



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Civil

**IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISIÓN
DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA**

Luis Daniel Hernández del Cid

Asesorado por el Ing. Ángel Alberto Filippi Arriaga

Guatemala, agosto de 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISIÓN
DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

LUIS DANIEL HERNÁNDEZ DEL CID

ASESORADO POR EL ING. ANGEL ALBERTO FILIPPI ARRIAGA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, AGOSTO DE 2021

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Christian Moisés de la Cruz Leal
VOCAL V	Br. Kevin Armando Cruz Lorente
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADOR	Ing. Luis Eduardo Portillo España
EXAMINADOR	Ing. Darío Francisco Lucas Mazariegos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISIÓN DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 29 de abril de 2019.


Luis Daniel Hernández del Cid

Guatemala 06 de mayo de 2019

Ingeniero
Juan Carlos Linares Cruz
Departamento de Planeamiento
Escuela de Ingeniería Civil

Le saludo cordialmente deseándole éxitos en sus labores diarias.

Por medio la presente hago constar que he revisado los Capítulos 1 y 2 del trabajo de graduación **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISIÓN DEL ENCOFRADO DE LOSAS PLNAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA** del estudiante universitario Luis Daniel Hernández del Cid con CUI 2293777690101, No. de Carné 201313929. Sin otro particular me despido de usted.



Angel Alberto Filippi Arriaga
Ingeniero Civil
Colegiado: 12,274

*Ing. Civil Angel Alberto Filippi Arriaga
Colegiado 12274
Valuador Autorizado
Reg. 1555-F-2015*



USAC
TRICENTENARIA
 Universidad de San Carlos de Guatemala
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Guatemala, 05 de octubre de 2020
 EIC-JP-014-2020/jcl

Ingeniero
 Pedro Antonio Aguilar Polanco
 Director Escuela Ingeniería Civil
 Facultad de Ingeniería
 Universidad de San Carlos

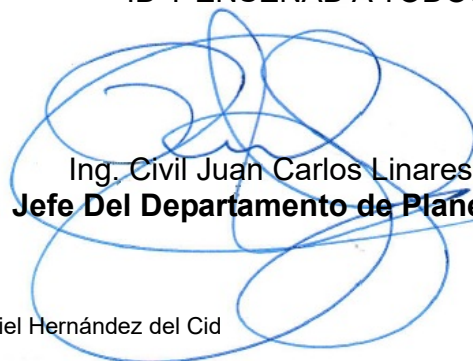
Ingeniero Aguilar:

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACION, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISION DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Daniel Hernández del Cid, quien contó con la asesoría del Ingeniero Angel Alberto Filippi Arriaga.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la Ingeniería nacional y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Civil Juan Carlos Linares Cruz
Jefe Del Departamento de Planeamiento

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO
DE
PLANEAMIENTO
USAC

Cc: Estudiante Luis Daniel Hernández del Cid
 Archivo



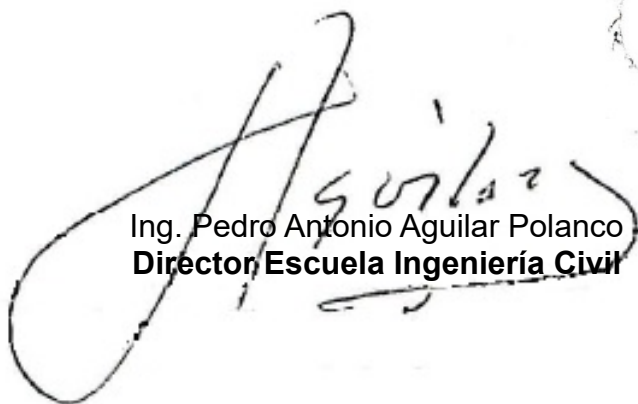
Más de 140 años de Trabajo y Mejora Continua



Guatemala, 16 de noviembre de 2020
DEIC-TG-EIC-015-2020/paap

El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ingeniero Angel Alberto Filippi Arriaga y del Jefe del Área de Planeamiento, Ingeniero Juan Carlos Linares Cruz, al trabajo de graduación del estudiante Luis Daniel Hernández del Cid, **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACION, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISION DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Director Escuela Ingeniería Civil



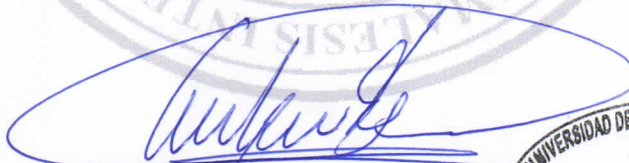
Interesado
Asesor
Jefe del Área de Planeamiento



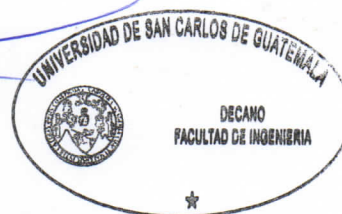
DTG.349.2021

La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN, CONTROL OPERATIVO Y SUPERVISIÓN DE ENCOFRADO DE LOSAS PLANAS UTILIZANDO EL SISTEMA DE MESA**, presentado por el estudiante universitario: **Luis Daniel Hernández del Cid**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada
Decana



Guatemala, agosto de 2021

/cc

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	El único, eterno y poderoso Dios, quien es mi fuente infinita de inspiración, energía y amor verdadero.
Mi padre	José Luis Hernández, quien ha sido mi ejemplo de perseverancia y carácter en la prueba.
Mi madre	Damaris Verónica del Cid, por su amor incondicional y su ejemplo de integridad y rectitud.
Mis hermanos	José, Arely y Carlos Hernández del Cid, por ser mi motivación para enorgullecer y fortalecer el honor de nuestra familia.
Mi tío	Adelaido del Cid, por haberme inculcado hábitos de alto valor y ser parte tan fundamental en mi desarrollo personal.
Mis amigos	Leonel Gómez, con quien he compartido las mejores experiencias en la obra de Dios; Erick Arana, con quien he participado de emocionantes lecturas de física cuántica.

AGRADECIMIENTOS A:

Universidad de San Carlos de Guatemala	<i>Alma máter</i> que me ha provisto del más delicado aprendizaje y amor por el conocimiento.
Facultad de Ingeniería	Por su relevancia como institución de enseñanza técnica en la región.
Mi asesor	Ing. Ángel Alberto Filippi Arriaga, por su apoyo como profesional de la ingeniería civil.
Cristian Gonzales y familia	Por cada una de sus enseñanzas de liderazgo; por enriquecerme con lecciones que significaron un reto en mi vida.
Miguel Rodríguez y familia	Por creer siempre en mí y depositar su confianza en este sueño.
Mis tíos	Lidia Álvarez; Nehemías, Luvia, Tomasa, Orbelina y Lester del Cid.
Mis primos	Eliezer y Ludwing Palacios; Samuel, Karen y Sandra Salvatierra; Mildred Chitamul; Mariela, Madelin y Keyla Hernández.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	VII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN	XVII
1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA.....	1
1.1. Origen del sistema.....	1
1.2. Tipos de encofrado horizontales.....	2
1.2.1. Placa metálica	3
1.2.2. Panel horizontal.....	5
1.2.3. Combinado	7
1.3. Principales proveedores	10
1.3.1. Doka	10
1.3.2. Peri	10
1.3.3. SGB (Scaffolding Great Britain)	11
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA.....	13
2.1. Lógica del sistema	15
2.2. Partes y sus características.....	16
2.2.1. Viga H20.....	16
2.2.2. Riel de mesa.....	18
2.2.3. Conexiones.....	19
2.2.4. Puntales.....	20

2.2.5.	Trípodes	22
2.2.6.	Panel	23
2.3.	Montaje	25
2.3.1.	Medios auxiliares.....	25
2.3.2.	Maquinaria y equipo	26
2.3.3.	Soporte de viga	26
2.3.4.	Viga de encofrado horizontal.....	29
2.3.5.	Variantes de compensación	30
2.4.	Desmontaje	31
2.4.1.	Cuándo desencofrar	32
3.	PLANTEAMIENTOS PREVIOS	35
3.1.	Cualificación del personal de montaje	35
3.2.	Entorno de la obra.....	36
3.3.	Transporte y almacenamiento	36
3.4.	Retiro de materiales	37
4.	PLANIFICACIÓN Y CONTROL OPERATIVO	39
4.1.	Planificación	39
4.1.1.	Descripción de caso teórico	39
4.1.2.	Análisis del caso.....	40
4.1.3.	DOKA tipos.....	41
4.1.4.	Generación de planos	41
4.2.	Cuantificación de suministros.....	41
4.2.1.	Número de usos	42
4.3.	Tiempo de ejecución	42
4.3.1.	Cronograma de actividades.....	44
4.4.	Elaboración de presupuesto.....	45
4.4.1.	Costos de renta	45

