (I). Editado por el autor.

Este tipo de consolas trepantes son resistentes y representan la solución más económica (al no existir anclajes de encofrado, se puede ahorrar el largo trabajo de terminación, ya que no hace falta sellar cada uno de los puntos de anclaje existentes).



Figura 32. Sistema de encofrados trepante a una cara sobre presas.
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.3. Sistemas autotrepantes

El sistema de encofrado autotrepante es una estructura provisional compuesta por una serie de elementos y componentes prefabricados metálicos y de madera, que unidos de forma solidaria, conforman un dispositivo que permite llevar a cabo las operaciones de encofrado y hormigonado durante la ejecución de estructuras verticales de hormigón armado a gran altura.

Consiste, básicamente, en un sistema de trepa convencional al que se le añaden soluciones mecánicas e hidráulicas para conseguir que la elevación de todo el

conjunto se realice sin necesidad de grúa, levantando consigo el encofrado tantas veces como exija la altura de la edificación.

La elevación de la estructura se realiza mediante la sucesiva elevación del mástil y encofrado a lo largo de la estructura vertical a ejecutar, llevando cada consola su propio cilindro hidráulico que es el encargado de elevar tanto el mástil como la consola.

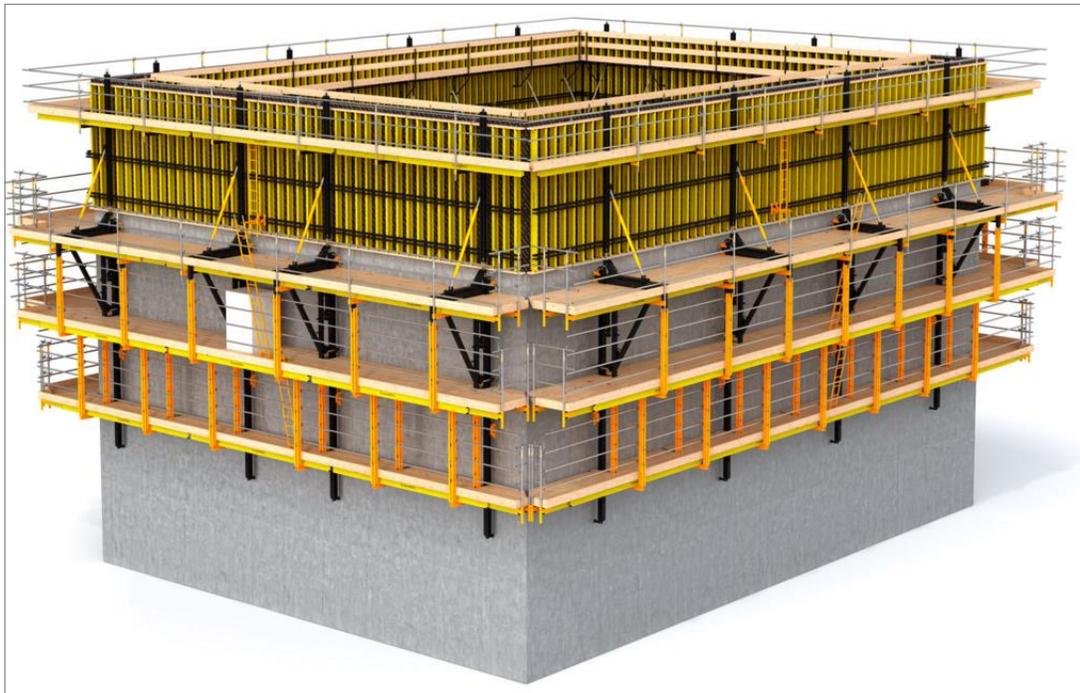


Figura 33. Sistema autotrepante marca DOKA.
Fuente: Encofrado marca Doka - Información para el usuario.

Este sistema se basa a un mecanismo de gatos hidráulicos cuales son los que impulsan nivel a nivel la estructura del encofrado. Al ser elevadas, contiene plataformas colgantes inferiores para recoger los anclajes que ya se usaron, por lo que el elemento queda terminado. El uso de método encofrado autotrepante no está limitado solo a edificios pues se pueden aplicar a cualquiera estructura vertical que sea de gran altura como puentes silos y edificaciones industriales de minas.

La configuración de consola del sistema autotrepante se realiza mediante carros situados sobre la propia consola. Consta también de elementos de regulación que permiten aplomar y posicionar el encofrado horizontal y verticalmente, generando una amplia plataforma principal de trabajo (2,5 m) y otra de accionamiento del sistema hidráulico, además de otras 3 posibles plataformas para tareas de hormigonado y recuperación de elementos.

Los moldajes autotrepantes son principalmente usados en Europa y Norteamérica, y están destinados para obras que requieran alto rendimiento, exigentes niveles de seguridad o que estén sometidas a condiciones climáticas extremas.

Esta plataforma es impulsada por su accionamiento hidráulico, se traslada de nivel en nivel por medio de pistones hidráulicos contenidos en el mismo equipo, caracterizando este sistema de encofrado por no requerir de la intervención de una grúa para su traslado, lo cual lo convierte a esta tecnología en una solución eficiente segura de aplicación flexible y de alta rentabilidad.

Secuencia de trepado:

- Se posiciona el encofrado de una cara, se colocan los anclajes de avance, y posteriormente, la armadura. A continuación, se cierra el encofrado y vacía el hormigón.
- Una vez el hormigón fresco ha endurecido se desencofra.
- Se montan los soportes de trepado y a continuación se eleva el mástil, recuperando los anclajes inferiores.
- Posteriormente se produce el trepado del perfil y del encofrado.
- Repitiendo a continuación el paso 1.

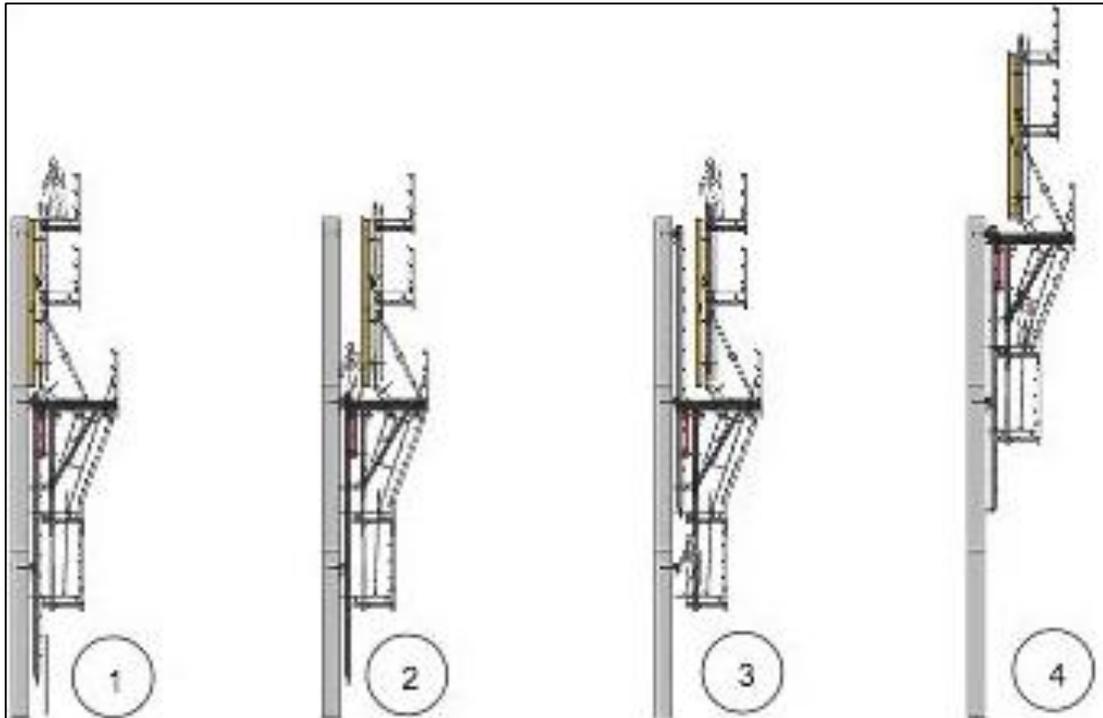


Figura 34. Sistema de encofrado autotrepante - secuencia de trepado.
 Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

La estabilidad final del sistema depende de una estructura adyacente (estructura vertical de hormigón armado), mediante la utilización de los correspondientes anclajes para fijar el mástil de elevación, que unirá este equipo de trabajo a la estructura de hormigón armado adyacente. Los componentes del sistema son, básicamente, los mismos que los utilizados en los sistemas trepantes, añadiendo además los del sistema de elevación.

El sistema de elevación está compuesto, generalmente, por:

- Mástil
- Taco mástil
- Cilindro
- Cabezal trepador superior
- Cabezal trepador inferior

- Cajetín anclaje
- Consola autotrepante

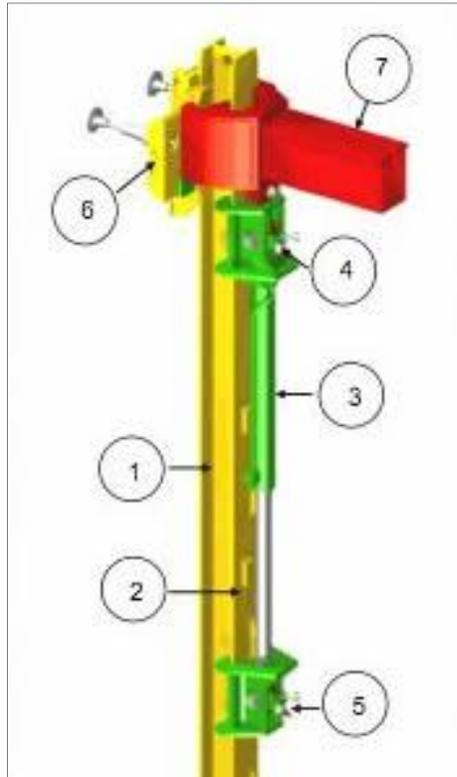


Figura 35. Componentes del sistema de elevación.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

El proceso de elevación se puede dividir en dos operaciones básicas:

- Elevación del mástil: Se eleva el mástil de una posición de anclaje a la siguiente mientras la estructura se mantiene anclada al muro. Una vez elevado el mástil, se ancla a la estructura vertical de hormigón armado otra vez, de forma que sirva de soporte para elevar la estructura.
- Elevación de estructura o consolas: Apoyándose en el mástil la estructura trepa en la estructura vertical hasta llegar a la siguiente posición de anclaje donde se une otra vez solidariamente al muro.

Existen una gran variedad de sistemas de encofrados verticales autotrepantes que pueden adaptarse a cualquier situación dentro de la obra, con las singularidades que está presente. Por ello, se muestran, a continuación, los diferentes sistemas autotrepantes más característicos que se encuentran en el mercado como lo son:

4.2.3.1. Sistema autotrepante estándar

El sistema de encofrado estándar se aplica en todos aquellos casos en los que se encofran grandes superficies y donde debe poder accederse libremente a la estructura vertical desde arriba, para poder colocar las armaduras con facilidad.

Las grandes luces entre consolas, reducen la cantidad de anclajes y de puntos de interferencia en el muro. Entre las consolas queda mucho espacio para incorporar piezas o vanos para puertas y ventanas. El sistema dispone también de un carro de desplazamiento para el retranqueo del panel de encofrado.



Figura 36. Sistema de encofrado autotrepante estándar.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

El sistema de avance puede trabajar de modo automático y seguro, con una velocidad de ascenso uniforme. Caracterizándose, además, por poder ser muy silencioso, de modo que puede trabajarse incluso fuera de los horarios normales sin producir molestias en las zonas residenciales aledañas.

Las cargas de las unidades autotrepantes se transmiten a través de los anclajes a las estructuras verticales en construcción. La gran capacidad de carga de los anclajes permite, en la mayoría de los casos, trepar las unidades tan sólo un día después de hormigonar.

En función de factores individuales tales como: la estructura del edificio, las cargas, espesores de la estructura vertical y la resistencia del hormigón requerida, se determina el soporte de trepado y tipo de anclaje óptimo y su ubicación. De este modo en todo momento los esfuerzos de tracción y transversales se trasladan con toda seguridad a la estructura vertical adyacente.

4.2.3.2. Sistema de encofrado autotrepante con plataforma de trabajo amplia para cualquier tipo de núcleo de edificio

Es la solución óptima para núcleos en avance y construcciones de torres. Las plataformas conforman superficies realmente amplias de trabajo y almacenamiento de materiales.

Constituye una máquina de encofrado compacta y completa para núcleos de edificios altos y torres. El diseño se adapta a la construcción y soporta todo su peso, incluyendo cargas de uso y tránsito, como, por ejemplo, la sobrecarga de uso de las armaduras para cada tramo de trepado.

Durante el trepado no se producen cantos abiertos, por lo que, al estar todo el perímetro cerrado, no existe riesgo de caídas a distinto nivel.



Figura 37. Sistema de encofrado autotrepante con plataforma.
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.3.3. Sistema de encofrado autotrepante para huecos estrechos

Se trata de un sistema desarrollado por los principales fabricantes de encofrados autotrepantes para economizar obras con huecos estrechos con una sola unidad de trepado.