4.4.2.	Factores usados	47
4.5.	Matriz de evaluación y PPC.....	50
4.5.1.	Cálculo del porcentaje de programa cumplido (PPC).....	50
4.5.2.	Análisis de actividades cumplidas	50
4.5.3.	Análisis de actividades programadas	51
4.5.4.	Elaboración de la matriz	51
5.	SEGURIDAD INDUSTRIAL.....	57
5.1.	Valoración de riesgos	57
5.1.1.	Riesgos higiénicos.....	57
5.1.2.	Riesgos ergonómicos	58
5.2.	Equipo de protección personal (EPP).....	59
5.3.	Normativas	59
5.3.1.	Normativas internacionales.....	60
5.3.2.	Normativas vigentes/protección laboral	61
	CONCLUSIONES	63
	RECOMENDACIONES	65
	BIBLIOGRAFÍA	67
	APÉNDICES	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Figura 1. Sistema de placa metálica	3
2.	Figura 2. Montaje de placa metálica.....	4
3.	Figura 3. Montaje de panel horizontal	6
4.	Figura 4. Elementos principales de andamio.....	8
5.	Figura 5. Sistema combinado para losas de gran altura	9
6.	Figura 6. Sistema de encofrado Girder GT 24.....	11
7.	Figura 7. Entramado de sistema tipo mesa	15
8.	Figura 8. Viga de madera DOKA H20	17
9.	Figura 9. Riel de mesa.....	18
10.	Figura 10. Conexión de riel a viga H20	18
11.	Figura 11. Conexión universal.....	19
12.	Figura 12. Conexión longitudinal entre mesas.....	19
13.	Figura 13. Puntales telescópicos metálicos.....	20
14.	Figura 14. Partes principales de un puntal	22
15.	Figura 15. Trípode plegable para puntal metálico	23
16.	Figura 16. Panel contrachapado.....	24
17.	Figura 17. Piezas metálicas de soporte para vigas	27
18.	Figura 18. Manejo de soporte de viga	28
19.	Figura 19. Sujeción de soporte de viga	28
20.	Figura 20. Encofrado final de viga en horizontal.....	29
21.	Figura 21. Ajuste de madera en bordes de losa	30
22.	Figura 22. Compensación y ajustes vistos en planta.....	31
23.	Figura 23. Planta de losa.....	40

TABLAS

I.	Tabla I. Número acumulativo de días u horas para el desencofrado	33
II.	Tabla II. Cronograma de actividades.....	44
III.	Tabla III. Costos de renta de equipo Doka.....	45
IV.	Tabla IV. Cantidad de materiales de encofrado sin factor.....	47
V.	Tabla V. Costo de renta mensual con cantidades mayoradas	49
VI.	Tabla VI. Matriz de seguimiento.....	53
VII.	Tabla VII. Ejemplo de marcado en matriz	54

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
cm	Centímetro
g/cm²	Gramo por centímetro cuadrado
Kg	Kilogramo
kN	Kilonewton
Lb	Libra
PSI	Libras por pulgadas cuadrada
m	Metro
m²	Metro cuadrado
mm	Milímetro
%	Tanto por ciento

GLOSARIO

ACI 318	Norma del <i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto) elaborado por el comité 318. Requisitos de reglamento para concreto estructural.
ACI 347	Norma del <i>American Concrete Institute</i> (Instituto Americano del Concreto) elaborado por el comité 347. Guía para el diseño, construcción y materiales de cimbras para concreto.
Aditivo	Material distinto del agua, de los agregados o del cemento hidráulico, utilizado como componente del concreto, y que se añade a este antes o durante su mezclado, con el fin de modificar sus propiedades.
Andamio	Armazón desmontable constituido por tubos que se levantan provisionalmente, con la que se permite el acceso de los obreros a los distintos puntos de una construcción.
Armado	Conjunto de estructuras metálicas empleadas para formar el esqueleto de un elemento o construcción de hormigón armado.
Canto	Orilla lateral del panel fenólico.

Curado	Proceso por el cual el concreto elaborado con cemento hidráulico madura y endurece con el tiempo, como resultado de la hidratación continua del cemento en presencia de suficiente cantidad de agua.
DIN	Norma del <i>Deutsches Institut für Normung</i> (Instituto Alemán de Normalización).
DOKA	Productor y proveedor internacional de encofrados utilizados en todos los campos del sector de la construcción.
EN	<i>European norm</i> (norma europea).
Encofrado	Armazón formada por un conjunto de planchas metálicas o de madera, convenientemente dispuestas para recibir el hormigón que, al endurecerse, forma las paredes de los edificios construidos con este material.
Encolado	Pegar con cola o pegamento.
Eslinga	Elemento intermedio que permite enganchar una carga a un gancho de izado o de tracción.
Estrobo	Tramo relativamente corto de un material flexible y resistente (típicamente cable de acero), con sus extremos en forma de “ojales” debidamente preparados para sujetar una carga y vincularla con el equipo de izaje que ha de levantarla.

Flejado	Proceso que consiste en atar una carga con una cinta continua de PVC, polipropileno o poliéster.
Fraguado	Cambio en el cemento mezclado de un estado fluido a un estado sólido.
Fundición <i>in situ</i>	Es una tecnología de construcción de edificios donde las paredes y losas de los edificios se moldean en el sitio en que se realiza el encofrado.
Incidente	Circunstancia en la que la salud de un trabajador ya ha sido afectada.
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organización Internacional de Normalización o Estandarización).
Material fenólico	Tableros conformados por varias láminas de madera adheridas con una resina fenólica, aptos para ser sometidos a presión y altas temperaturas.
OHSAS	Norma de <i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i> (gestión de la salud y seguridad ocupacional).
Paletizado	Acción y efecto de disponer mercancía sobre un palé para su almacenaje y transporte.

Puntal	Apoyo provisional que trabaja a compresión y que se utiliza normalmente como soporte vertical temporal en las obras de construcción.
Ties	Amarres de encofrado (a veces denominados pernos de amarre) conectan las caras opuestas del encofrado de muros para restringir las presiones de concreto aplicadas.
UNE-NE	Una norma española- <i>European norm</i> .

RESUMEN

En este trabajo de graduación se presenta una guía de uso del sistema de encofrado tipo mesa (*table/fly form*) aplicando los conceptos, herramientas y métodos adecuados a la construcción de losas planas, tomando en cuenta las directrices y normativas de seguridad industrial actualmente vigentes en Guatemala y a nivel internacional.

Se ha descrito el proceso de análisis computacional, mediante el programa Doka tipos, de una losa plana de condiciones y características particulares, tomada como caso teórico. Dicho software permite obtener los planos de montaje, cantidades y dimensiones de los distintos elementos del sistema, utilizados para el manejo y control operativo del encofrado.

Se consideran aspectos importantes sobre la planificación de montaje del sistema, como la evaluación del cronograma de actividades, haciendo uso del porcentaje de programa cumplido (PPC) mediante la elaboración de una matriz de seguimiento aplicada al caso teórico, con el objetivo de optimizar el tiempo de ejecución de la losa.

OBJETIVOS

General

Describir los procesos de planificación y control operativo requeridos para el montaje de encofrado de losas planas utilizando el sistema de mesa, mediante actividades de supervisión enfocadas en optimizar los suministros, reducir tiempos de ejecución y garantizar la seguridad laboral del personal de obra.

Específicos

1. Describir los aspectos principales del sistema de encofrado de mesa y las ventajas que ofrece como alternativa actual a métodos tradicionales, de cara a problemas de eficiencia y sostenibilidad.
2. Planificar un cronograma de ejecución rentable mediante el cálculo de cantidades de suministro y adaptación de tiempos para una losa plana con vigas principales y secundarias.
3. Elaborar una matriz de control operativo para evaluar el porcentaje de actividades de encofrado cumplidas contra actividades programadas.
4. Conocer las indicaciones básicas de seguridad laboral, antes de realizar el montaje del encofrado e identificar los riesgos que puedan darse durante las fases sucesivas del proceso.

INTRODUCCIÓN

La construcción de estructuras de concreto ha pasado por cambios significativos desde la década de 1990 y continúa desarrollándose. Las innovaciones en el encofrado, concreto como material de refuerzo, y desarrollo inmobiliario son solo tres de los principales contribuyentes, gracias a los que esta industria se ha hecho más rápida, segura y eficiente.

Estudios realizados por el instituto BRE, con sede en Reino Unido, acerca de la innovación en la construcción de estructuras de hormigón, ponen en relieve el enorme impacto que los avances en ingeniería de encofrado han tenido en tema de velocidad, eficiencia y planificación¹. Sistemas de encofrado modernos, tales como el sistema de mesa y sistema de placa horizontal, han logrado mejoras en muchas de estas áreas, en comparación con el sistema tradicional de encofrado de madera ampliamente utilizado².

A continuación, se presentan las principales recomendaciones para el proceso de planeamiento, control operativo y supervisión de campo del sistema de encofrado tipo mesa (*table/fly form*) utilizado para edificios de losa plana, cuyas actividades de trabajo son de naturaleza repetitiva.

¹ NOLAN, Éanna. *Innovation in concrete frame construction*. p. 35.

² RUPASINGHE, Rohan & NOLAN, Éanna. *Formwork for modern, efficient concrete construction*. http://www.losso.us/page14/files/MB_BRE_Formwork.pdf.

1. ANTECEDENTES DEL SISTEMA

El proceso de evolución de los encofrados ha ido en aumento, y “se tienen constancias del uso del sistema de encofrados desde hace más de un milenio”³. Pero es hasta la Edad Moderna, con el descubrimiento de nuevos materiales, que ha sido posible el desarrollo de sistemas de encofrado más eficientes.

Sin embargo, el recurso técnico y teórico no ha estado siempre disponible. A finales de la década de los 80 no se contaba con mucha literatura en español sobre encofrados, aunque había valiosas traducciones de obras extranjeras obsoletas, por ejemplo, las publicaciones de la Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho, más conocida por AITIM y de la norma DIN 1052, que es con lo que contaba hasta ese entonces el Ingeniero y el técnico de obra, para ayudarse en sus problemas de encofrados⁴.

1.1. Origen del sistema

Según un estudio realizado, sobre los sistemas de encofrado de madera, en ese entonces considerados modernos, uno de los pioneros en la modernización que precisaba la técnica de los encofrados de madera fue el ingeniero diplomado alemán Manfred Steidle-Sailer, de Sigmaringen, propietario de una empresa constructora y de un magnífico taller de carpintería, en el cual,

³ HERRERA, Álvaro; MORENO, Jearson; ROBLES, Nelson. *Diagnóstico del uso de encofrado en elementos estructurales de concreto para los diferentes tipos de edificaciones en la zona oriental de El Salvador*. p. 2.

⁴ DE LA PEÑA, Juan. Estudio sobre encofrados de madera modernos. *Informes de la construcción*. p. 42.

en 1956, se produjo la primera viga de madera encolada en celosía, que empleó inmediatamente en su citada empresa constructora, fundada por la familia Steidle en 1821⁵.

Finalmente, en 1961 el Ingeniero Steidle, combinando las vigas con tableros contrachapados desarrollados por Karl Egner, “pudo presentar otra novedad consistente en emplear como superficie encofrante tableros contrachapados unidos con colas fenólicas, inalterables a la humedad, y con la posibilidad de plastificar una o ambas caras, para aumentar notablemente el número de empleo de aquellos”⁶.

Este sistema fue comercializado primeramente en el mercado alemán, y luego en el resto de Europa central, grandes paneles rígidos de superficies hasta entonces desconocidos, de hasta unos 20 m², podían ser elevados, transportados y cambiados de posición.

1.2. Tipos de encofrado horizontales

Este tipo de encofrados “sirven para la construcción de estructuras horizontales como losas, vigas, dinteles, ábacos, entre otros, para los cuales se deben tener en cuenta distintos aspectos como: colocación de armadura de acero, montaje del encofrado, colado de concreto, desencofrado, entre otros, a fin de obtener el acabado requerido por el cliente”⁷.

⁵ DE LA PEÑA, Juan. Estudio sobre encofrados de madera modernos. *Informes de la construcción*. p. 45.

⁶ *Ibíd.* p. 46.

⁷ LÓPEZ RUBIO, Raúl. *Utilización de encofrado de mesas y autotrepas en edificios de altura*. p. 32.

Para proyectos de mediana y gran altura, existen otros sistemas en función de la naturaleza del elemento que vaya a fundirse. Dichos sistemas pueden adaptarse a las necesidades y dimensiones requeridas en el proyecto. A continuación, se mencionan los sistemas de encofrado horizontal más utilizados en la industria de la construcción:

1.2.1. Placa metálica

Es un sistema de placas prefabricadas de aluminio de 0,60 por 0,60 metros, que se pueden ajustar a todos los elementos estructurales, no estructurales y arquitectónicos. Los detalles arquitectónicos, que pueden ser arcos y elementos curvos, columnas decorativas, techos inclinados de concreto, y canalones para aguas de lluvia, son colados directamente dentro de molduras de aluminio ornamentales⁸.

Figura 1. Sistema de placa metálica



Fuente: Moldes. *Wall-Ties & Forms*. <http://www.moldes.us/Beneficio.html>. Consulta: 4 de mayo de 2019.

⁸ Wall-ties & Forms. *Ventajas y beneficios en el uso de los moldes de aluminio*. <http://www.moldes-aluminios.com/Beneficio.html>.

Un análisis comparativo realizado en Hinjewadi, por Ansari & Kudale en dos edificios que utilizaron encofrado de placa metálica y convencional correspondientemente, reveló que la duración de la construcción para el sistema de placa fue menor que la del método convencional en alrededor de un 25 %⁹. Además que la estructura tipo caja del sistema de placa metálica proporciona más resistencia sísmica, pero es probable que aparezcan grietas por contracción.

Figura 2. **Montaje de placa metálica**



Fuente: Forsa S. A. Montaje de placa. <https://www.forsa.com.co/solucion-vivienda/encofrados-en-aluminio-forsa-alum/>. Consulta: 4 de mayo de 2019.

⁹ ANSARI, Sadruji; KUDALE, Sudhakar. *Comparative analysis of Mivan formwork building and conventional formwork building based on cost and duration*. https://www.academia.edu/27579318/Comparative_Analysis_of_MIVAN_Formwork_Building_and_Conventional_Formwork_Building_Based_on_Cost_and_Duration.

Un estudio realizado por Sreenath, Prakash, Sebastian, & Chengappa el cual “analiza la idoneidad de la tecnología de encofrado de aluminio modular en una estructura de marcos rígidos”¹⁰, presenta a su vez una lista de las ventajas del sistema de placa metálica, entre las cuales figuran:

- La manipulación y colocación de los materiales de encofrado es fácil, rápida y organizada. El requisito de mano de obra calificada es menor en comparación con el método convencional.
- Para construcción monolítica, el sistema brinda mayor durabilidad, estabilidad y es menos propensa a defectos debido a un número comparativamente menor de juntas.
- El costo unitario de los materiales de encofrado es menor que el encofrado de convencional, después de considerar el número posible de repeticiones.
- El uso de encofrado de aluminio proporciona una mayor calidad de construcción y un acabado más suave en la superficie, que el encofrado de madera contrachapada.

1.2.2. Panel horizontal

La innovación y el uso de materiales como aluminio y acero de alta resistencia “ha permitido el desarrollo de unidades ligeras que pueden manejarse

¹⁰ SREENATH, V; PRAKASH, B; SEBASTIAN, A. CHENGAPPA, K. *Suitability of modular aluminium formwork in RCC framed structures.* [https://manipal.pure.elsevier.com/en/publications/suitability-of-modular-aluminium-formwork-in-rcc-framed-structure.](https://manipal.pure.elsevier.com/en/publications/suitability-of-modular-aluminium-formwork-in-rcc-framed-structure)

de manera segura para lograr un práctico sistema de encofrado”¹¹. Este es el caso del sistema de panel horizontal.

El panel horizontal es un sistema de encofrado de losas utilizado para la construcción de losas de hasta 95 cm de espesor. Los paneles y las vigas principales son de aluminio, lo que significa que son muy ligeros.

También están disponibles accesorios para áreas de relleno, encofrados alrededor de columnas y los bordes de losas. Solo los puntales con cabezales abatibles y las tiras de cobertura permanecen en posición, hasta que se alcanza la resistencia total del hormigón. Por lo tanto, los requisitos de material *in situ* se reducen claramente¹².

Figura 3. **Montaje de panel horizontal**



Fuente: RUPASINGHE, R.; Nolan, E. *Formwork for modern, efficient concrete construction*.

p.12.

¹¹ RUPASINGHE, Rohan; NOLAN, Éanna. *Formwork for modern, efficient concrete construction*. http://www.losso.us/page14/files/MB_BRE_Formwork.pdf.

¹² PERI. *Skydeck Panel Salb Formwork: Assembly instructions for standard configuration*. https://tuffply.com/manuals/Peri_SKYDECK_Assembly_Instructions_english.pdf.

A continuación, se enumeran algunas ventajas del sistema que consideran como las principales¹³:

- El sistema permite armar áreas más grandes de encofrado más fácilmente que el encofrado tradicional.
- El peso ligero de los componentes y los métodos de conexión altamente diseñados reducen los requisitos de la fuerza de trabajo y aumentan la velocidad de montaje en el sitio.
- La simplicidad del montaje y desmontaje de estos sistemas modulares reduce el requisito de mano de obra calificada.

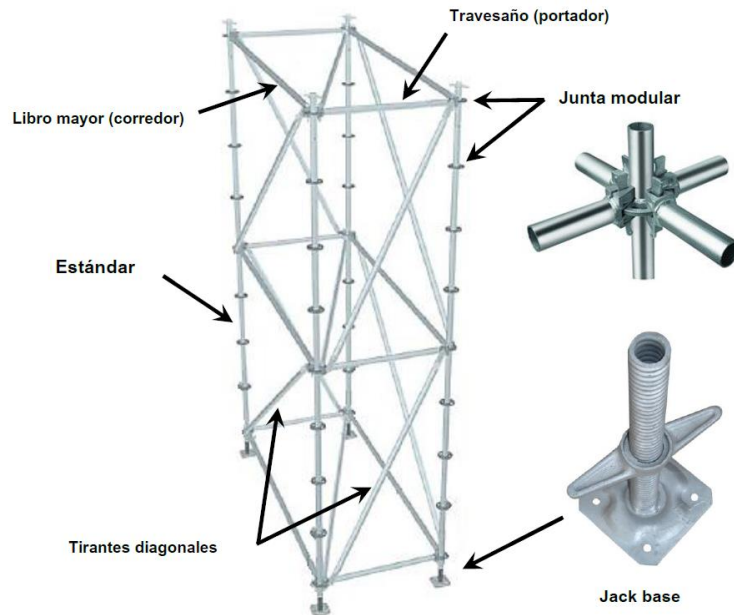
1.2.3. Combinado

El sistema combinado presenta una solución donde se necesita andamiaje de soporte de la formaleta horizontal para losas a grandes alturas, “el andamio modular es el tipo de sistema de andamiaje más avanzado, siendo la opción común en Europa para estructuras complicadas y fachadas intrincadas”¹⁴.

¹³ RUPASINGHE, Rohan; NOLAN, Éanna. *Formwork for modern, efficient concrete construction*. http://www.losso.us/page14/files/MB_BRE_Formwork.pdf.

¹⁴ VIUNOV, Valerii. *Comparison of scaffolding systems in Finland and in Rusia*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33631/Viunov_Valerii.pdf?sequence=1.

Figura 4. Elementos principales de andamio



Fuente: VIUNOV, Valerii, *Comparison of scaffolding systems in Finland and in Rusia*. p.11.

La gama amplia de componentes con que cuenta un sistema combinado permite encontrar distintas soluciones de andamiaje posible, proporcionando “suficiente versatilidad y reduciendo el tiempo de montaje, en comparación con los sistemas no modulares”¹⁵.

¹⁵ VIUNOV, Valerii. *Comparison of scaffolding systems in Finland and in Rusia*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33631/Viunov_Valerii.pdf?sequence=1.

Dentro de las principales ventajas del sistema desde el punto de vista se encuentran¹⁶:

- La variedad de opciones es bastante amplia y eso permite realizar muchos ajustes para adaptarse a cualquier proyecto en particular.
- Utiliza herramientas manuales estándar, lo que minimiza los costos laborales y las demoras.
- Es especialmente adecuado para aplicaciones en la industria, centrales eléctricas, astilleros y estructuras especiales.