Su principal uso es en la ejecución de cajas individuales pequeñas o varios grupos de cajas ubicadas juntas (por ejemplo, cajas de ascensores en obras de edificación). Los anclajes, las secuencias de trabajo y el proceso de trepado se adaptan especialmente a las reducidas dimensiones del lugar.

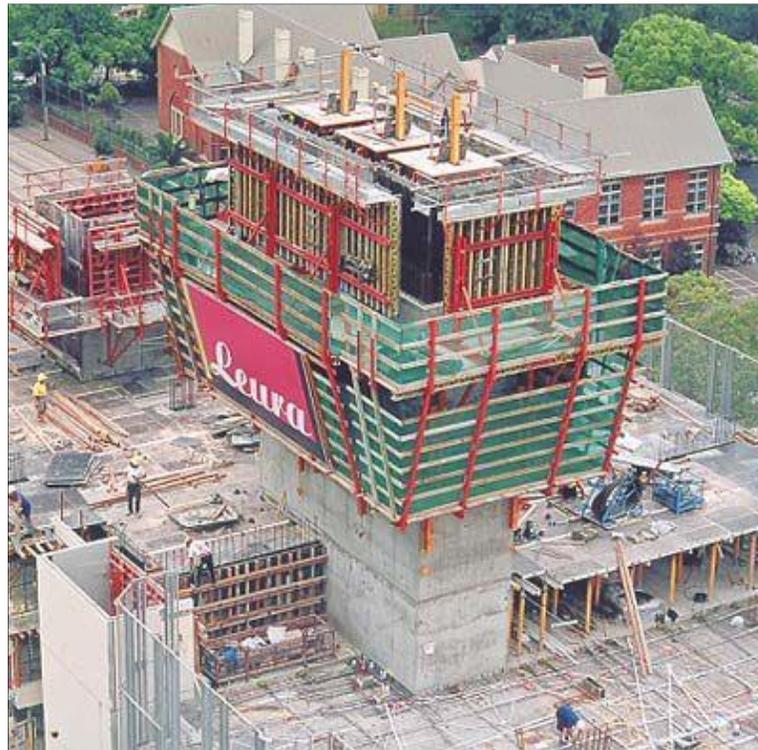


Figura 38. Sistema de encofrado autotrepante para huecos estrechos.
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.3.4. Sistemas de encofrado autotrepante para edificios circulares y para hormigonado monolítico de losa y muro

Esta variante de sistema de autotrepado trabaja con una consola, la cual permite colgar ambos lados del encofrado de una horca, colgando también de esta horca las plataformas de trabajo del lado correspondiente. Las piezas colgadas de la horca permiten desplazarse y posicionarse fácilmente. En edificios circulares las guías para el traslado del encofrado se basculan paralelamente con las consolas ubicadas radialmente.

Este sistema, además, posibilita el hormigonado de losa y muro mediante una única tongada. Los tiempos de puesta menores y el ahorro de múltiples uniones de

armadura para la losa, hacen de este método una opción muy rentable económicamente.

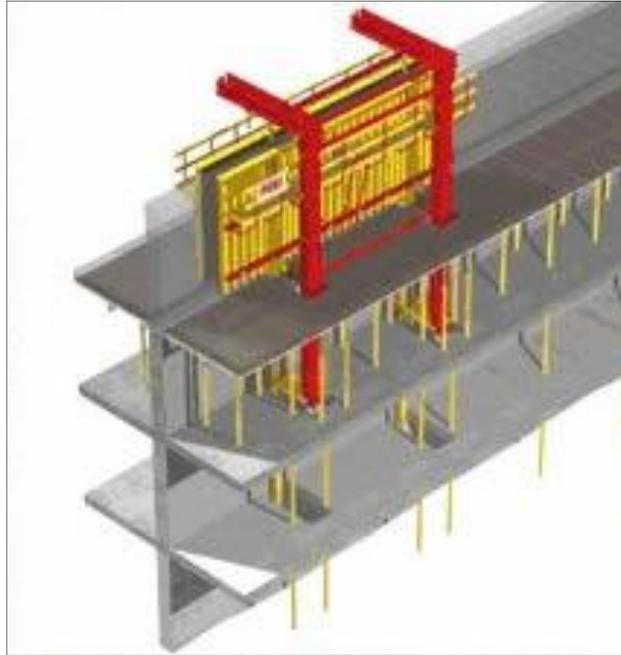


Figura 39. Sistema de encofrado autotrepante para hormigonado de muros.
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.3.5. Sistema de encofrado autotrepante variable y regulable para pilones de puente inclinados

Para muros inclinados se dispone de un encofrado autotrepante de ajuste continuo. Las diferentes plataformas que conforman el sistema autotrepante, pueden regularse en su inclinación, generando una zona de trabajo horizontal que permite realizar los trabajos de colocación de armadura, de encofrado, de hormigonado y de terminación de manera segura y confortable.

El sistema eleva cuatro niveles de trabajo junto con el encofrado de una puesta a la otra, sin necesidad de grúa: la plataforma de hormigonado, el nivel de encofrado y desencofrado, la plataforma donde se encuentra el sistema hidráulico y los controles

y la plataforma de terminación para desmontar soportes de trepado y conos de anclaje.



Figura 40. Sistema de encofrado autotrepante variable.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.4. Encofrados horizontales para obras de edificación

Es una estructura provisional auxiliar, compuesta por una serie de elementos y componentes prefabricados metálicos (acero, aluminio) así como de madera, cuya función de este tipo de encofrados es la construcción de estructuras horizontales temporales, como pueden ser forjados, vigas o losas; y se emplean tanto para planta

parcial como completa; en la actualidad hay muchas formas de realizar este sistema de encofrado, siendo las más actuales las siguientes:

4.2.4.1. Encofrado de mesas:

Son sistema destinado a la ejecución de grandes forjados de superficie regular y repetitiva, donde el encofrado se monta al inicio de la obra y se traslada, sin desmontar, de una zona a otra de la misma.

Las mesas están concebidas para el encofrado de losas macizas y forjados aligerados, logrando ejecutar obras con altas exigencias de acabado, seguridad y rendimiento.

Está formado por la combinación de vigas primarias y vigas de reparto unidas mediante soporte, lo que proporciona una mesa compacta y estable. Mediante los cabezales (elemento de conexión entre la mesa y el puntal) abatibles (en una o dos direcciones), se permiten evitar con facilidad los obstáculos existentes en el forjado (sistemas de protección de borde, otros elementos dispuestos en obra etc.) en el momento de retirar la mesa del forjado ya ejecutado para las siguientes puestas en obra.

Este tipo de encofrado horizontal tiene como una de sus principales características ser un sistema seguro. La mesa necesaria para el encofrado, se monta al inicio de la obra a nivel de suelo (incluyendo la disposición de los tableros y los sistemas de protección de borde en aquellas mesas perimetrales que se encuentran en voladizo) y se traslada, sin desmontar, de una zona a otra, minimizando riesgos derivados de las operaciones de montaje y desmontaje, ejecutando únicamente en altura las labores de remate. Esto caracteriza a este tipo de encofrados por su rapidez de encofrado, desencofrado y movimiento de material, reduciendo la necesidad de

mano de obra, los peligros derivados de fases de montaje y desmontaje en altura y obteniendo así unos grandes rendimientos.

Se puede adaptar a la mayoría de la geometría y dimensiones necesarias en obra, puesto que las principales marcas comerciales disponen de una amplia gama de productos, siendo sus principales características:

- Puntales para mesa
- Tirante antivuelco utilizado en mesas en voladizo
- Mesa
- Sistema de protección de borde
- Hormigón vertido
- Viga
- Cabezal abatible

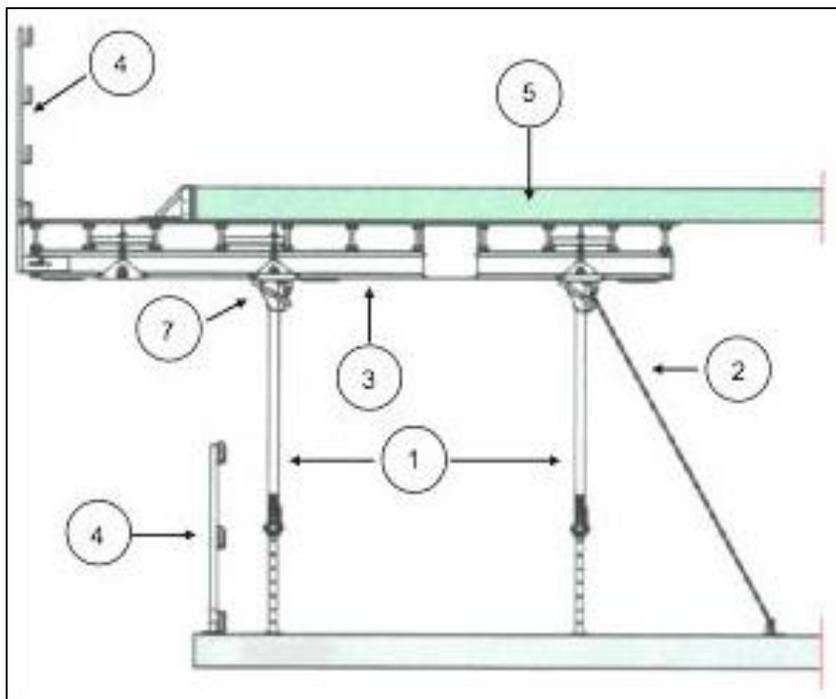


Figura 41. Componentes de un encofrado de mesas.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

El sistema, además, incorpora una serie de accesorios que permiten optimizar el uso de este encofrado horizontal. Gracias a estos equipos de traslado racionales se consiguen tiempos de desplazamiento rápidos y seguridad en el desplazamiento de las grandes mesas de encofrado. Estos accesorios consisten en:

- Carro de desplazamiento para mesas: se trata de un accesorio que permite un rápido desplazamiento horizontal del encofrado de mesa, gracias al dispositivo hidráulico que contiene. Está diseñado para facilitar las tareas de desencofrado y el traslado a la siguiente fase de hormigonado.



Figura 42. Sistema de encofrado horizontal – encofrado de mesas
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

- Carro elevador de mesas: es un accesorio que permite un fácil desplazamiento vertical. Dispone de un accionamiento hidráulico gracias al cual se posibilita el descenso y el ascenso de las mesas, obteniendo una fácil puesta a cota y nivelación de la mesa, sin ningún tipo de esfuerzos para los operarios.



Figura 43. Carro elevador de encofrado de mesas.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

- Balancín de traslado / Gancho transporte vertical: Accesorio de fijación de la grúa con la mesa, colgando ésta siempre de posición horizontal respecto a la grúa, con lo que se posibilita trasladar las mesas de un nivel a otro sin apenas riesgos.

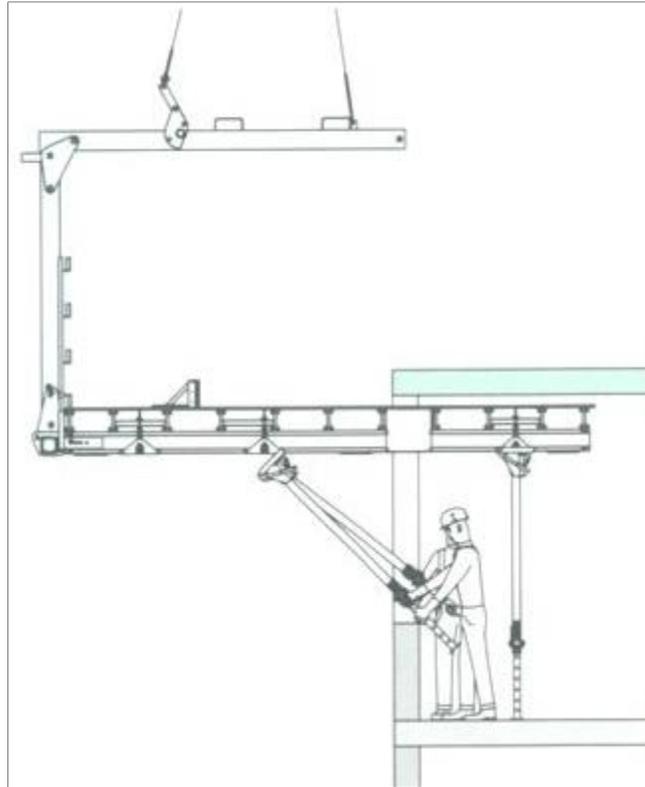


Figura 44. Balancín de traslado de encofrado horizontal.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.4.2. Encofrado tipo mecano

Es un sistema de encofrado que consiste en un mecano de acero (parte estructural), madera (tableros superficie encofrante) o aluminio de fácil montaje y adaptable a cualquier superficie, formando una base plana y resistente que permite la construcción de forjados planos de hormigón armado macizados o aligerados.

En ocasiones, se puede diseñar con sistemas de cimbra como estructuras de sustentación, o bien mediante puntales. Este sistema se aplica en la ejecución de edificios de varias plantas y también para plantas de grandes dimensiones, en las que sea conveniente hormigonar en varias fases, permitiendo un máximo

aprovechamiento, pues sólo es necesario el material para encofrado de una planta y el apuntalado de una, dos o tres plantas más.

El montaje del sistema es sencillo y el proceso de recuperación del material se realizará dejando en apoyo únicamente aquellos elementos necesarios en ambos sentidos del forjado.

Las vigas longitudinales, junto con los puntales o cimbra, forman la estructura portante del sistema, mientras que el material recuperable (cubetas, tableros, transversales y cabezales) se recupera varios días después del hormigonado, para una nueva puesta. Las características principales del sistema se pueden enumerar de la siguiente manera:

- Sopanda
- Cabezal doble
- Cabezal doble
- Cabezal simple
- Sistema de protección de borde
- Puntal
- Trípode
- Trípode
- Tablero
- Sopanda

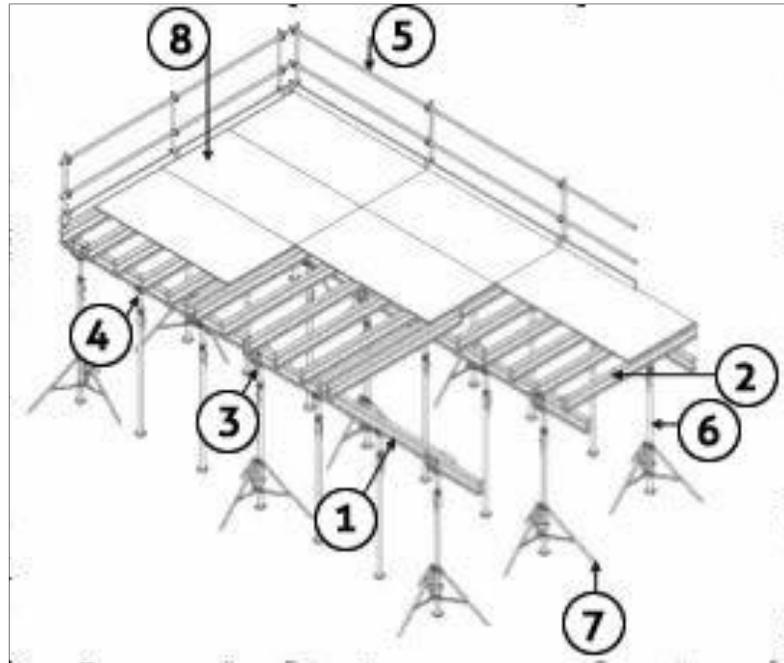


Figura 45. Componentes de sistema de encofrado horizontal tipo mecánico.
Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.2.5. Encofrado de configuración especial para obras civiles

En la construcción de las actuales infraestructuras se exigen cada vez plazos de ejecución más reducidos, con lo que poder rebajar los costes de proyecto; pero sin que por ello se deba ver afectada la seguridad y salud de los trabajadores.

Por lo tanto, se pueden distinguir diferentes sistemas de encofrados de configuración especial, para la ejecución de obras civiles, dependiendo precisamente de la tipología de obra que se esté ejecutando. Dada la complejidad y casuística de sistemas de encofrado que nos podemos encontrar los sistemas de encofrado que se utilizan para la ejecución de túneles, tanto túneles en mina como a cielo abierto (falso túnel).

Sistemas que se utilizan para construcciones de estructuras de sección constante permitiendo reutilizar el mismo encofrado a medida que la edificación crece en altura. Este encofrado también dispone espacio para andamios, maquinaria, etc.



Figura 46. Encofrado especial tipo túnel.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

Estos sistemas de encofrado son estructuras provisionales de especial complejidad, que requieren de la elaboración de un proyecto específico visado, y que las operaciones de montaje, desmontaje, trabajo y traslado, estén supervisadas y coordinadas por un técnico competente con postgrados recientes con conocimientos en la ejecución de esta tipología de obras, y adscrito a la empresa propietaria del sistema de encofrado.



Figura 47. Sistema de encofrado especial.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

El estado actual de la técnica, ofrece una gran variedad de soluciones específicas para cada proyecto de túnel o falso túnel. Ningún proyecto de estas características es similar a otro, puesto que cada uno tendrá: sus propias características geotécnicas, medioambientales, de trazado y ubicación, de uso, de longitud de los tramos, plazos de ejecución, etc. por lo que se precisan procedimientos constructivos y equipamientos idóneos para cada aplicación en función de la obra proyectada.

Por todo esto, la industria de la construcción ha realizado diferentes tipos de carros de encofrado para el hormigonado de túneles y falsos túneles, capacitados para adaptarse a las necesidades geométricas y de cargas de cada una de las obras, obteniendo con ello:

- Una elevada y mayor rentabilidad, lo que repercute en un ahorro de costes.
- La máxima adaptabilidad a la geometría exigida.
- Rápido montaje y desplazamiento de avance del carro de encofrado.
- Plataformas de trabajo, escaleras y medios de protección perimetral integrados.



Figura 48. Sistema de encofrado especial para viaducto.

Fuente: Línea Prevención, Documentación técnica – descripción sistemas de encofrados.

4.3. Encofrados en obras nacionales de gran envergadura

Venezuela ha sido un país donde la ingeniería ha dado grandes avances en cuanto a la construcción se refiere, en donde existen muchas obras de gran envergadura, gracias a la muestra de visión de progreso y desarrollo que ha tenido el país. Encontrándose en pleno desarrollo unas 300 obras públicas, a través de diversos planes que adelanta el Gobierno Nacional para impulsar la construcción de infraestructuras hidráulicas, viales, educativas, de servicios y productivas.

El avance en el desarrollo de nuevas estructuras en Venezuela ha generado la implementación de nuevos usos de sistemas de encofrado que ofrezcan soluciones capaces de resolver los requerimientos y las necesidades complejas de las estructuras de hormigón y cimbrados. Cabe destacar que, el uso de estas nuevas tecnologías no es muy frecuente en nuestro país, debido a la falta de información, normas y criterios,

por lo que se acude al uso de normas internacionales y criterios de seguridad por parte de las empresas encargadas de la fabricación de los sistemas de encofrados utilizados.

Por lo que, en este objetivo se recopiló y estudió información de los sistemas de encofrados que se usan actualmente en obras de gran envergadura del país, las cuales se obtuvieron mediante una revisión bibliográfica sobre la documentación técnica encontrada en diferentes fuentes técnicas documentales, con el fin de obtener información relevante y útil para el proyecto, como lo son:

4.3.3. Puente MERCOSUR (Tercer puente sobre el Río Orinoco)

Es una estructura mixta de acero y concreto, siendo una de las más importantes en desarrollo en la actualidad en el país, distribuida en tres tramos: puente de acceso Sur de 4.825 metros, puente principal de 2.280 metros y puente de acceso Norte de 4.020 metros. La sección central es atirantada con torres en forma de diamante con el extremo superior en “Y” invertida con una altura máxima de 135,50 m.

El Puente tendrá como fundaciones: mil 237 pilotes excavados de 2 y 2,5 metros de diámetro y longitudes de hasta 90 metros. Contará con una estructura de apoyo de 50 cabezales con sus respectivas pilas, destacando las 2 torres principales atirantadas que, entre estructura y fundaciones suman 232,5 metros de alto y 199 apoyos de vigas transversales de concreto armado.

El tablero de cada tramo, es conformado por una estructura metálica en celosía o entramado, que trabaja con una losa en el nivel superior, que contará con cuatro canales de circulación, dos por cada sentido, y una losa ferrocarrilera ubicada en el nivel inferior dentro del entramado, para la circulación de un ferrocarril de doble uso (carga y pasajeros). Para el montaje del tablero sobre las pilas de concreto, se utiliza un método de encofrado autotrepante en el cual se moviliza mediante gatos

hidráulicos de gran capacidad. La estructura desliza sobre equipos especiales diseñados específicamente para este movimiento, que están ubicados sobre las pilas de concreto.

Del mismo modo, la estructura está compuesta por dos ortotrópicos, que conecta la parte superior con la inferior, es decir, es una la plancha que tiene una cantidad de otras planchas longitudinales y transversales que hacen que se mantengan rígida la estructura, que hacen que no se deforme la plancha superior y la losa, permitiendo que la estructura trabaje en ambos sentidos, resistiendo las cargas tanto en el sentido superior como en el sentido inferior.

Tomando en cuenta esta información obtenida en campo, y las entrevistas no estructuradas realizadas al personal técnico de la empresa ODEBRECHT (VEX ANEXO 1), encargada de la realización de la obra, se pudo recopilar que, para el vaciado de cada tramo, se realiza mediante un sistema de encofrado autotrepante Doka SKE100 y el encofrado de vigas Doka Top 50, proporcionado por la empresa DOKA.

Con el encofrado autotrepante SKE100 y el encofrado de vigas Top 50 de uso flexible, se pueden realizar los cambios en la sección desde los cimientos hasta la viga transversal y otro estrechamiento hasta la unión de las patas del pilote; del mismo modo, la forma geométrica de la construcción implica unos requisitos muy exigentes en cuanto a la capacidad de adaptación, por lo que, la capacidad de carga de 10 toneladas por ménsula de este sistema de encofrado, hace posible trabajar al mismo tiempo en varios niveles.

Por otro lado, este sistema de encofrado permite otro nivel sobre la plataforma de hormigonado para el montaje de las jaulas de acero de refuerzo, de este modo, los

trabajos de encofrado y de armado de acero de refuerzo se pueden llevar a cabo de forma simultánea.

En cuanto a los criterios mínimos para el diseño, se realizan bajo la norma internacional ACI 347-04, Eurocódigos y la norma DIM de encofrados, ya que, en Venezuela no se cuenta una normativa con información referente a encofrados autotrepantes; del mismo modo para los requisitos de seguridad, armado y desmontaje del encofrado se establecieron mediante las Normativas de Seguridad Laborar DOKA, creadas por el mismo fabricante del sistema autotrepante utilizado.



Figura 49. Pilotes tercer puente sobre el Río Orinoco.
Fuente: Proyectos Sistemas de encofrados DOKA.

Características del encofrado autotrepante ske100 DOKA

- Este sistema de encofrado es una estructura de soporte para construcción de muros y otras estructuras verticales sin el uso de grúa (mecanismos hidráulicos y mecánicos). El trepado se realiza mediante la sucesiva elevación del mástil y del conjunto consola-encofrado sobre el muro.
- El cerramiento completo proporciona un trabajo seguro y protegido de la intemperie incluso a grandes alturas. Con un equipamiento completamente hidráulico permite desplazar al mismo tiempo muchas unidades de trepado.

- Es adaptable a cualquier planta y altura de construcción gracias a un eficaz sistema modular
- Tiene un amplio espacio de trabajo en los encofrados de pozos gracias a prácticas soluciones estándar
- Posee un desplazamiento rápido y simultáneo de varias ménsulas de trepado pulsando un botón mediante control remoto
- Seguridad total al trabajar, al subir y bajar gracias a plataformas, torres escalera y escaleras integradas
- Ahorra tiempo de grúa, ya que las cargas útiles también pueden ser movilizadas al mismo tiempo sobre las plataformas que son telescópicas
- Trepado sin grúa en cualquier momento gracias a un desplazamiento completamente hidráulico a partir de la primera tongada
- Procesos de trabajo optimizados gracias a un ritmo flexible de las unidades de desplazamiento



Figura 50. Sistema autotrepante SKe 100 DOKA.
Fuente: Proyectos Sistemas de encofrados DOKA.

Características del encofrado de vigas top 50

- El encofrado de vigas Top 50 es un encofrado de grandes superficies, premontado en función del proyecto y del sistema modular diseñado para diferentes trabajos. La forma, el tamaño, la disposición de los anclajes y las superficies de los encofrados de los elementos se pueden adaptar a cualquier requisito.
- Cumple todos los requisitos arquitectónicos gracias a la libre elección del forro del encofrado y la disposición de los anclajes.
- Permite cualquier velocidad de hormigonado que se desee gracias a un sencillo dimensionamiento para cualquier presión de hormigón fresco.
- Ahorra el costo de material gracias a un elevado número de puestas.
- Ahorra en el presupuesto de mano de obra gracias a rápidos tiempos de encofrado.

- Tiene una necesidad mínima de la grúa gracias a grandes unidades de desplazamientos optimizadas.
- Posee escaleras seguras con el sistema de acceso.
- Tiene un lugar de trabajo protegido en todo su perímetro gracias al sistema de plataformas.
- Permite un manejo seguro y sencillo del encofrado gracias a prácticos accesorios como puntales, sistemas de desplazamiento, etc.

4.3.4. Metro Caracas-Guarenas-Guatire

El sistema de transporte Metro Caracas - Guarenas - Guatire es un proyecto de metro urbano y tren liviano suburbano que se ejecuta para esas localidades del estado Miranda, en la región Central de Venezuela, en los Municipios Sucre, Plaza y Zamora. Siendo financiado con capital del FONDEN (Fondo de Desarrollo Nacional), y se encuentra actualmente en ejecución por la empresa Odebrecht S.A.

El sistema de transporte partirá desde la estación Guatire 2, realizando un recorrido con un tramo elevado que pasará por las estaciones Guatire 1, Guarenas 2, Guarenas 1, y posteriormente al llegar a la altura del sector Jardines del Cercado, se realizará el recorrido por los túneles del tramo de montaña hasta llegar a la Estación Waraira Repano donde está previsto el intercambio de pasajeros con la Línea 5 del Metro de Caracas o con el Cabletrén Bolivariano.