Figura 5. **Sistema combinado para losas de gran altura**



Fuente: PERI. <https://www.peri.ca/projects/industrial-scaffolding/albian-sands.html> Consulta: 4 de mayo de 2019.

¹⁶ VIUNOV, Valerii. *Comparison of scaffolding systems in Finland and in Rusia*. https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33631/Viunov_Valerii.pdf?sequence=1.

En cuanto al desmontaje del sistema se debe contar con una planificación adecuada y evaluarse los riesgos de manera que se garantice la estabilidad, proporcionando refuerzos y amarres adecuados y restringiendo las cargas impuestas¹⁷.

1.3. Principales proveedores

A continuación, se presentan los principales proveedores de sistemas de encofrado¹⁸.

1.3.1. Doka

Doka ha ofrecido servicios personalizados a sus clientes desde su lanzamiento en 1958¹⁹. La compañía identifica las necesidades de cada cliente y proyecto para proporcionar una solución adecuada.

1.3.2. Peri

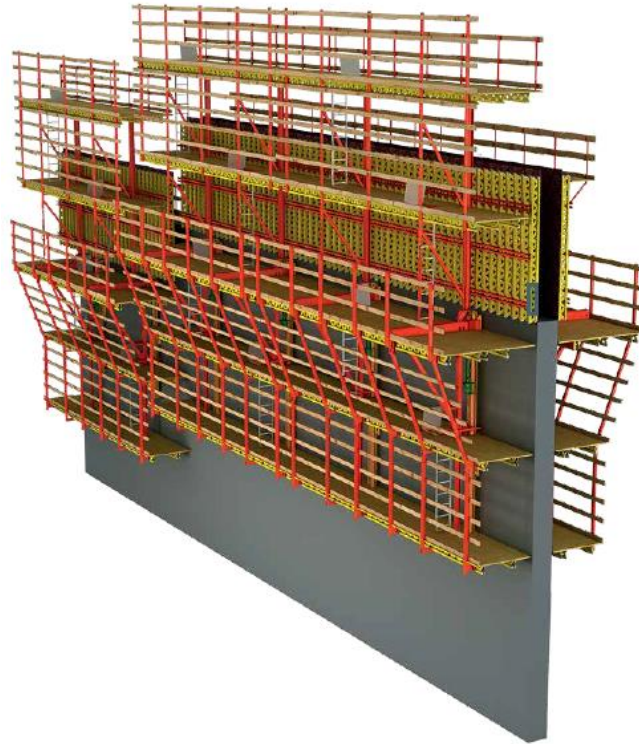
Peri fue fundada en Alemania en 1969 y ahora es una de las 50 mejores empresas del país. El encofrado Peri está disponible en todo el mundo, ya sea a través de oficinas regionales o representantes que tienen su sede en el país. Entre sus productos recomendados figuran los siguientes:

¹⁷ HEALTH, Safety Authority of Ireland. *Code of practice for access and working scaffolds*. https://www.hsa.ie/eng/publications_and_forms/publications/construction/cop_for_access_and_working_scaffolds1.pdf.

¹⁸ CONSTRUCTION WEEK. *Opinion Formers*. <https://www.constructionweekonline.com/article-33257-opinion-formers>.

¹⁹ DOKA. *Understanding. The secret to more than 150 years of customer benefit*. https://www.doka.com/en/about/about_doka?changeCountry=GB.

Figura 6. **Sistema de encofrado Girder GT 24**



Fuente: PERI. *GT 24 Formwork girder*. p.10.

1.3.3. **SGB (Scaffolding Great Britain)**

SGB fue fundada en 1919, y es parte de Brand Energy & Infrastructure Services. Esta empresa ha desempeñado un papel importante en el desarrollo de la industria de los andamios, principalmente porque desarrolló el sistema Cuplok, uno de los sistemas de andamios más utilizados en el mundo, el cual se puede combinar con tableros preensamblados y formar sistemas de encofrados para fundición de losas a gran altura²⁰.

²⁰ Brand Energy e Infrastructure Service. *Nuestra historia*. https://www.beis.com/es/acerca_de/historia

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La formaleta tipo mesa es una unidad de encofrado preensamblada o ensamblada en obra, que a menudo forma una sección completa de losa de piso; posteriormente es izada y trasladada a la siguiente losa; ofrece movilidad e instalación rápida para proyectos de construcción con diseños de planos regulares o largas estructuras repetitivas, por lo que es muy adecuado para losas planas²¹.

Con el sistema de mesa se busca “industrializar la ejecución de los forjados, ya que permite colocar los mismos encofrados y en la misma posición, para conseguir el producto final con la máxima seguridad y un buen acabado, reduciendo la necesidad de mano de obra”²².

La secuencia de construcción recomendada por Rupasinghe & Nolan es la siguiente:

- Las unidades de encofrado de mesa (tableros) se colocan en la posición y se sellan a lo largo de las juntas para formar el encofrado final de la losa que se va a fundir.
- El refuerzo de acero se fija en su lugar.
- El concreto se coloca y se cura.

²¹ RUPASINGHE, Rohan; NOLAN, Éanna. *Formwork for modern, efficient concrete construction*. http://www.losso.us/page14/files/MB_BRE_Formwork.pdf.

²² LÓPEZ RUBIO, Raúl. *Utilización de encofrado de mesas y autotrepas en edificios de altura*. p. 98.

- Las unidades de encofrado se bajan y se trasladan abajo de la losa recién formada hasta el borde del nivel.
- Luego con la grúa se llevan al siguiente piso y se colocan en su nueva posición.

El sistema de mesa es adaptable a cualquier tipo de losa y distribución geométrica, pudiendo incluso prepararse para el encofrado de forjados con vigas de cuelgue.

Las principales características del sistema son:

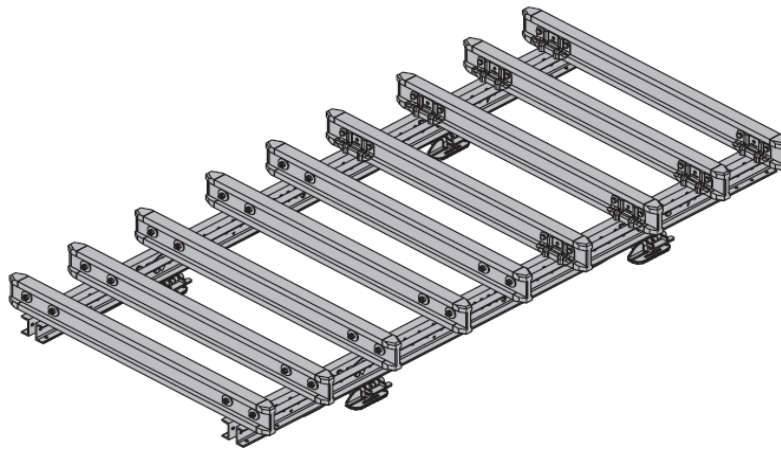
- El sistema de encofrado es reutilizable con poco desperdicio generado en comparación con el encofrado tradicional.
- Las unidades ensambladas están diseñadas para usarse durante la duración de un proyecto sin desmontarlas.
- Mayor velocidad y eficiencia de tiempo en el sitio. Se ha encontrado que los sistemas de formas de mesas son muy rentables para estructuras con losas planas.
- La naturaleza repetitiva del trabajo, combinada con la naturaleza diseñada del encofrado, permite a los equipos del sitio ajustar con precisión sus operaciones, lo que a su vez conduce a un mínimo desperdicio de concreto.

2.1. Lógica del sistema

El sistema de mesa ahorra personal y tiempos de grúa: “con el carro de desplazamiento como unidad de empuje, una sola persona lleva a cabo el desplazamiento horizontal hasta el borde de losa”²³.

El sistema es utilizado para obtener los tiempos de encofrado más breves y se adapta perfectamente incluso a requisitos estáticos y geométricos cambiantes.

Figura 7. **Entramado de sistema tipo mesa**



Fuente: DOKA. *Mesa Dokamatic*. p.7.

²³ DOKA. *Mesa Dokamatic*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999767004_2006_12_online.pdf.

2.2. Partes y sus características

El sistema está básicamente formado por un entramado de vigas primarias y secundarias unidas entre sí, con el objetivo de darle mayor rigidez. La unión entre vigas se hace por medio de conexiones metálicas y el entramado final se sostiene con puntales y trípodes necesarios para su estabilidad. A continuación, se presentan las características de cada una de las partes del sistema.

2.2.1. Viga H20

Las vigas de madera H20 son de alma llena de madera o de materiales derivados de la madera según la EN 13377 o conforme a los permisos correspondientes del Instituto Alemán de Técnicas de Construcción, destinadas exclusivamente para su uso en encofrados de muros y encofrados de losas y forjados²⁴.

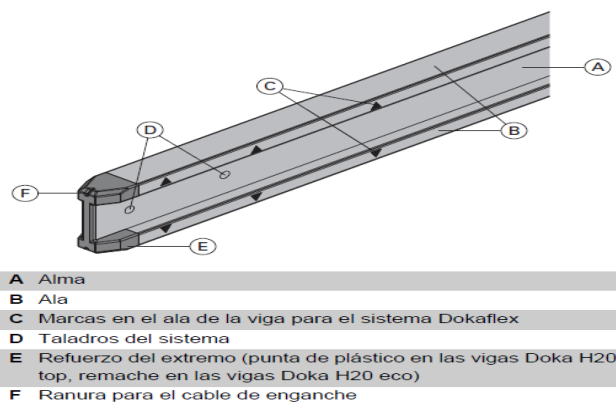
Características de la viga H20 independientemente del fabricante:

- Las vigas encofradas H20 están realizadas en madera de abeto falso (*Picea abies*) y (*Abeto abies*).
- El ala de la viga está fabricada en madera cuidadosamente seleccionada de gran calidad.