Para la excavación del tramo urbano destinado al sistema metro se recurrirá a la metodología de túneles escudo TBM. El desarrollo contara con dos túneles típicamente denominados como gemelos de diámetro 5,12 metros cada uno, y pasadizos de 300 metros, al fin de unificar con las otras Líneas existentes del Metro. La estructura adoptada para las estaciones mencionadas consiste en una edificación

de dos accesos para el público, excavados mediante el sistema de trinchera abierta (Cut And Cover), siendo excavada mediante el sistema de túnel minero.

Con este sistema de conformación y distribución de espacios y con la utilización del sistema de excavación de túnel minero para la estación, se evitan los inconvenientes de la interrupción del flujo vehicular y las restricciones de las reubicaciones que generan el servicio público.



Figura 51. Sistema de excavación túnel minero TBM.
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Transporte.

La solución adoptada para la estación Urbina Norte (sistema de metro y ferrocarril), es la de utilizar un sistema mixto de metodologías de sistema de trincheras abierto (Cut And Cover), para el cuerpo de las estaciones y túneles mineros para las colas de maniobras, los cambiavías y la parte de las estaciones.

Luego de la estación Urbina Norte se ubicarán 4 estaciones elevadas, que serán del tipo mixtas (estructura metálica y concreto armado), de 15 kilómetros de viaductos en su recorrido, constituido por un túnel de 12,10 metros de diámetro

interno; medida suficiente para el flujo de dos trenes, la catenaria y las previsiones de seguridad necesarias en caso de incendio.



Figura 52. Viaducto Guareñas-Guatire.
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Transporte.

En cuanto a la construcción del tramo urbano destinado al sistema metro, no se recurre a un sistema de encofrado especial, ni algún tipo de soporte para vaciado en la conformación y soporte del túnel, ya que se usan sistemas de soporte prefabricados (dovelas), por lo que esta sección de la obra no se tomara en cuenta para el desarrollo del tema, aunque, igualmente se explica brevemente la metodología utilizada para fines de conocimiento del proyecto completo.

La primera sección del metro se realiza mediante el sistema de túnel minero con la metodología de túneles escudo TBM, la cual es excavada mediante el uso de tuneladoras TBM, donde, la excavación se realiza con una cabeza giratoria equipada con elementos de corte y accionada por motores hidráulicos, diseñada para excavar las rocas blandas y el suelo montañoso.

De igual forma en el terreno se van anexando sistemáticamente la colocación de soportes, que sostienen provisionalmente el terreno desde el frente de avance hasta donde se coloca el soporte definitivo, el cual, consistente en anillos formados por

unas 7 dovelas prefabricadas por la empresa encargada de proporcionar los equipos de tuneladoras TBM (información no suministrada por la empresa encargada de la obra), de este modo, se garantiza en todo momento la estabilidad del túnel.

Para la construcción del sistema de viaducto en su recorrido de 15 km, se disponen 4 estaciones elevadas, que se realiza mediante un sistema mixto de concreto y estructuras metálicas, el cual, para la construcción de la parte de concreto armado, se pudo obtener mediante la revisión bibliográfica los requerimientos y normativas utilizadas para el sistema de encofrado. (VER ANEXO 2).

La obra consta en total de 9 etapas, iniciando con la construcción de los nichos para proteger las bases de las pilas y sus cimientos, para luego realizar el vaciado de los pilotes, los cuales transferirán las cargas del viaducto al suelo, cuya altura varía desde 12 m hasta 18 m. Las columnas son de concreto armado y cada uno mide en su base 10.60 m x 10.60 m hasta una altura de 2.40 m, luego su sección se reduce desde los 8 m hasta los 5 m en el tope usando la metodología de encofrado trepante. El capitel, que no es más que la corona de estas columnas, conecta a ésta última con la estructura metálica que conforma la vía en sí.



Figura 53. Estructura mixta, Metro Guarenas-Guatire
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Transporte.

El encofrado trepante se diseñó sin el uso de ninguna normativa, o requerimientos de seguridad de alguna empresa fabricante de encofrado trepantes, usándose solo la normativa COVENIN 2244-91 para la seguridad de encofrado, información suministrada por la empresa encargada de la ejecución de la obra; escogiendo este tipo de sistema de encofrado debido a que es un sistema que ofrece las siguientes ventajas:

- Utiliza para construcciones de estructuras verticales u horizontales, con cualquier geometría y con buena altura.
- Permite deslizar con un mismo panel metálico toda la estructura de una sola vez.
- ayuda a prevenir accidentes y mejora el control climático de los trenes, aumentando la seguridad y comodidad de los usuarios.
- Ofrece un mejor acabado en la textura del concreto.
- Tiene menores costos a gran escala.



Figura 54. Pilotes Viaducto Guarenas-Guatire.
Fuente: Ministerio del Poder Popular para el Transporte.

Como se pudo constatar en las obras de construcción de gran envergadura en Venezuela se utilizan sistemas de encofrado modernos, dejando a un lado los sistemas de encofrados tradicionales, ya que no cumplen con los requerimientos de la obra, del mismo modo, se debe recurrir al uso de normativas internacionales y criterios de seguridad por parte de los fabricantes de los sistemas de encofrados, debido que no se cuenta con la suficiente información sobre estos sistemas de encofrados en las normativas nacionales.

4.4. Comparación de los parámetros establecidos en la Norma COVENIN 2244-91. Con normas internacionales y los encofrados utilizados en las obras nacionales.

En Venezuela la Norma COVENIN 2244-91, es de aplicación obligatoria y de utilización corriente en el país, para el diseño de sistemas de encofrados, por lo que debe contar con información actualizada de los nuevos avances en sistemas de

encofrados se refiere. Por lo que, con la revisión de la normativa, en comparación con los distintos sistemas de encofrados usados actualmente en obras de gran envergadura a nivel nacional, se pudo constatar que, existen actualmente un regazo importante de información sobre los lineamientos, enfoques conceptuales y técnicos para el diseño de sistemas de encofrados modernos (modulares, trepantes, autotrepantes y encofrados especiales), y en cuanto al desarrollo y actualización de normativas sobre encofrados, con respecto a otros países del mundo.

Debido a que muchos aspectos escapan del alcance de la citada norma COVENIN 2244-91., los ingenieros deben recurrir a criterios de diseño y de seguridad establecidos en normas internacionales y manuales de operación de las empresas de suministro de los sistemas de encofrados utilizados; tal es el caso del Puente de Mercosur.

De igual forma, se evidencia una falta importante de información referente a los tipos de encofrados modernos existentes, componentes básicos de un sistema de encofrado, procedimientos de uso, apilado e izado, requerimientos mínimos y criterios de diseño sobre montaje y desmontaje de los mismos.

La información revisada para el uso de los sistemas de encofrados modernos en la Norma COVENIN 2244-91, solo reflejó información de manera generalizada sobre el uso de los tipos de madera, nivelación y arrostramiento de las juntas del encofrado, información totalmente insuficiente para el diseño y armado de los sistemas de encofrado utilizados.

Otro factor importante a considerar, tienen que ver con la inexistencia o desconocimiento de autoridades responsables, y la ineficiencia en la aplicación y seguimiento de las normas: esto tiene que ver con la necesaria institucionalidad, que debe fortalecerse en cada país, no solamente para crear y desarrollar el marco legal y

las normativas técnicas, sino también para asegurar que se cumplan, y que, efectivamente se apliquen los criterios de seguridad mínimos para que las construcciones que se ejecutan, sean suficientemente seguras, y se garantice la vida de las personas en caso de desastres.

Bajo este contexto, se comparó la norma COVENIN 2244-91, con la norma (ACI) 347, haciendo referencia a la información contemplada, alcance, conceptos básicos, requisitos de diseño, información sobre sistemas de encofrados modernos, cálculos, ect.; enfatizando en cada comparación la existencia de parámetros, cálculos y conceptos sobre cada punto mencionado, con la finalidad de realizar un análisis completo para establecer una propuesta bien estructurada sobre las deficiencias de la misma.

4.4.1. Alcance

Tabla 7. *Comparación de alcance entre normas.*

COVENIN 2244-91	ACI 347
Requisitos mínimos de seguridad en lo relativo a materiales y diseño que deben cumplir los encofrados	Información a incluirse en los documentos del contrato.
Requisitos mínimos para el montaje.	Criterios de diseño para las cargas horizontales y verticales en las cimbras.
Requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los encofrados.	Consideraciones de diseño, incluyendo los factores de seguridad que deben usarse para determinar las capacidades de los accesorios de la cimbra.
	Preparación de los planos de cimbra.
	Construcción y uso de cimbras, incluyendo aspectos de seguridad.
	Materiales para cimbra.
	Cimbras para estructuras especiales.
	Cimbras para métodos de construcción especiales.
	Clasificación del personal para supervisión y pruebas.

Fuente: Autor

4.4.2. Conceptos Básicos

Tabla 8. *Comparación de conceptos básicos en las normas.*

CONCEPTOS BÁSICOS	COVENIN 2244-91	ACI 347
Terminología básica sobre encofrados y accesorios	SI	SI
Recomendaciones para una mejor economía en cálculo de encofrados	NO	SI
Documentación para contratos de encofrados.	NO	SI
Materiales y accesorios para encofrados.	SI	SI
Diseño, inspección y revisión de la estructura de encofrado	NO	SI
Diseño de encofrados	NO	SI
Posibles deficiencias en los sistemas de encofrados.	NO	SI

Fuente: Autor.

4.4.3. Materiales para cimbras.

Tabla 9. *Materiales para encofrados.*

COVENIN 2244-91,	ACI 347
Establece el uso de materiales para encofrar como: Madera (ceiba, aurora, mangle). Metálicos. Aglomerados. Fibra de vidrio. Plástico. Del mismo modo, establece que material puede ser usado en cada una de las piezas del encofrado.	Establece en su calificación todos los posibles materiales que pueden ser utilizados en la construcción de encofrados: Madera aserrada. Madera técnicamente tratada. Triplay. Acero. Aluminio. Paneles de productos .construidos de madera. Materiales aislantes. Fibra de madera o fibra de vidrio. Tubos o moldes de papel laminado prensado o de fibras. Así como también, las fuentes de datos para el diseño y especificaciones de uso de cada uno de los materiales.

Fuente: Autor.

4.4.4. Cálculos de estructura

Tabla 10. *Calculo de cargas sobre el encofrado.*

Cargas sobre el encofrado	COVENIN 2244-91	ACI 347
Cargas verticales	NO	SI
Presión lateral del concreto	NO	SI
Cargas especiales	NO	SI
Cargas horizontales	NO	SI
Esfuerzos unitarios	NO	SI

Fuente: Autor.

4.4.5. Requisitos de seguridad

Tabla 11. *Requisitos de seguridad en la construcción de encofrados*

Elementos y accesorios	COVENIN 2244-91	ACI 347
Puntales	SI	SI
Contravento y ligas horizontales	NO	SI
Cimientos	SI	SI
Asentamiento	NO	SI
Arriostramiento	SI	SI
Moldes	SI	SI
Desencofrado	SI	SI

Fuente: Autor.

4.4.6. Construcción de encofrados

Tabla 12. *Comparación de Parámetros de diseño en las normas*

Parámetros de diseño	COVENIN 2244-91	ACI 347
Deficiencias en encofrados verticales y horizontales	NO	SI
Juntas de concreto	NO	SI
Tolerancia	NO	SI
Limpieza y revestimiento	NO	SI
Ajustadores de altura	NO	SI
Irregularidades en las superficies	NO	SI
Ajustadores de altura	NO	SI
Durante y después del colado de concreto	NO	SI
Reapuntalamiento	NO	SI

Fuente: Autor

4.4.7. Accesorios

Tabla 13. *Comparación de accesorios en las normas.*

Accesorios	COVENIN 2244-91	ACI 347
Tensores	NO	SI
Anclajes	NO	SI
Suspensores	NO	SI
Espaciadores	NO	SI
Recubrimientos especiales y agentes desmoldantes	NO	SI

Fuente: el autor.

4.4.8. Tiempos mínimos de desencofrado

En cuanto a los sistemas de desencofrados se establecen de distintas maneras en cada una de las normas, en la COVENIN 2244-91, los clasifica según el tipo de concreto usado; mientras que la ACI 347, los clasifica según el elemento y las dimensiones del mismo. (Ver tablas 14 y 15).

Tabla 14. *Tiempos mínimos de desencofrado COVENIN 2244-91*

Tiempos mínimos de desencofrado COVENIN 2244-91				
Clase de cemento	Costados de vigas pilares y muros	Losas con luz menor a 3m	Losas con luz mayor a 3m y menores a 5m	Losas con luz mayor a 5m con vigas de luz mayor a 6m
Cemento portland	2 días	6 días	12 días	2.5 x longitud de días
Cemento de alta resistencia	1 día	2 días	6 días	1.1 x longitud de días

Fuente: COVENIN 2244-91. Editado por el autor.

Tabla 15. *Tiempos mínimos de desencofrado ACI 347.*

Tiempos mínimos de desencofrado (ACI) 347	
Elemento estructural	Tiempo
Muros	12 horas
Columnas	12 horas
Lados de vigas y trabes	12 horas
Casetones 30 pulgadas de ancho o menores	3 días
Casetones mayores a 30 pulgadas de ancho	4 días
Centros de arcos	7 días
Vigas con luz menos de 3 m	4 días
Vigas con luz de 3m a 6m	7 días
Vigas con luz mayores a 6m	14 días
Losas menores a 3m	3 días
Losas con luz de 3 am a 6m	4 días
Losas mayores a 6m	7 días

Fuente: ACI 347. Editado por el autor.