²⁴ DOKA. *Vigas de madera*. DOKA https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999791004_2010_05_online.pdf.

- La parte central de la viga, con un panel de 3 capas, garantiza una gran capacidad de carga; lo que permite su resistencia en cualquier condición climática.
- La parte central y el ala de la viga se encuentran ensambladas.
- La especial protección plástica, resistente a los golpes en las terminaciones de la viga, protege adicionalmente a las vigas de los roses mecánicos, permite su utilización repetidas veces y aumenta su durabilidad.
- La superficie de la viga se encuentra protegida con un barniz impermeable, lo cual garantiza una larga vida útil.
- Para una utilización más sencilla en cada viga, se marca su largo.

Figura 8. **Viga de madera DOKA H20**

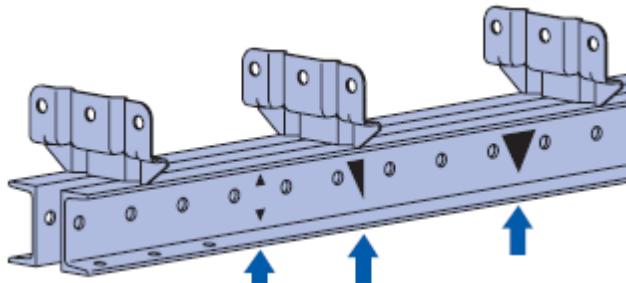


Fuente: DOKA. *Vigas de madera DOKA*. p. 7.

2.2.2. Riel de mesa

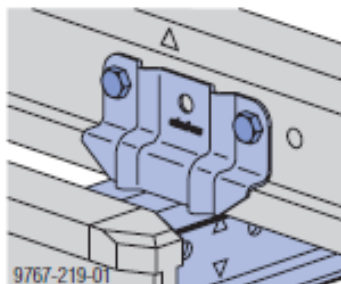
El riel de mesa consiste en una viga tipo Wale con conexiones dispuestas a cada 0,50 m, que permiten fijar las vigas H20 y formar el entramado final del tablero²⁵.

Figura 9. Riel de mesa



Fuente: DOKA. *Mesa Dokamatic*. p. 12.

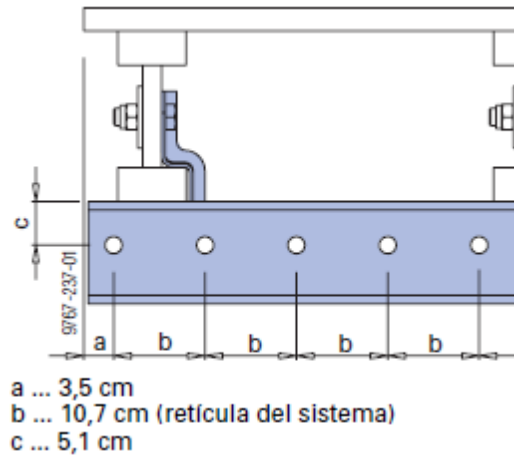
Figura 10. Conexión de riel a viga H20



Fuente: DOKA. *Mesa Dokamatic*. p. 12.

²⁵ DOKA. *Mesa Dokamatic*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999767004_2006_12_online.pdf.

Figura 11. **Conexión universal**

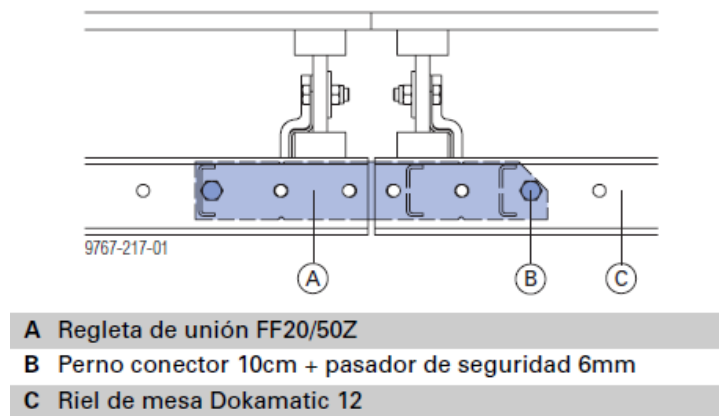


Fuente: DOKA. *Mesa Dokamatic*. p. 13.

2.2.3. Conexiones

Las conexiones entre mesas se dan mediante regletas de unión perforadas y pernos de unión de 10 cm.

Figura 12. **Conexión longitudinal entre mesas**



Fuente: DOKA. *Mesa Dokamatic*. p. 34.

2.2.4. Puntales

Un puntal telescópico regulable de acero es un apoyo provisional que trabaja a compresión y que se utiliza normalmente como soporte vertical temporal en las obras de construcción o para realizar funciones similares como evitar derrumbes en estructuras inestables²⁶.

Un puntal consta de dos tubos que pueden desplazarse telescópicamente uno dentro del otro y posee un sistema de reglaje con un pasador, insertado en los agujeros del tubo interior y un medio de ajuste fino a través de un collar roscado.

Figura 13. Puntales telescópicos metálicos



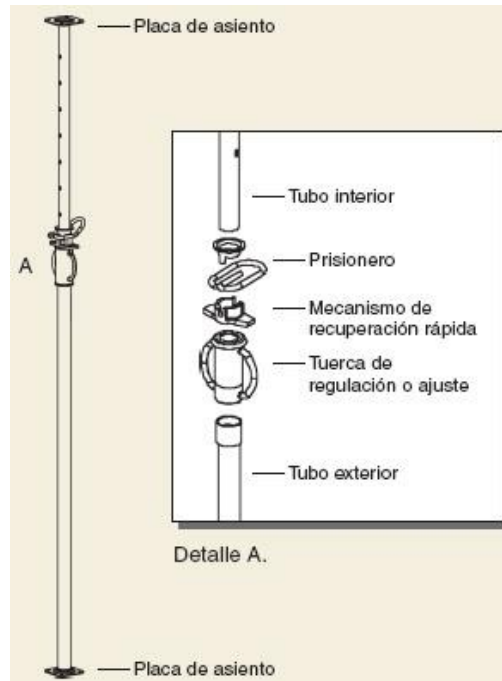
Fuente: Direct International LTD. *Formwork*. <https://formworkdirect.co.uk/product/fdp-30kn-europrops/> Consulta: 6 de mayo de 2019.

²⁶ Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. *NTP 719: encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero*. https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_719.pdf/957ffd6-f619-4c5c-953b-98192fa05ba7.

Las partes principales de un puntal telescópico regulable de acero son:

- Placa de asiento: placa que se fija perpendicularmente al eje en cada uno de los extremos de los tubos interior y exterior.
- Tubo exterior: tubo de mayor diámetro con uno de los extremos roscado.
- Tubo interior: tubo de menor diámetro provisto de agujeros para el ajuste aproximado del puntal. Se desliza dentro del tubo exterior.
- Dispositivo para el ajuste de la longitud: consta de un prisionero (perno, espiga o pasador), tuerca de ajuste y agujeros en ambos tubos, exterior e interior.
- El prisionero se inserta a través de los agujeros del tubo interior, y marca la longitud aproximada.

Figura 14. Partes principales de un puntal



Fuente: INSST. NTP 719. Encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero. p. 2.

2.2.5. Trípodes

Es un elemento metálico que permite colocar los puntales con flexibilidad en espacios reducidos, siendo mayormente en muros o en esquinas ²⁷.

Una vez montados todos los puntales a la altura de proyecto se elevan uno a uno, sirviéndose de trípodes o personal.

²⁷ LAZO ROJAS, Kris Giuliana. *Aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal y su influencia en la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras.* p. 89.

Es conveniente mantener un mínimo de trípodes, especialmente en el perímetro por mayor seguridad, hasta que se inicia la recuperación parcial del encofrado.

Figura 15. **Trípode plegable para puntal metálico**



Fuente: Doka GmbH. *Trípode plegable*. <https://shop.doka.com/shop/at/en/floor-formwork/timber-beam-floor-formwork/dokaflex/removable-folding-tripod-top/p/586155500/> Consulta: 6 de mayo de 2019.

2.2.6. Panel

El tipo de panel utilizado para el sistema de mesa regularmente es “un tablero contrachapado constituido por un número impar de capas de chapa de madera encoladas y unidas entre sí por alta presión. Generalmente, un mayor número de capas redonda en un mejor comportamiento, estabilidad en la forma y durabilidad”²⁸.

²⁸ LORENZO PLUMED, Pedro José. *Estudio de criterios de diseño y cálculo de encofrados de elementos verticales. Aplicación a varias estructuras*. p. 137.

Figura 16. **Panel contrachapado**



Fuente: PERI. *Paneles contrachapados*. <https://www.peri.es/productos/tableros/paneles-de-encofrado/peri-spruce-400.html>. Consulta: 6 de mayo de 2019.

La función del film que cubre el panel fenólico es agregar estabilidad, repeler sustancias extrañas de la superficie y proporcionar una superficie de acabado más suave y duradera. Sus principales características principales son:

- Para concretos revestidos lisos; excelentes para los sistemas de ingeniería.
- Mayor resistencia a la alcalinidad en comparación con frente HDO.
- Frente de madera dura y densa que produce una superficie/color uniforme del concreto.

- Hidratación controlada que reduce las franjas atigradas.
- Construcción equilibrada que garantiza la estabilidad del panel.
- Transferencia de vetas mínimas en la madera y sin transferencia de parches.
- Mayor cantidad de coladas y menor costo por colada.

2.3. Montaje

El montaje del sistema consta de la unión entre diversos paneles unitarios modulados hasta conseguir el conjunto deseado, tanto en longitud como en altura, incluyendo plataformas de trabajo, accesos, entre otros. Las unidades que se contemplan son montaje, traslado y colocación. Se realizarán en el suelo el mayor número de operaciones de montaje posibles, incluido el de las plataformas de trabajo, previas a la colocación *in situ* de los encofrados ²⁹.