La utilización de encofrados en las obras de construcción actualmente engloba un amplio y diverso conjunto de actividades que se suceden a lo largo de las diferentes fases y etapas de las mismas. Adicionalmente, se debe constatar la enorme variedad de dispositivos y sistemas que quedan englobados bajo la denominación genérica de encofrados y la diversidad de la problemática que plantea su utilización en las obras.

De esta manera, dichos factores unidos a los relacionados con las diferentes fases de trabajo de todo sistema de encofrado (transporte, acopio, montaje, armado de acero de refuerzo, hormigonado y desencofrado) acaban por configurar un complejo conjunto de aspectos que deben ser considerados y resueltos desde un punto de vista preventivo desde las etapas previas de planificación, diseño y programación de los trabajos.

En base a dicha situación, y lo planteado en el objetivo anterior, de la falta de información de los sistemas de encofrados modernos en la norma vigente venezolana COVENIN 2244-91, el objetivo pretende aportar información y recomendaciones de buenas prácticas que puedan ser consideradas y aplicadas por los expertos que analizan, estudian, diseñan y, finalmente, ejecutan actividades constructivas que exigen la utilización de sistemas de encofrado modernos.

Las normas varían mucho de un país a otro, por lo que gran parte del trabajo presentado en este objetivo, se ha desarrollado en el contexto de las normas internacionales, para ello, se han tomado como referencia la norma (ACI) 347, Eurocodigos, Norma DIN 18.218:2010, Norma EHE-08 y criterios establecidos en los diferentes manuales de los fabricantes, basado en la información preventiva que ofrecen los mismos para la ejecución de las diferentes actividades que conlleva su utilización. Así como también de material bibliográfico y publicaciones sobre guías de diseño para el armado de sistemas de encofrados.

Bajo este contexto, se hace urgente incorporar criterios y requerimientos que vayan en conjunto con el desarrollo de los procesos de diseños, conocimientos y sistemas de planificación que garanticen una mayor seguridad en la utilización de los distintos sistemas de encofrados modernos, para proteger en primera instancia las vidas humanas y luego las infraestructuras e inversiones económicas. Por lo que la propuesta de actualización de la Norma COVENIN 2244-91, debe contemplar los siguientes aspectos:

4.4.9. Terminología básica

En primera instancia actualizar el marco teórico de la norma, donde refleje la terminología de los nuevos sistemas de encofrados, establecidos en el objetivo número dos de la investigación, donde se pueda clasificar de manera general los sistemas de encofrados.

A la hora de realizar una clasificación de los diferentes sistemas de encofrado que se utilizan actualmente en obras de construcción, se pueden dividir los mismos en dos grandes grupos en función de la posición del elemento que se va a encofrar: sistemas horizontales y sistemas verticales. (Ver tabla 16).

Tabla 16. *Clasificación de los sistemas de encofrados.*

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE ENCOFRADO					
Horizontales	SISTEMAS DE ENCOFRADO DE FORJADOS HORIZONTALES				
	Según sistema de ejecución	Según sistema de transmisión de cargas			
	De forjados prefabricados	unidireccional	Forjados de semilosas prefabricadas		
	De forjados parcialmente prefabricados	Unidireccional	Forjados de viga plana o de cuelgue con viguetas		
			Forjados de viga plana o de cuelgue con semiviguetas		
	De forjados ejecutados “in situ”	Bidireccional	Forjados de losa maciza de hormigón		
Forjados de losa aligerada de hormigón			De material perdido De material recuperable		
Verticales	De pilares	De sección circular	De chapa o de material recuperable		
		De sección rectangular			
		Para grandes alturas de sección circular o rectangular	Trepantes		
			Autotrepantes		
	De muros		1 caras		
			2 caras		
			Para grandes alturas	Trepantes	
				Autotrepantes	
		Deslizantes			

Fuente: Autor.

4.4.10. Consideraciones generales

Dado que un sistema de encofrado es una estructura, el encofrado y los elementos auxiliares de apoyo del mismo deben ser capaces de soportar las cargas a las que van a estar sometidos durante su uso. Estas cargas se clasifican en tres tipos fundamentales:

- Peso propio de las estructuras en sí.
- Peso propio del hormigón, que a efecto de la estructura del encofrado puede considerarse como una carga muerta (carga permanente).
- Sobrecarga de uso que dependerá del procedimiento de puesta en obra del hormigón y de los operarios, elementos y equipos auxiliares empleados y cuyas cargas actúen sobre la estructura de encofrado.

Para garantizar las condiciones de seguridad previstas por el fabricante, deberían ponerse en obra sistemas de encofrado completos y no componentes aislados de varios sistemas o de un sistema complementado con otros componentes con los que no tienen relación.

Se debe definir las capacidades resistentes de cada una de los elementos previstos del sistema. Además de las capacidades resistentes del sistema de encofrado.

Deben contar con un cálculo justificativo en el que el empresario, garantice que el equipo es seguro en las condiciones particulares en las que se utilice en la obra. Dicha garantía deberá extenderse a las distintas fases de montaje, utilización y desmontaje, considerando las condiciones particulares de cada una de ellas.

Se procurará la eliminación de obstáculos que impliquen riesgos, incluidas las líneas eléctricas de alta y baja tensión con conductores desnudos, o, en caso de ser imposible su eliminación, la toma de las medidas preventivas oportunas.

Se comprobará que el terreno sobre el que va a trabajar y circular los equipos hidráulicos de izado tenga la resistencia suficiente.

4.4.11. Acopio

Deberán evitarse acopios de encofrados de altura superior a 2 m. Cuando no sean accesibles los puntos de enganche desde el nivel del suelo, los trabajadores realizarán el eslingado desde elementos auxiliares protegidos o desde escaleras de mano.

Deberán recabarse del fabricante o suministrador las normas de acopio de cada tipo de piezas que conforman los encofrados.

El acopio de paneles se realizará en un plano horizontal, utilizando durmientes para su nivelación y separación entre paneles. En caso de acopio en vertical, los paneles se dispondrán con una inclinación tal que evite su deslizamiento, estando correctamente acuñaados.

No se establecerán zonas de acopios en bordes de vaciados o de excavaciones.

El acopio de puntales metálicos, para el soporte en encofrados horizontales o para el apuntalamiento de encofrados verticales, se realizará en contenedores metálicos abiertos y encinchados.

En general el transporte de material de tamaño reducido se hará en bandejas, jaulas, contenedores o dispositivos similares, dotados de laterales fijos o abatibles, dichos contenedores deberán ser iguales para permitir un apilado seguro.

4.4.12. Izado

El izado de los conjuntos de paneles se realizará mediante el gancho de izado. El gancho de izado deberá tener una capacidad portante de 1.5 Tn, o superior, según las especificaciones del fabricante del sistema de encofrado, ésta tendrá la capacidad adecuada para los servicios que se solicitan.

Según la norma DIN 658, el ángulo máximo de la eslinga con la vertical debe ser de 30°.

Antes de iniciar el izado, y durante el transporte y el posicionamiento de la carga, sólo permanecerán en la zona los operarios necesarios para la maniobra. Los operarios no se aproximarán a la carga hasta que ésta no se encuentre a menos de 0,5 m del suelo o en su posición de apoyo.

Es responsabilidad de la empresa usuaria de la grúa llevar a cabo, con personal debidamente formado, las labores de izado y señalización necesaria, guiando los materiales con cabos o cuerdas guía.

Las grúas se ubicarán en zonas estables, uniformes y niveladas y se utilizarán los elementos de estabilización de los que dispongan apoyados en zona segura. De igual forma, las eslingas, cables y ganchos de amarre estarán dimensionados para las cargas a elevar.

En el izado de los distintos elementos de los encofrados se usarán los útiles específicos y los métodos indicados por el fabricante.

Previamente al izado de módulos de encofrado se comprobará que los accesorios están en perfecto estado de utilización, son acordes con la carga y están correctamente cogidos a la misma.

Antes de proceder a la elevación de las piezas prefabricadas, se revisarán los puntos de anclaje de los estribos y el estado de los mismos; de igual forma las eslingas y útiles de elevación antes del inicio de los trabajos, desechándose aquellos que estén en mal estado. No se suspenderán cargas enganchadas a elementos improvisados en obra.

4.4.13. Medidas para el encofrado, uso y desencofrado de sistemas de encofrado horizontales

Tabla 17. *Requerimientos del encofrado según el tipo de forjado.*

Tipo de forzado según su sistema	Tipo de forjado por su sistema de transmisión de cargas	Requerimientos del encofrado
Forjados in situ	Losa maciza (bidireccional).	Requerimientos de encofrado de planchada completa y cimbrado completo
	Losa armada aligerada (bidireccional).	Requerimientos de encofrado de planchada completa y cimbrado completo
Forjados parcialmente prefabricados	Forjados de viga plana o de cuelgue con viguetas. (Unidireccional)	Requiere encofrado de planchada completa en vigas, cimbrado de vigas y media vigueta (según indicaciones del fabricante).
	Forjados de viga plana o de cuelgue con semiviguetas. (Unidireccional)	Requiere encofrado de planchada completa en vigas, cimbrado de vigas y media vigueta (según indicaciones del fabricante).
	Forjado de chapa colaborante. (Chapa	Solo requiere el apuntalamiento o cimbrado, ya que la misma chapa hace de

	grecada)	encofrado perdido
Forjados totalmente prefabricados	Prelosas nervadas o aligeradas (habitualmente unidireccionales)	Solo requieren encofrado y cimbrado de algunas zonas singulares.

Fuente: Autor.

Los encofrados metálicos son suministrados por empresas especializadas y deberá ser elegido el sistema comercial que más se adapte a las necesidades o a los procesos de trabajo previstos.

En función de las características de la estructura a realizar, los sistemas de encofrados horizontales deben contar con un andamio como protección de bordes de forjados.

El montaje del encofrado desde torres móviles deberá ir provisto de un arnés anclado a una línea de vida y una protección perimetral mediante barandillas que protejan perimetralmente las superficies encofradas y aquellos huecos que generan riesgo de caída al vacío en los procesos de encofrado, armado de refuerzo de acero y hormigonado.

Evitar acopios indebidos del material sobre el encofrado.

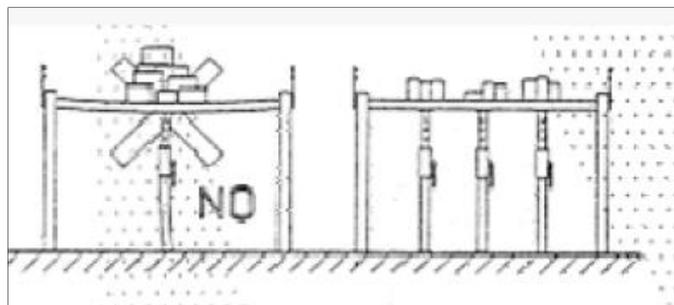


Figura 55. Apuntalamiento en las plataformas de descargas.
Fuente: ULMA – seguridad en encofrados. Editado por el autor.

Se debe realizar el hormigonado por capas o tongadas de espesor uniforme y vibrado continuo, evitando cúmulos de hormigón para su posterior frisado.

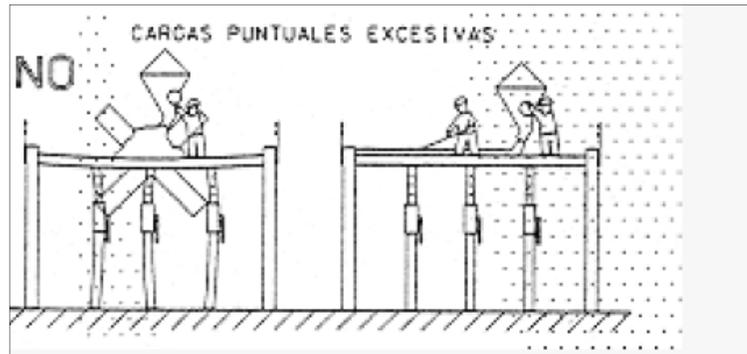


Figura 56. Cargas puntuales excesivas.
Fuente: ULMA – seguridad en encofrados. Editado por el autor.

Cuando se utilice puntales metálicos, la rosca del tubo exterior nunca deberá de estar a la vista, debe estar completamente enroscada, ya que no se sabe cuánta carga puede aguantar el puntal en dicha situación.

No se puede sustituir un pasador del puntal por clavos o varillas de hierro y en ningún caso se calzarán puntales o cimbras. Se empleará un puntal mayor o cimbra para obtener la altura deseada y un tablero o durmiente para reparto de cargas si el piso no es firme.

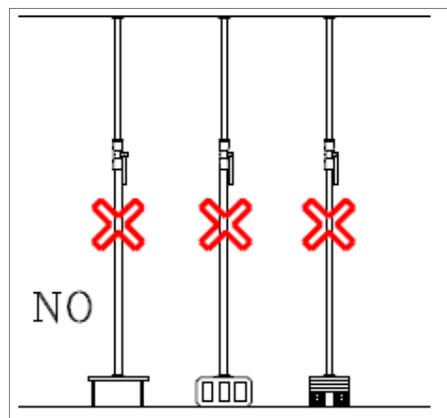


Figura 57. Calzamiento de puntales.