2.3.1. Medios auxiliares

Los medios auxiliares se refieren a toda máquina, aparato, instrumento o instalación utilizada en el trabajo, que conforma la plataforma de seguridad de cumplimiento para el correcto desarrollo de las actividades de encofrado. Como señala el Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales, los principales medios auxiliares son:

²⁹ Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. *Guía práctica de encofrados*. https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf.

- Andamios de borriquetas
- Andamios tubulares
- Cadenas, estrobos y eslingas
- Castilletes de hormigonado
- Escaleras de mano
- Escaleras tubulares
- Ganchos y mordazas

2.3.2. Maquinaria y equipo

Se debe contar en obra con la siguiente maquinaria y equipo:

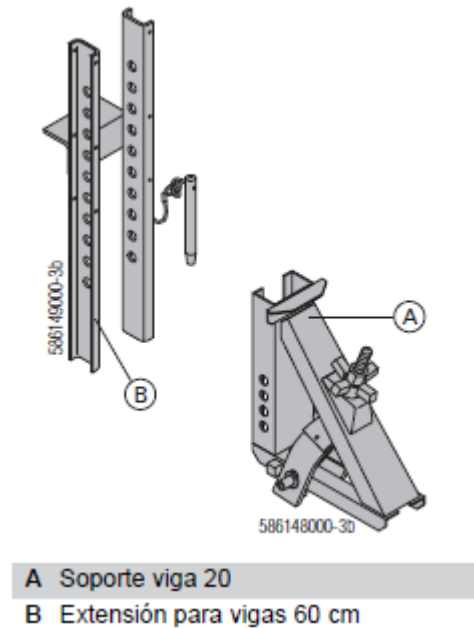
- Camión con grúa
- Grúa automotora
- Grúa torre
- Grupo electrógeno
- Plataformas elevadoras
- Sierra circular

2.3.3. Soporte de viga

El sistema de mesa cuenta con piezas que permiten encofrar de forma precisa las vigas descolgadas y los topes de losa.

En combinación con la extensión para vigas de 60 cm es posible realizar adaptaciones de altura de precisión. Se eliminan los montajes intensivos de tiempo con tablonés.

Figura 17. **Piezas metálicas de soporte para vigas**



Fuente: DOKA. *DOKAFLEX 1-2-4*. p. 30.

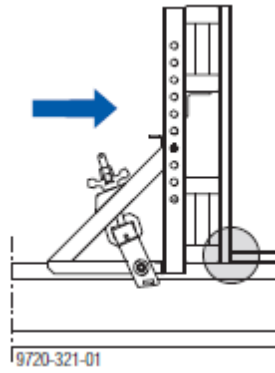
El soporte de viga presiona el encofrado, automáticamente, proporcionando superficies y cantos de concreto limpios ³⁰.

El manejo del soporte de viga consta de dos pasos:

- Colocar el soporte viga en la viga transversal H20 top y empujarlo hacia el encofrado lateral.

³⁰ DOKA. *Dokaflex 1-2-4*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776004_2014_04_online.pdf.

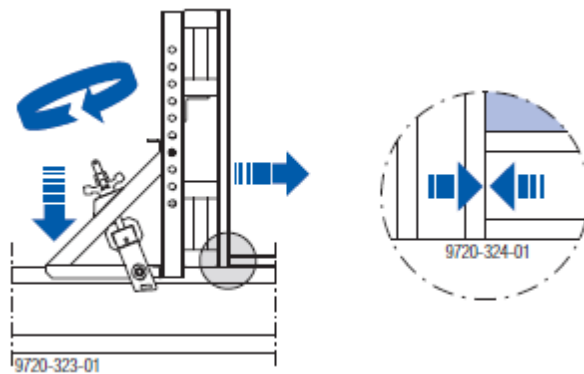
Figura 18. Manejo de soporte de viga



Fuente: DOKA. *DOKAFLEX 1-2-4*. p. 30.

- Sujetar soporte de viga.

Figura 19. Sujeción de soporte de viga



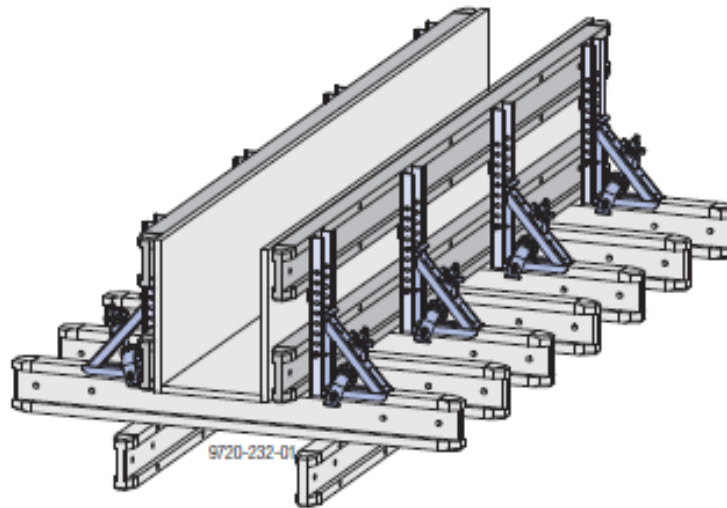
Fuente: DOKA. *DOKAFLEX 1-2-4*. p. 30.

2.3.4. Viga de encofrado horizontal

El sistema de mesa permite la disposición del encofrado de vigas principales o secundarias en sentido horizontal o vertical. Sin embargo, el sentido horizontal es el ideal cuando se funden las vigas de forma monolítica con la losa³¹.

A continuación, se muestra la disposición final de una viga en horizontal.

Figura 20. **Encofrado final de viga en horizontal**



Fuente: DOKA. *DOKAFLEX 1-2-4*. p. 30.

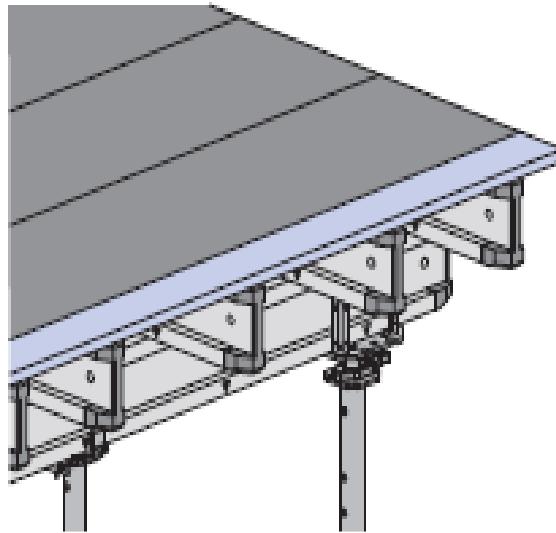
En principio, el uso horizontal de las vigas de encofrado (dirección de la carga en sentido transversal al plano del alma) está prohibido.

³¹ DOKA. *Dokaflex 1-2-4*. https://direct.doka.com/_ext/downloadcenter/downloadcenter/999776004_2014_04_online.pdf.

2.3.5. Variantes de compensación

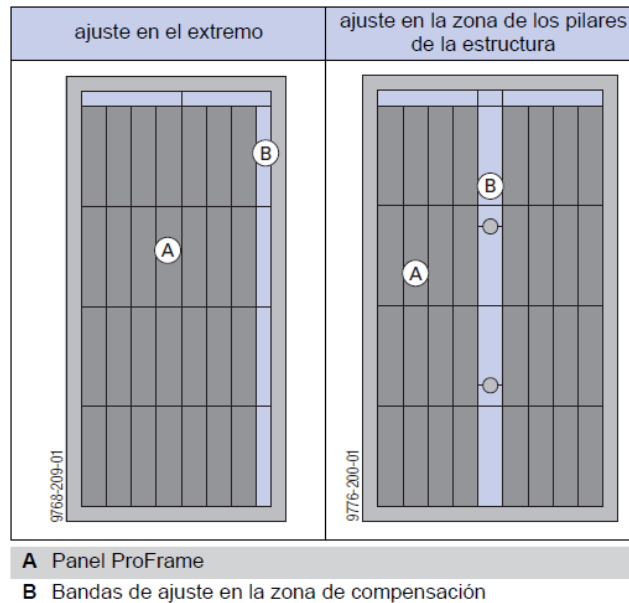
En la dirección transversal a la mesa siempre se coloca una tira de encofrado hecha de madera entre las mesas. Estas piezas de madera también son conocidas como ajustes, cuyas dimensiones son variables debido al espacio que queda entre los extremos transversales de la mesa y el perímetro de la losa.

Figura 21. **Ajuste de madera en bordes de losa**



Fuente: DOKA. *DOKAFLEX 1-2-4*. p. 20.

Figura 22. **Compensación y ajustes vistos en planta**



Fuente: DOKA. *Información para el usuario. DOKAFLEX 1-2-4.* p. 20.

2.4. Desmontaje

Para desmontar las mesas es necesario que el concreto de la losa haya alcanzado la resistencia requerida, cuyo dato es proporcionado por el ingeniero estructural en las especificaciones de cada proyecto.

Para ello se tomará como base la norma NTG 41017h1³², cuyo método de ensayo es usado para determinar la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos preparados y curados de acuerdo con las prácticas (ASTM) C 31/C

³² CONRED. COGUANOR. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.* https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h1_ASTM_C39.pdf.

31M, C 192/C 192M, C 617, y C 1231/C 1231M y los métodos de ensayo C 42/C 42M y C 873 (COGUANOR, 2010).

La operación de desmontaje inicia quitando todos los elementos que han contribuido para estabilizar las mesas y los remates de madera. Los puntales deben ser aflojados y luego se utilizará el carro de desplazamiento para movilizar las mesas hasta el borde, engancharla con la horquilla y subirla con la grúa torre hasta el nivel superior. Este proceso se repetirá hasta completar la planta.

Con el objetivo de reducir tiempos de desencofrado y montaje de las mesas, propone que “se deben realizar trabajos de desencofre y transporte de mesas al mismo tiempo, por lo que se deberán sacar las primeras mesas que se vayan a colocar en el nivel superior”³³.

2.4.1. Cuándo desencofrar

La carga de concreto de una losa (peso propio) supone habitualmente el 50 % de la carga de cálculo de la losa (peso propio + pisos y tabiquerías + sobrecarga de uso). Es por ello que se puede desencofrar una losa al haber alcanzado el 50 % de la resistencia del hormigón a 28 días.

La capacidad de carga de la losa se corresponde con dicho porcentaje. Se pueden tomar como parámetro los valores recomendados por el ACI:

³³ LÓPEZ, Raúl. *Utilización de encofrado de mesas y autotrepas en edificios de altura*. p. 122.

Tabla I. **Número acumulativo de días u horas para el desencofrado**

Tipo	Horas	Días
Muros *	12	
Columnas *	12	
Lados de vigas *	12	
Moldes para losas nervadas+		
De 760 milímetros de ancho o menos		3
Mayor a 760 mm de ancho		4

Estructura	Condiciones	Carga viva menor que carga muerta	Carga viva mayor que carga muerta
Centros de arco		14 días	7 días
Vigueta, viga			
	Luz libre menor a 3 m entre apoyos	7 días ++	4 días
	Luz libre de 3 a 6 m entre apoyos	14 días ++	7 días
	Luz libre mayor a 6 m entre apoyos	21 días ++	14 días
Losas en una dirección			
	Luz libre menor a 3 m entre apoyos	4 días ++	3 días
	Luz libre de 3 a 6 m entre apoyos	7 días ++	4 días
	Luz libre mayor a 6 m entre apoyos	10 días ++	7 días
Losas postensadas	Inmediatamente después de que todo el preesfuerzo haya sido aplicado		
<p>*Si tales encofrados también soportan el encofrado de la base de losas o de vigas, se tomará el mayor tiempo de remoción. +Del tipo que puede ser retirado si perturbar los puntales ni los encofrados. ++Si los encofrados pueden ser retirados sin perturbar los puntales, usar la mitad del tiempo pero no menos de tres días.</p>			

Fuente: elaboración propia, adaptado de ACI 347-01. *Guide to formwork for concrete.*

Para el caso de que no se desencofre o que los puntales no sean aflojados, estos seguirán en carga con el esfuerzo de compresión correspondiente a la carga de peso propio de la losa. Si se funde una losa superior, es posible que la carga de los puntales se duplique, ya que no estarán preparados para esta duplicación y pueden aparecer daños en el encofrado, los puntales y la estructura³⁴.

Este escenario hace necesaria la colocación de puntales auxiliares para soportar los esfuerzos adicionales sobre una losa de corta edad, tales como cargas de uso durante la construcción o cargas de fundición de una losa superior.

El apuntalamiento auxiliar tiene la misión del reparto y transmisión de cargas entre una losa de corta edad y una inferior. El número de puntales auxiliares que deberán colocarse depende de la relación de rigidez entre una y otra losa.

Para los siguientes casos se pueden tomar:

- Rigideces aproximadamente iguales: 40 % del total de los puntales usados para la losa que está por fundirse.
- Cuando la rigidez de la losa inferior sea mucho mayor que la de la superior: se tomará el 80 % del total de puntales en fase de fundición de la losa inferior.

³⁴ DOKA. *Dokaflex 1-2-4*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776004_2014_04_online.pdf.

3. PLANTEAMIENTOS PREVIOS

3.1. Cualificación del personal de montaje

El personal designado para montaje y que “trabaja con los correspondientes elementos del sistema, debe estar familiarizado con la documentación técnica del proveedor del encofrado y las indicaciones de seguridad que incluye” ³⁵.

Los operarios que no puedan leer o escribir la documentación técnica, deben seguir las indicaciones dadas por el ingeniero residente o por el supervisor de obra.

Debe comprobarse que los operarios han recibido previa formación teórico-práctica en materia de prevención de incidentes a través de una entidad acreditada, y que conocen el oficio o están supervisados por algún experto ³⁶.

Esta formación se complementará con la información o formación proporcionada por el fabricante del sistema que se va a emplear en obra.

³⁵ DOKA. *Mesa Dokamatic*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999767004_2006_12_online.pdf.

³⁶ Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. *Guía práctica de encofrados*. https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf.

3.2. Entorno de la obra

Se deben proveer condiciones de seguridad y salud a la obra antes de a la ejecución de la estructura, definiendo los riesgos derivados del entorno en el que se va a trabajar y las medidas adecuadas para su mitigación.

A continuación, se presentan los aspectos que se consideran más importantes y que deben ser valorados³⁷:

- Accesos al terreno
- Condiciones climatológicas
- Iluminación
- Líneas eléctricas aéreas
- Taludes
- Trabajo en zonas urbanas
- Trabajos en vías de circulación
- Acercamiento a vecinos

3.3. Transporte y almacenamiento

Las actividades de transporte y almacenamiento del sistema comprenden el arribo de los componentes, su descarga y el almacenamiento hasta su uso o acopios intermedios.

³⁷ Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. *Guía práctica de encofrados*. https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf.

DOKA propone los siguientes puntos de seguridad para el traslado de mesas ³⁸:

- Colocar y apilar los elementos solo en superficies lisas y firmes.
- Ángulo de inclinación de la cadena de enganche máximo 30°.
- Desenganchar el elemento una vez que esté apoyado con seguridad.
- No subir a la pila de elementos.
- Para transportar los elementos en camión sujetarlos con fajas o cuerdas.

Dependiendo del ritmo de trabajo puede ser necesario hacer la previsión de espacio en obra para disponer de un área específica de acopio de equipo de encofrado.

Durante el almacenamiento temporal de las secciones de mesa DOKA se recomienda tomar en cuenta lo siguiente:

- Colocarlas solo sobre superficies planas y con capacidad portante.
- No colocar nunca las mesas listas unas sobre otras; tampoco con los puntales abatidos a 90°.
- En lugares expuestos, sujetarlas contra la fuerza del viento.

3.4. Retiro de materiales

La operación de retiro de materiales contempla la devolución de los componentes utilizados en la obra, como puntales, tableros, encofrados, piezas de ensamblaje, entre otros. La retirada de materiales puede simplificarse

³⁸ DOKA. *Mesa Dokamatic*. https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999767004_2006_12_online.pdf.

mediante pallets multiuso como contenedores, pallets de transporte y contenedores de malla, las cuales aportan orden a la obra y reducen los tiempos de búsqueda de los componentes de los sistemas, las piezas pequeñas y los accesorios.

Como lo hace notar el Concrete Structures Group (2005), se debe asignar a una persona competente para planificar la carga, descarga y entrega segura, mediante la verificación de los siguientes aspectos ³⁹:

- Asegurarse de que el equipo de elevación y manipulación adecuado esté disponible para la carga y descarga segura de vehículos y que esto se verifique antes de su uso.
- Evaluar los requisitos para el acceso de vehículos y proporcionar medios de acceso seguros.
- Que la carga y descarga de vehículos esté debidamente supervisada y se lleve a cabo en áreas designadas y en un entorno seguro.
- Asegurarse de que exista un riesgo insignificante de que alguien se caiga y resulte herido durante la carga y descarga de vehículos.
- Hacer los arreglos de monitoreo adecuados para garantizar que se realiza una planificación adecuada de la carga y que se siguen en todo momento sistemas de trabajo y procedimientos seguros.

³⁹ Concrete Structures Group. *A guide to the safe transportation of formwork and falsework equipment.* https://construct.org.uk/wp-content/uploads/2017/01/Guide_to_Safe_Transportation_of_Formwork_and_Falsework.pdf.

4. PLANIFICACIÓN Y CONTROL OPERATIVO

4.1. Planificación

La planificación es la programación de todas las actividades necesarias para realizar la construcción de los elementos estructurales, arquitectónicos, entre otros, que forman parte del proyecto.

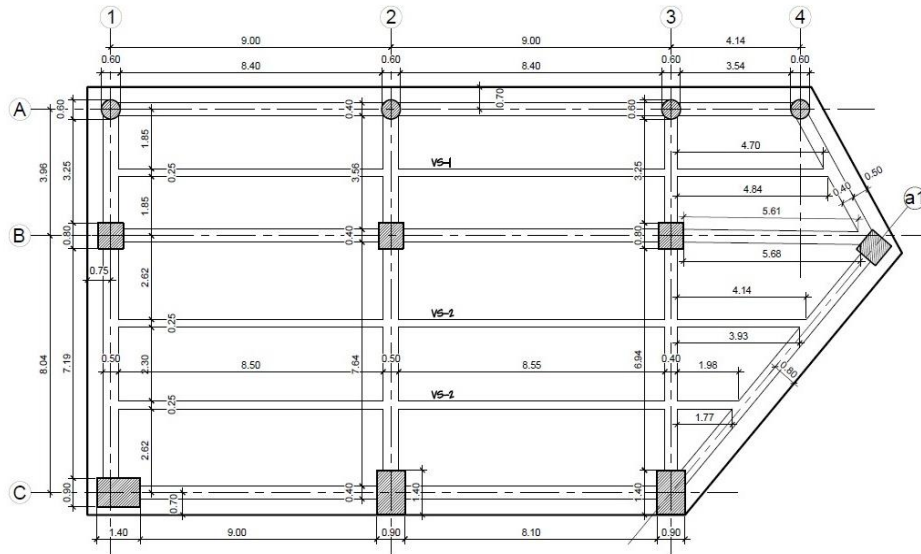
La programación maestra se hace en forma de diagrama de Gantt, estableciendo los tiempos de todas las tareas necesarias para culminar la etapa de construcción en los proyectos.