Fuente: ULMA – seguridad en encofrados. Editado por el autor.

En ningún caso se empleará el doble apuntalamiento. Para trabajar a alturas superiores a la de puntal, se utiliza la cimbra como sistema de apoyo.

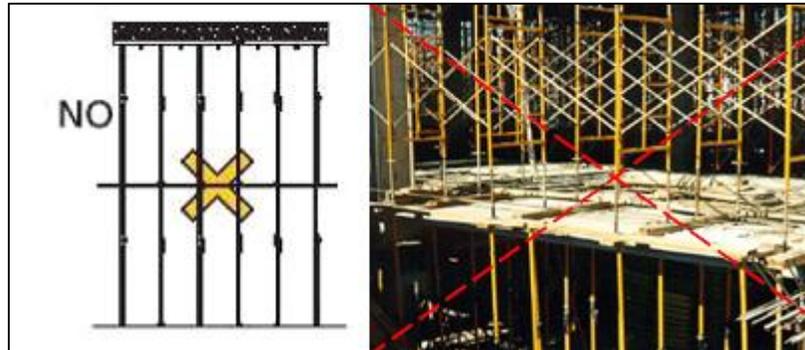


Figura 58. Superposición de puntales.

Fuente: ULMA – seguridad en encofrados. Editado por el autor.

Se deberá instalar el uso de las torres móviles para el montaje y desmontaje del encofrado en caso de trabajo a alturas grandes, junto con el uso de medios auxiliares adecuados a los trabajos a realizar. Las torres provistas de ruedas favorecen su desplazamiento y ofrecen un medio seguro para la realización de los trabajos.

Para el montaje de la parte superior del sistema de encofrado se requiere el uso de escalera de transporte y plegable construida fundamentalmente de acero, para dar acceso seguro a la planta encofraste.

Se debe conseguir una correcta fijación de los elementos del encofrado durante las labores de acopio, por lo que se debe utilizar un correcto gancho de amarre para las planchas de encofrado durante el montaje, desmontaje, etc. Utilizando ganchos específicos de amarre acordes a las características de los elementos a desplazar.

Instalar puntos de amarre con argollas, para fijar los anclajes de los elementos del encofrado a desplazar.

4.4.14. Medidas para el encofrado, uso y desencofrado de sistemas de encofrado vertical

Se deben utilizar ganchos de amarre para una correcta fijación de los elementos del encofrado durante las labores de acopio, montaje, desmontaje, etc., de igual forma utilizar los diferentes ganchos de amarre específicos acordes a las características de los elementos a desplazar.

Se debe contar con otro sistema para fijar los anclajes de los elementos del encofrado a desplazar, instalando en puntos concretos de amarre mediante la instalación de argollas roscada para anclaje rápido y manejo de planchas de encofrado.

Se deben instalar puntales estabilizadores, con el objeto de ofrecer firmeza a la estructura de encofrado durante su montaje, uso y desmontaje; la integración de puntales estabilizadores fijados al suelo garantiza la estabilidad durante todas las fases.

Las escaleras, plataformas de trabajo y barandillas integradas en la superficie de la plataforma encofrante deben garantizar un acceso seguro y fijo para los trabajos a realizar: hormigonado, vibrado, etc.

La estructura de soporte para ejecutar muros a una cara se debe realizar con un sistema formado por unas escuadras reforzadas que se acoplan al panel de encofrado con dos vigas primarias horizontales.

En el caso de no disponer ménsulas de trabajo, se montará una torre de andamio para realizar las tareas de hormigonado, del mismo modo para facilitar los trabajos de armado de acero de refuerzo en altura.

Los estabilizadores se anclarán a la solera o a bloques de hormigón, mediante la base de estabilización. No se anclarán a otro tipo de elementos existentes en la obra. Los estabilizadores posibilitan el posicionamiento inicial de los conjuntos de paneles en muros rectos y curvos.

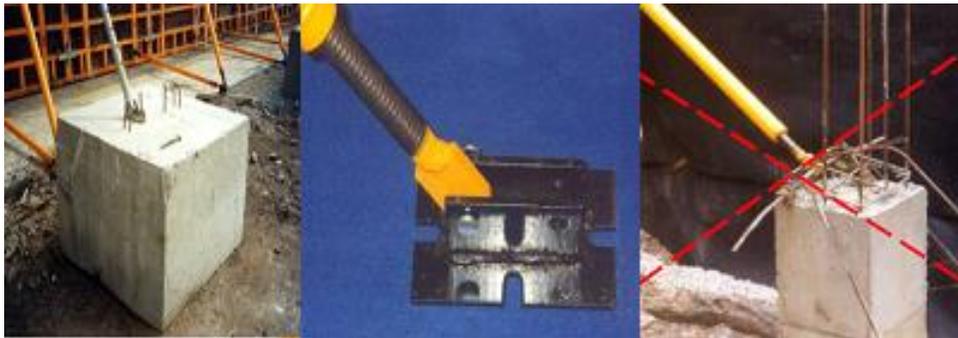


Figura 59. Estabilización de encofrados.
Fuente: ULMA – seguridad en encofrados.

En los pilares se colocarán los estabilizadores en dos paneles, formando un ángulo de 90° entre ellos, quedando aplomado el pilar en ambas direcciones. En los encofrados de muros a una cara, se emplearán sistemas diseñados para tal fin:

- Trepado con tirante N° máx. paneles: 10 m² por cada 2 consolas.

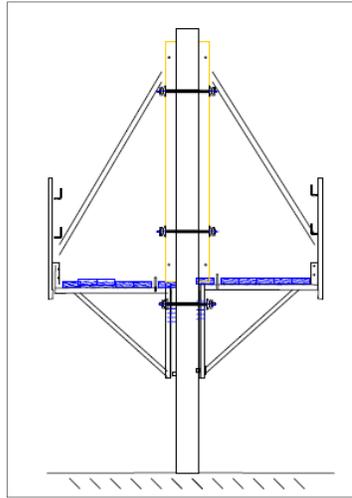


Figura 60. Trepado con tirantes.

Fuente: ULMA – seguridad en encofrados.

- Trepado con cono y tirante perdido N° máx. Paneles: 4 paneles (25 m²) por cada 2 consolas.

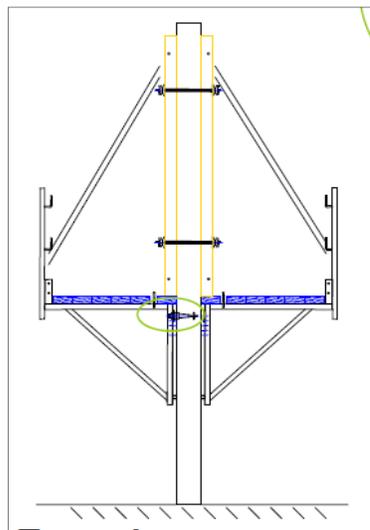


Figura 61. Trepado con cono y tirante perdido.

Fuente: ULMA – seguridad en encofrados.

Las consolas irán arriostradas de dos en dos con tubos y abrazaderas. Según sean las especificaciones del fabricante del sistema de encofrado; y en ningún caso se calzarán paneles en vez de usar consolas de trepado.

Para trepas altas, se emplearán consolas que tengan adaptadas plataformas inferiores para la recuperación de conos y encajes.

4.4.15. Consideraciones preventivas

4.4.15.1. Encofrados horizontales

Entre los sistemas de protección frente al riesgo de caída de altura deberán considerarse fundamentalmente dos, cuya función principal variará en relación de varios factores:

- Losa a ejecutarse.
- Las alturas de trabajo.
- La zona a proteger.

En base a ello se planificará, bien la utilización de protecciones de borde dispuestas sobre el propio encofrado o sobre elementos auxiliares.

Para forjados de pequeñas y grandes alturas se debe contar con la disposición de sistemas de andamiaje perimetral, los cuales permiten no solo el acceso e incluso montaje de partes del encofrado de borde de la losa o forjado, sino también la protección de borde frente al riesgo de caída de altura.

Dependiendo de las alturas y número de forjados, la instalación de redes debe disponerse a partir del segundo nivel de forjados, teniendo en cuenta el espacio inferior necesario con el fin de que, en caso de caída de un trabajador y la correspondiente elongación de la red, éste no se golpee con elemento alguno.

El montaje de las protecciones colectivas, tanto de redes como de protecciones de borde deberá considerarse como una actividad más dentro de la planificación preventiva de la obra.

Para la instalación de las protecciones colectivas puede ser necesaria la utilización de equipos de protección individual frente al riesgo de caída de altura (línea de vida, percha, etc.).

Los elementos auxiliares deberán proyectarse y calcularse para resistir los esfuerzos a los que van a estar sometidos durante las fases de puesta en carga (Ver tabla 23). Así mismo, deberá evitarse el acopio excesivo y puntual de armadura sobre el forjado, debiendo repartirse por las zonas de montaje.

Para el hormigonado deberá establecerse un plan de hormigonado, en el que se definan el tipo de hormigón y la velocidad de hormigonado.

Para el acceso a las zonas de trabajo deberán emplearse medios seguros, debiendo adaptarse tanto a las alturas como al grado de utilización de los mismos. En el caso de accesos a forjados de una única altura se emplearán habitualmente escaleras de mano, debiendo garantizarse su correcto apoyo, incluso con tacos para evitar el deslizamiento y el arriostamiento en la parte superior.

Para alturas de más de un forjado y con una utilización importante deberán utilizarse torres de andamio de acceso.

Para el desencofrado se cumplirá el mismo procedimiento de trabajo que se ha establecido en la fase de encofrado, siguiendo la secuencia inversa. En el caso de forjados, el proyecto deberá definir el tiempo necesario para poder realizar el desencofrado y sobre todo el desapoyo.

El desencofrado se realizará por fases, aflojando los usillos de los puntales o las cimbras, para posteriormente retirar los paneles que apuntalaban. Una vez retirados los paneles, se irán desmontando las riostras y sopandas junto con los puntales que las soportaban.

En el caso de las cimbras, el desmontaje se realizará de arriba abajo en el proceso inverso al montaje; y en el caso de los encofrados de grandes losas (planas o de puentes) con elementos prefabricados tipo barco se instalarán pasadores en cada tramo de encofrado para, una vez retirado el apoyo, descender el encofrado mediante trácteles desde la parte superior de la losa.

4.4.15.2. Encofrado vertical

Dentro de los encofrados verticales se incluyen los encofrados de muros y los encofrados de pilares y pilas. Tanto en uno como en otro caso, cuando los elementos estructurales son de gran altura, en la que no es posible utilizar el terreno como apuntalamiento del sistema de encofrado se utilizan los encofrados trepantes y autotrepantes.

Deberán utilizarse también los sistemas de apuntalamiento y las plataformas de trabajo comercializadas por cada fabricante para cada sistema de encofrado, debiendo entenderse que son sistemas completos.

Una vez posicionada la primera cara, y antes de soltar los elementos de elevación, deberá realizarse un apuntalamiento y atirantamiento del panel para evitar su vuelco en cualquier dirección, teniendo en cuenta las previsibles acciones exteriores.

Para realizar este arriostramiento no deben emplearse puntales tradicionales y alambre para atirantar, sino los elementos de fijación del panel previstos por el fabricante.

Se debe prever que los andamios que se pudieran haber instalado para el montaje de la armadura no condicionen posteriormente el encofrado debido a su ubicación.

Se debe contar con la disposición de plataformas de trabajo (normalmente conocidas como consolas), que están conformados con soportes montados sobre el encofrado y tablas o tablonos con los que se conforma la plataforma y las barandillas.

Para la correcta y segura utilización de las plataformas de encofrado se deben utilizar sistemas de encofrado completos, en los que las plataformas de trabajo se integran con el encofrado, premontándose sobre el terreno y colocándose de forma solidaria con el panel de encofrar. Disponiéndose plataformas en cada nivel de encofrado; con ello se permite el uso de las mismas para el montaje del siguiente nivel.

En el caso de las pilas y pilares, el procedimiento de montaje varía en función de las dimensiones. Si la relación entre la altura y la dotación de armadura permite a ésta mantenerse de forma estable tras ser arriostrada con la armadura de espera de la cimentación, puede montarse la armadura y, posteriormente, conformarse el encofrado. Esta situación suele darse cuando, además, la armadura de la pila se conforma a nivel de suelo y posteriormente se posiciona.

La garantía estructural del encofrado debe tener en cuenta dos aspectos fundamentales: las dimensiones del elemento estructural (altura y anchura del muro o pilar), y por otro, el procedimiento de hormigonado previsto, considerando en este

caso como variables la consistencia del hormigón, la secuencia y velocidad de hormigonado.

Debe estimarse, calcularse y comprobarse previamente a la puesta en obra que la configuración de encofrado elegida, sus uniones y sus apuntalamientos disponen de la resistencia y estabilidad necesarias para soportar los esfuerzos estáticos y dinámicos a que estará sometido (Ver tabla 23). Normalmente, en el caso de sistemas de encofrado, los rangos de cargas admisibles del encofrado para las diferentes configuraciones los dará el fabricante.

Antes de su puesta en carga se deberá comprobar que las condiciones de arrostramiento y de apuntalamiento de los encofrados (en sus dos planos) se corresponden con las previstas por su suministrador o fabricante o son las determinadas en unos cálculos previos específicos.

Deberá comprobarse que todos los elementos dispuestos en el encofrado se encuentran en perfecto estado, debiendo desecharse los elementos que presenten deformaciones, fisuras o alteraciones superficiales que pongan en duda su capacidad resistente.

En relación con los riesgos de caída de altura durante los trabajos de hormigonado y vibrado de muros, deberá tenerse en cuenta que con las barandillas de la plataforma de hormigonado se tendrá cubierta la protección de uno de los frentes de trabajo.

Las ménsulas se instalarán de tal forma que su plataforma de trabajo se sitúe al menos un metro por debajo de la coronación de los muros. De este modo, el propio encofrado actúa como protección colectiva, sin necesidad de recurrir al uso de protecciones individuales complementarias.

En el caso de las plataformas de hormigonado, hay que garantizar el cierre lateral de las mismas antes de proceder al hormigonado.

Para el vibrado de elementos verticales se evitará que los trabajadores accedan al interior de los muros y pilas, hagan o no uso de arnés de seguridad y con independencia de la profundidad de muro a la que pudieran acceder.

Para los trabajos de desencofrado, éstos deberán ser planificados teniendo en cuenta las previsiones del fabricante, de forma que, si por ejemplo no lo permiten las instrucciones de montaje, se prohibirá la retirada de varios paneles en un mismo paño de forma simultánea, ya que los arrostros entre los mismos pueden no estar concebidos o dimensionados para soportar los esfuerzos derivados de dichas maniobras.

El desencofrado de muros “in situ” de hormigón deberá realizarse de forma inversa al encofrado, de modo que cada panel al que se retiren los elementos de arrostro deberá ser inmediatamente retirado, evitándose dejar paneles en vertical una vez que se ha retirado su arrostro o apuntalamiento.

Los elementos de apoyo y encofrado deberán acopiarse de forma ordenada a medida que se realiza el desmontaje para garantizar el orden y limpieza del tajo.

4.4.16. Cargas sobre los sistemas de encofrado

Hay que procurar que en el conjunto de sistemas de encofrado se establezca un reparto uniforme de las solicitaciones a las cuales están sometidas las diferentes piezas que componen el encofrado, tan uniformemente como sea posible, a cargas centradas, de forma que se evite su vuelco.

Para los encofrados trepantes y autotrepantes, los sistemas hidráulicos de elevación, la carga se distribuirá de tal manera que estén cargados tan uniformemente como sea posible y que en todo caso los esfuerzos axiales no excedan su capacidad de elevación ni las cargas admisibles de las barras.

Las cargas que actúan sobre los diferentes encofrados y las tensiones que resulten, se calcularán de acuerdo con las normas internacionales oficiales vigentes como lo son: Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI-347, Eurocódigos Norma EN 12812 o la norma DIN 18128:2010-1. Las tensiones máximas, coeficientes de seguridad y deformaciones admisibles serán las consideradas para obras definitivas.

4.4.16.1. Clasificación de las cargas

Las cargas que actúan sobre un sistema de encofrado pueden ser clasificados como se indican en el siguiente cuadro:

Tabla 18. *Clasificación de las cargas.*

I	Cargas fundamentales	A) Permanentes: debido al peso de las piezas	Peso propio de la pieza calculada
			Peso de los elementos soportantes por la pieza calculada
			Empuje del Hormigón
		B) Útiles: debidas a las solicitaciones exteriores	Rozamiento entre encofrado y hormigón
			Peso de obreros
			Peso de materiales
			Peso de máquinas
			Peso de instalaciones etc.
		C) Accesorias: debidas a la forma de aplicar las cargas	Concentración de obreros en ciertas zonas
			Concentración de materiales en ciertas zonas
II	Cargas accidentales		Choques provocados por descarga de materiales, etc.
			Presión del Viento
			Adherencia entre el hormigón y el encofrado
III	Cargas extraordinarias		Avería de un gato neumático (descenso de un apoyo)
			Fallo (rotura) de elementos del encofrado

deslizante

Avería de dos gatos vecinos

Fuente: el autor.

Para el cálculo de estados límites, las cargas previstas en el cuadro anterior pueden clasificarse como sigue:

Tabla 19. *Estados límites de las cargas.*

Estados Límites	Clasificación de las cargas (Tabla 18)
Cargas permanentes	Cargas Previstas en el punto I,A
Cargas de larga duración	Cargas Previstas en el punto I,B
Cargas de corta duración	Cargas Previstas en el punto I,C
Cargas accidentales	Cargas Previstas en los puntos II y III

Fuente: Autor.

4.4.16.2. Cálculo de los paneles

Los paneles del encofrado deslizante se calcularán para resistir a la acción combinada de las cargas horizontales y verticales, y se dimensionarán, de tal manera que resistan en todas las secciones a los momentos flectores y esfuerzos axiales y cortantes debidos a las cargas que las soliciten.

Las deformaciones de los paneles bajo la acción de cargas deberán estar dentro de los límites admisibles, de manera que no se modifiquen las dimensiones de los elementos del hormigón proyectados, ni la inclinación prescrita para los paneles, con vistas a asegurar un deslizamiento normal.

Las cargas de cálculo se tomarán de acuerdo con la clasificación precedente. Las que provienen del peso propio de los paneles y del peso de las plataformas de trabajo.

4.4.16.3. Cálculo de los caballetes

Los elementos de los caballetes y las uniones se calcularán de forma que las deformaciones que se produzcan bajo las cargas debidas a los paneles del encofrado no modifiquen las dimensiones de los elementos de hormigón, ni la inclinación de los paneles.

4.4.16.4. Cálculo de las barras de apoyo

Las Barras de apoyo serán las que estarán sujetas a la estructura de los paneles de los encofrados hacia la pared. Las barras de apoyo se calcularán a pandeo bajo la acción de las cargas transmitidas por los gatos, que a su vez las reciben de los caballetes, que deben estar equilibrados de manera que no transmitan momentos que las barras no puedan soportar; para la seguridad de elevación uniforme del encofrado deslizante, las barras deben a su vez estar cargadas tan uniformemente como sea posible; esta condición debe tenerse en cuenta para elegir su emplazamiento.

4.4.16.5. Cálculo de las plataformas y barandillas.

Las plataformas y barandillas es el lugar de trabajo de los obreros donde ellos podrán controlar el deslizamiento del encofrado constantemente. Las cargas sobre las plataformas de trabajo se consideran de acuerdo con el esquema de clasificación de cargas citado más arriba, adaptándolo a la función de estos elementos.

La plataforma superior se calculara para su peso propio, el peso de los hombres e instalaciones que soporte, y para la carga producida por la descarga de una cuba de hormigón de 0,4 o 0,8 m³, repartida sobre un circulo de 1,5 o 2,20 m. de diámetro, respectivamente, con una altura de caída de 0,3 m.

La plataforma inferior se calculará por su peso propio, el peso de los hombres (200 kg/m²) y para otras cargas especiales (artesanías de mortero u otros materiales). Del mismo modo, las barandillas se calcularán para una fuerza horizontal de 50 kg/m. aplicada a una altura de 1 metro sobre su base.

Es necesario que cada uno de los elementos que conforman el sistema, sea capaz de soportar las cargas a las que están sometidos en cada fase de uso (montaje, transporte, colocación, proceso de hormigonado y proceso de desencofrado), ya que son los componentes decisivos a la hora de resistir los esfuerzos y deformarse dentro de los estados límites. Por lo que en la siguiente tabla se recoge la fase de uso en las que los elementos que conforman un sistema de encofrado están solicitados, la sección que debe tomarse encuentra en el cálculo y el tipo de esfuerzo que debe comprobarse.

Tabla 20. *Cargas a las que está sometido cada elemento del encofrado*

Elemento del sistema de encofrado	Fase de uso en la que debe comprobarse su resistencia	Acción a tener en cuenta en el cálculo	Comprobación en ELU	Comprobación en el ELS
Ganchos de elevación	Montaje, transporte y colocación.	Peso propio	Tracción	
Codales de elevación	Montaje, transporte y colocación.	Peso propio	Compresión	
Elemento de unión en juntas horizontales entre elementos de encofrado.	Montaje, transporte y colocación.	Peso propio	Momento flector	
Puntales y cables de sujeción y aplomado	Colocación sin haber sido hormigonados	viento	Compresión, tracción.	
Plataforma de trabajo, barandillas	Colocación sin haber sido hormigonados	Sobrecarga de uso	Momento cortante	
Ménsula de trepa a dos caras y sus anclajes	Colocación sin haber sido hormigonados	viento	Tracción y cortante en anclajes	
Ménsula de trepa una	Proceso de	Presión de	Tracción y	

sola cara y anclajes	hormigonado	hormigonado y sobrecarga de uso	cortante en anclajes	
elemento de soporte de encofrado de muro a una cara y sus anclajes	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	Tracción en anclajes y cortante en perfil de anclaje	
Elemento de soporte de encofrado de modulares y sus anclajes	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	Presión máxima admisible	
Elemento de encofrado de vigas y sus anclajes	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	Momento y cortante en vigas y correas metálicas. Tracción en anclajes	Flechas en vigas y correas.
Elemento de unión en juntas verticales entre elementos de encofrado. Elemento trepa y esquinas	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	tracción	
Elemento de encofrado de tapes	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	Momento y cortante en vigas y correas metálicas. Tracción en anclajes	
Forros de encofrado	Proceso de hormigonado	Presión de hormigonado	Momento y cortantes	Flechas

Fuente: el autor.

4.4.16.6. Cálculo de la presión lateral del concreto

La determinación del valor de la presión del hormigón fresco y su distribución en función de la profundidad es un problema muy complejo por todos los factores que influyen en él, y que se han enumerado y analizado en los puntos anteriores. En Venezuela no se ha desarrollado hasta el momento una normativa específica a la aplicación para realizar este cálculo, por lo que las empresas especializadas en la construcción tanto venezolanas como el resto del mundo, emplean para el desarrollo y aplicación de sus productos y las especificaciones de los mismos la norma DIN 18128:2010-1 y Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural ACI-347, normas encargadas de determinar la presión de hormigón fresco sobre sistemas de

encofrados verticales, explicados en el capítulo II del marco teórico de la investigación.

4.4.16.7. Cálculo del peso del concreto para encofrados horizontales

Para el cálculo del peso sobre encofrados horizontales se puede acceder de la siguiente manera para el cálculo de puntales:

- Peso del concreto

Ha sido señalado que los encofrados deben ser considerados como estructuras; en efecto, en tanto el concreto no alcance las resistencias mínimas exigibles para proceder a desencofrar, los encofrados tienen que ser suficientemente resistentes para soportar el peso del concreto. Esto ocurre en los encofrados de vigas y techos.

El concreto es un material de considerable peso, ya que un metro cúbico de concreto pesa 2,400 kg para concretos convencional. El peso de un determinado volumen de concreto se obtiene multiplicando dicho volumen por el peso específico del concreto, que como ha sido ya indicado es de 2,400 kg/m³.

Tabla 21. *Peso de losa maciza según espesor de losa.*

Peso de losa maciza de concreto armado	
Espesor de la losa (m)	Peso de un m ² de losa (Kg)
0.10	240
0.12	288
0.15	360
0.20	480
0.25	600

Fuente: Autor.

Tabla 22. *Peso de losas aligeradas según espesor de losa.*

Peso de techos aligerados (incluye peso de los ladrillos huecos)

Espesor de techo (m)	Peso de un m ² de techo (Kg)
0.17	280
0.20	300
0.25	350
0.30	420

Fuente: Autor.

- Cargas de construcción

Adicionalmente al peso del concreto, los encofrados deben soportar las cargas de construcción; éstas corresponden al peso de los trabajadores que participan en el llenado de los techos y al del equipo empleado en el vaciado.

Para establecer las cargas de la naturaleza referida es usual adoptar, como equivalente, una carga uniformemente repartida en toda el área de los encofrados. Para encofrados convencionales y vaciados con equipo normal se suele tomar el valor de 200 kg/m², magnitud que debe sumarse al peso del concreto.

Cuando se prevea vaciados con equipo mecánico motorizado el valor indicado debe aumentarse prudencialmente en 50%, es decir, que en este caso la magnitud equivalente a las cargas de construcción será de 300 kg/m².

- Peso de los encofrados

En encofrados de madera, los pesos propios de los mismos tienen poca significación en relación al peso del concreto y cargas de construcción. En el caso de encofrados metálicos (por ejemplo, encofrados de techos con viguetas metálicas extensibles) el peso que aportan debe tenerse en cuenta.

El peso propio de encofrados de techos con viguetas metálicas es aproximadamente 50 kg por metro cuadrado de techo. El peso exacto debe establecerse a partir de la información que proporcionen los proveedores de este tipo de encofrados.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

A lo largo del presente estudio se ha tratado de aportar una serie de recomendaciones, ejemplos y buenas prácticas destinados a la mejora de las condiciones de trabajo en las que se ejecutan los diferentes sistemas de encofrado más habituales en las obras de construcción de gran envergadura. Para ello, y ante la ausencia de datos oficiales específicos y de normativa vigente venezolana actualizada se impartido un análisis que se concentran las normativas internacionales referentes a sistemas de encofrados para las distintas fases de encofrado y desencofrado, a lo cual se puede concluir:

- La invención de los encofrados, ha hecho que el uso del hormigón sea ilimitado, pues en la actualidad podemos realizar diversas formas de molduras y elementos, por las ventajas que nos ofrecen los materiales.
- En Venezuela no existe una norma actualizada que vaya en conjunto con el desarrollo de las tecnologías referente a encofrados, ya que la última actualización de la única norma venezolana vigente sobre encofrados (Norma COVENIN 2244-9) fue realizada hace 28 años, por que hace que las empresas de construcción diseñen los sistemas de encofrados para obras de gran envergadura con normas internacionales.
- Por deficiencias que son comunes en nuestro país, las empresas de construcción deben adaptar las normas extranjeras en Venezuela, debido a que los aspectos normativos, los sistemas institucionales de seguimiento y control de calidad, el sistema de ciencia, tecnología e innovación, y los procesos de formación de talento especializado, se han descuidado en las últimas décadas.

- Dentro de las estructuras ningún elemento tiene menor importancia que otro. Cada miembro desempeña una tarea específica y con esto se logra el funcionamiento adecuado de toda la estructura. Por tal motivo, el ingeniero tiene la obligación de realizar el diseño de todos los elementos estructurales, apegándose a las normas disponibles.
- La importancia de este proyecto es el poner a disposición del usuario un conjunto de herramientas e información completa, al momento de diseñar o utilizar sistemas de encofrados modernos (modulares, trepantes, autotrepantes o deslizantes), con el fin de proporcionar una estructura segura y eficiente en la construcción.
- Se debe aclarar el alcance de la norma COVENIN 2244-91, ya que es un punto de suma importancia, porque la aplicación de los criterios normativos a estructuras no tipificadas o contempladas en los mismos, puede ocasionar consecuencias desastrosas para la seguridad y la vida de las personas.

5.2. Recomendaciones

De esta manera, a lo largo del estudio que ahora se concluye se aportan medidas y soluciones que redundan en la consideración de las siguientes recomendaciones generales:

- Como principal recomendación, es necesario fortalecer, de manera general, tanto el sistema normativo, como el de metrología y calidad. En América Latina, es necesario profundizar en el desarrollo de propuestas simples, prácticas y de fácil manejo para los ingenieros de nuestra región. Es recomendable simplificar las normas para que resulten de fácil utilización por los ingenieros. Desarrollar Manuales de uso y aplicación de las normas, con ejemplos típicos y comentarios, son actividades prioritarias y no correctamente atendidas.

- Otros factores importantes de considerar, y que son debilidades comunes en muchos de nuestros países, tienen que ver con la inexistencia o desconocimiento de autoridades responsables, y la ineficiencia en la aplicación y seguimiento de las normas: esto tiene que ver con la necesaria institucionalidad, que debe fortalecerse en cada país, no solamente para crear y desarrollar el marco legal y las normativas técnicas, sino también para asegurar que se cumplan, y que, efectivamente se apliquen los criterios de seguridad mínimos para que las construcciones que se ejecutan, sean suficientemente seguras, y se garantice la vida de las personas en caso de desastres.
- Es importante mencionar que para comprender correctamente la información de la presente investigación, es necesario poseer conocimientos sobre análisis estructural, cálculo de cargas sometidas a compresión, tracción y flexión. También es necesario que el usuario revise la bibliografía de normas citadas e investigue los procedimientos de diseño de sistemas de encofrados. Con esto se espera que el usuario interprete y utilice los resultados adecuadamente y con el mejor criterio posible.
- Se recomienda priorizar la utilización de sistemas de encofrado completos que eviten las habituales situaciones de riesgo derivadas del uso de elementos aislados o, incluso, de fabricación propia. Igualmente, se considera crítico el considerar y aplicar las medidas e instrucciones habitualmente incluidas en los manuales de cada fabricante.
- Toda la teoría empleada y las conclusiones obtenidas en este trabajo, están basadas en investigaciones y normas desarrolladas por otros autores, mismos que deben utilizarse como base para el estudio del diseño de sistemas de encofrados. Por lo tanto el presente proyecto solo constituye una ayuda para facilitar dicho estudio y debe usarse, en conjunción con los documentos ya mencionados.

- Es conveniente incorporar en las normas aspectos generales que faciliten los estudios de campo, por ejemplo, el tratamiento de las irregularidades topográficas, entre otros. Para así poder dar estabilidad a los sistemas de encofrados en obras de gran envergadura. Es recomendable realizar estudios de sitio cuando se considere que las normas vigentes son inadecuadas u obsoletas, o en el caso de obras de importancia excepcional.
- Cuando se define el alcance de las normas, es importante indicar los procedimientos que deben seguirse para el diseño y construcción de sistemas de encofrados con sistemas estructurales que no puedan estar contemplados en las mismas o utilizando materiales nuevos, para los cuales no existen todavía normativas vigentes. Usualmente, se especifica que, en estos casos, las autoridades competentes deben solicitar sustento suficiente, con métodos analíticos o experimentales, para demostrar que la estructura será lo suficientemente segura para la amenaza sísmica estipulada.

BIBLIOGRAFÍA

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación*. Sevilla, España: Espíteme. Quinta Edición.

Baptista, Fernández, y Hernández (2006). *Metodología de la Investigación*. México D.F. MCGRAW-HILL/INTERAMERICAMA EDITORES, S.A. DE C.V. Cuarta Edición.

Documentación técnica, Línea prevención. *Identificación, descripción y características fundamentales de los sistemas de encofrados*.

DIN 18218:2010-01. *Verdichten von beton durch rütteln*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V (presión de hormigos fresco sobre encofrados verticales).

Eurocódigos I: **Acciones sobre estructuras. Parte 1-1: Acciones sobre estructuras.**

Faustino B. Gabriel (1995). *Manual de Encofrado para estructuras en Concreto Armado*. Tesis de Grado Publicada. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas.

Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales (2007). *Guía Práctica de Encofrados*

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO (2009). *Notas Técnicas de Prevención 834. Encofrado vertical. Muros a dos caras, pilares, muros a una cara (I)*.

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO
(2009). *Notas Técnicas de Prevención 835. Encofrado vertical. Muros a dos caras, pilares, muros a una cara (II)*.

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO
(2009). *Notas Técnicas de Prevención 836. Encofrado Vertical, Sistemas trepantes (I)*.

INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE Y SEGURIDAD EN EL TRABAJO
(2009). *Notas Técnicas de Prevención 837. Encofrado Vertical, Sistemas trepantes (II)*.

Jack C. Y Russel H. (2011) *Diseño de Concreto Reforzado*. Editorial Alfaomega. México. Octava Edición.

Manual ACI 347-04. *Guide to Formwork for Concrete*. USA.

MARTÍ, J.V.; YEPES, V.; GONZÁLEZ, F. (2004). *Temas de procedimientos de construcción. Cimbras, andamios y encofrados*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Ref. 2004.441.

Norma COVENIN 2244-91. *Encofrados. Requisitos de Seguridad*.

Pérez G. Andrés E. (1994). *Diseños de Sistemas de Encofrados*. Tesis de Grado publicada. Universidad Católica Andrés Bello. Caracas.

Rueda P. María C. & Cayama R. Armando J. (2003). *Cálculo de Encofrado de elementos Estructurales de Concreto Armado*. Tesis de Grado Publicada. Universidad Rafael Urdaneta. Maracaibo.

Ricourd M. (1980). *Cálculos y aplicaciones en edificaciones y obras civiles*. Primera Edición.

Somavilla J. (2007). *ENCOFRADOS*. Editorial CEAC. Madrid, España.

HOJAS DE METADATOS

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 1/6

Título	“Evaluación de los requisitos de seguridad de encofrados de la norma COVENIN 2244-91, en comparación con la ACI 347-93, guía de encofrados para concreto.”
Subtítulo	

Autor(es)

Apellidos y Nombres	Código CVLAC / e-mail	
Cruz Medina	CVLAC	V-20.741.030
	e-mail	Medinabernardo627@gmail.com
	e-mail	
	CVLAC	
	e-mail	
	e-mail	

Palabras o frases claves:

Encofrado
Hormigón
Seguridad
Criterios
Normas
COVENIN
ACI

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 2/6

Líneas y sublíneas de investigación:

Área	Subárea
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Ingeniería Civil

Resumen (abstract):

En la actualidad existen una gran variedad y tipos de encofrados para cada situación que se presente en cada obra en específico, teniendo en cuenta una serie de sistemas de encofrados avanzados para cubrir los requerimientos de obras de gran envergadura; del mismo modo, a nivel mundial, las normas, criterios e información que existe en español dedicada a los encofrados, es relativamente poca, a pesar de que constituyen parte importante de una obra, quedando así, por fuera, una serie de términos y conceptos básicos, referentes a los encofrados, materiales que se deben utilizar y la metodología para encofrar, que hasta hoy en día no se ha actualizado. Por el cual, se realizó el análisis de los parámetros o criterios fundamentales de las normativas nacionales, como lo son COVENIN 2244-91, en comparación con las normas internacionales como la ACI 347, y los sistemas de encofrados modernos utilizados actualmente. El proyecto se basó en una metodología del tipo documental ya que se fundamentó en datos y parámetros establecidos en normas y fuentes documentales, así mismo atendió a un nivel descriptivo ya que se identificó los procedimientos y técnicas apropiadas a la hora del diseño, fabricación, montaje, supervisión y desmontaje de los sistemas de encofrados utilizados actualmente, que no estén contemplados en la norma COVENIN 2244-91. Estableciendo una propuesta de actualización de dicha norma.

Palabras claves: Encofrado, hormigón, seguridad, criterios, normas, COVENIN, ACI

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 3/6

Contribuidores:

Apellidos y Nombres	ROL / Código CVLAC / e-mail										
Ing. Jesús Álvarez	ROL	CA		AS	X	TU		JU			
		x									
	CVLAC	V-4.510.362									
	e-mail	sainca40@yahoo.com									
	e-mail										
Ing. Daniel Cabrera	ROL	CA		AS		TU		JU			
		x									
	CVLAC	V-17.421.606									
	e-mail	danielcabrera@udo.edu.com									
	e-mail										
Ing. Anabel González	ROL	CA		AS		TU		JU			
		x									
	CVLAC	V-16.573.233									
	e-mail	gonzalez85anabel@gmail.com									
	e-mail										

Fecha de discusión y aprobación:

Año	Mes	Día
2021	07	22

Lenguaje: SPA

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 4/6

Archivo(s):

Nombre de archivo	Tipo MIME
PG-MedinaCruz.docx	Aplication/word

Alcance:

Espacial: UNIVERSAL

Temporal: INTEMPORAL

Título o Grado asociado con el trabajo:

Ingeniero Civil

Nivel Asociado con el Trabajo: Pregrado

Área de Estudio:

Educación Mención Ingeniería

Institución(es) que garantiza(n) el Título o grado:

Universidad de Oriente

Extensión Cantaura

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 5/6



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
CONSEJO UNIVERSITARIO
RECTORADO

CUN° 0975

Cumaná, 04 AGO 2009

Ciudadano
Prof. JESÚS MARTÍNEZ YÉPEZ
Vicerrector Académico
Universidad de Oriente
Su Despacho

Estimado Profesor Martínez:

Cumplo en notificarle que el Consejo Universitario, en Reunión Ordinaria celebrada en Centro de Convenciones de Cantaura, los días 28 y 29 de julio de 2009, conoció el punto de agenda **"SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN PARA PUBLICAR TODA LA PRODUCCIÓN INTELECTUAL DE LA UNIVERSIDAD DE ORIENTE EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UDO, SEGÚN VRAC N° 696/2009"**.

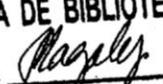
Leído el oficio SIBI – 139/2009 de fecha 09-07-2009, suscrita por el Dr. Abul K. Bashirullah, Director de Bibliotecas, este Cuerpo Colegiado decidió, por unanimidad, autorizar la publicación de toda la producción intelectual de la Universidad de Oriente en el Repositorio en cuestión.

Comunicación que hago a usted a los fines consiguientes.

Cordialmente,


JUAN A. BOLANOS CUNELES
Secretario



UNIVERSIDAD DE ORIENTE
SISTEMA DE BIBLIOTECA
RECIBIDO POR 
FECHA 5/8/09 HORA 5:30

C.C: Rectora, Vicerrectora Administrativa, Decanos de los Núcleos, Coordinador General de Administración, Director de Personal, Dirección de Finanzas, Dirección de Presupuesto, Contraloría Interna, Consultoría Jurídica, Director de Bibliotecas, Dirección de Publicaciones, Dirección de Computación, Coordinación de Teleinformática, Coordinación General de Postgrado.

JABC/YGC/maruja

Hoja de Metadatos para Tesis y Trabajos de Ascenso – 6/6

Artículo 41 del REGLAMENTO DE TRABAJO DE PREGRADO (vigente a partir del II Semestre 2009, según comunicación CU-034-2009): “Los trabajos de grados son de la exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente, y solo podrá ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Concejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Concejo Universitario, para su autorización”.

Medina, Cruz Rafael

AUTOR

Ing. Jesús Álvarez

ASESOR ACADÉMICO