4.1.1. Descripción de caso teórico

Se plantea encofrar una losa de 314,50 m² de área, y 15 cm de espesor de forjado. La altura típica de nivel es de 2,90 m. Se tienen en total once columnas: cuatro redondas de 0,30 m de diámetro; cuatro cuadradas de 0,80 m x 0,80 m, y tres de 1,40 m x 0,90 m.

La estructura de losa está configurada por vigas principales y secundarias de 0,70 m de altura, tal y como se muestra a continuación. (Ver plano en los apéndices para mayor detalle).

Figura 23. **Planta de losa**



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

4.1.2. **Análisis del caso**

A pesar de que la losa presenta irregularidad en su geometría, el sistema de mesa sigue siendo adecuado, debido a que solo se ve limitado cuando existe irregularidad en altura, es decir, cuando la geometría de la losa varía de un nivel a otro. El tiempo de desencofrado en edificios altos, regularmente va de los diez a once (10-11) días hábiles después de su hormigonado, cuando el concreto utilizado es convencional (no cuenta con aditivos que eleven su resistencia inicial), y se ha alcanzado al menos el noventa por ciento (90 %) de la resistencia especificada del concreto a los 28 días de fraguado.

El sistema de mesa puede ser configurado para cualquier ancho de viga y altura recomendada menor a 0,90 m, sin que haya necesidad de utilizar ties.

El sistema de encofrado seleccionado es el *DOKAFLEX 1-2-4*, gracias a que soporta forjados de hasta 30 cm de espesor, apuntalamiento de hasta 5,50 m, libre elección del forro de encofrado, y cuya renta es común en el mercado nacional.

4.1.3. DOKA tipos

El análisis por computadora para determinar la configuración de encofrado se realizó mediante Doka tipos (Software de licencia gratuita que debe ser solicitado a Doka); este programa permite conocer las medidas y especificaciones adecuadas de viga H20, puntales de refuerzo y accesorios de seguridad, en función principalmente del espesor del forjado, la altura típica entre niveles y la geometría de la losa.

4.1.4. Generación de planos

Se utilizó la versión nueve de Doka tipos (9) para la generación de planos de taller, los cuales contienen las especificaciones de equipo e información sobre el montaje del sistema de encofrado. En los apéndices se muestran ejemplos modelo para la generación de planos de encofrado de vigas y losa, respectivamente.

4.2. Cuantificación de suministros

La cuantificación de suministros se obtuvo del listado de piezas generado en el análisis de encofrado de vigas y losa que Doka tipos proporciona. Las cantidades y dimensiones de los elementos de encofrado y el procedimiento para obtener el listado se muestran en los apéndices.

4.2.1. Número de usos

El número de usos de una sección de formaleta varía en función del deterioro del material de recubrimiento superficial (film) del panel, la calidad de la madera y la resina fenólica utilizada. La superficie resistente a la abrasión debe tratarse con un agente desmoldante antes de su primer uso y entre cada vertido para preservar la superficie y facilitar el desencofrado. Cuando el requerimiento de acabado sea de concreto visto de máximas exigencias, según PERI (2018) es recomendable que el panel cuente con alguna de las siguientes certificaciones de encolado ⁴⁰:

- EN 314-2 / (clase encolado 3 - exterior): para exposiciones a la intemperie de larga duración, requiere utilizar maderas con una adecuada durabilidad natural o adquirida de forma artificial mediante su tratamiento.
- DIN 68705 parte 3/tipo BFU 100: encolado a prueba de agua y ebullición.

A los paneles que han sido producidos bajo estos estándares, puede dárseles entre treinta y setenta usos.

4.3. Tiempo de ejecución

El tiempo de ejecución de la losa dependerá de las distintas actividades que conforman el proceso de construcción *in situ*, y su estimación se considera independiente de la operación de traslado y almacenamiento del equipo de encofrado. Otros factores que se deben tomar en cuenta son: la resistencia del

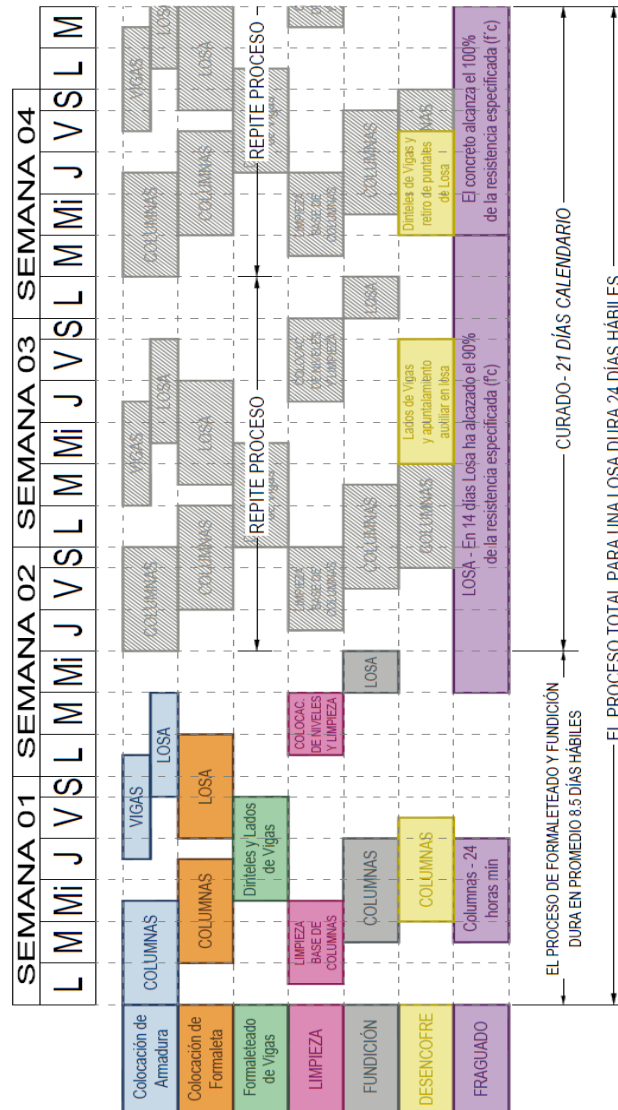
⁴⁰ PERI. *Best practice for architectural concrete*. <https://www.peri.ca/knowledge/architectural-concrete.html>.

concreto especificada (f_c en días), tiempo de colocación de armadura (día-hombre/m²) de losa y columnas/muros, tiempo de fraguado (días) y tiempo estimado de desencofrado (días).

4.3.1. Cronograma de actividades

A continuación, se muestra el cronograma de actividades realizado para estimar el tiempo de construcción de la losa.

Tabla II. Cronograma de actividades



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

4.4. Elaboración de presupuesto

La elaboración del presupuesto aquí presentado corresponde exclusivamente a los costos de renta del equipo de encofrado, considerando los factores de mayoración aplicables, según el tipo de componente del sistema.

4.4.1. Costos de renta

Se muestran a continuación el costo de renta promedio para cada elemento del sistema:

Tabla III. **Costos de renta de equipo Doka**

Material	Costo renta unidad (Q./mes)
Cabeza de descimbrado H20	6,00
Trípode plegable top	11,30
Cabeza de soporte H20 DF	3,00
Puntal Doka Eurex 20 top 300	17,00
Puntal Doka Eurex 20 top 250	15,00
Perno de resorte 16 mm	2,25
Viga Doka H20 top P 3,90 m	5,85
Viga Doka H20 top P 2,65 m	3,97
Viga Doka H20 top P 1,75 m	2,70
Viga Doka H20 top P 2,00 m	3,10

Fuente: elaboración propia.

- El costo de renta del panel fenólico y las piezas de madera por parte de obra se deben calcular por aparte, puesto que son componentes que regularmente, no se encuentran en el mercado nacional o se deben hacer a medida.

- El costo de renta del panel fenólico tendrá asignado un valor igual a: precio de compra dividido entre el número de usos a lo largo de su vida útil (entre 4 y 6 usos, dependiendo del cuidado) y multiplicado por un factor de dos, que representa los dos usos que tendrá el panel en un mes. Este último factor puede variar en función del ritmo de encofrado y desencofrado proyectado en el cronograma.

C.R.P.f. = Costo de renta panel fenólico

$$C.R.P.f. = \frac{\text{Precio de compra}}{\text{No. de usos en su vida útil}} * \text{No. de usos en un mes}$$

$$C.R.P.f. = \frac{Q240,00}{4 \text{ usos}} * 2 \frac{\text{Usos}}{\text{Mes}} = Q120/\text{mes}$$

- Las piezas de madera por parte de obra tendrán asignado un costo de renta igual a: precio de compra dividido el número de usos promedio, el cual representa la vida útil de la pieza y está basado en su desgaste y deterioro, en un intervalo de entre 10 y 15 usos, y entre 2 y 3 usos al mes. Para efectos de ilustración se tomará un factor de vida útil de la pieza de madera igual a 13 y 2 usos por mes:

C.R.P.m. = Costo de renta de pieza de madera

$$C.R.P.m. = \frac{\text{Precio de compra/metro lineal}}{\text{No. de usos en su vida útil}} * \text{No. de usos al mes}$$

$$C.R.P.m. = \frac{Q26,70}{10 \text{ usos}} * 2 \frac{\text{Usos}}{\text{Mes}} = Q5,34/\text{mes}$$

4.4.2. Factores usados

En el proceso de cuantificación de los distintos componentes del sistema de encofrado deben considerarse factores de mayoración que permitan cubrir demandas por sobrecarga de encofrado y peso propio de losas fundidas a temprana edad, o factores de reducción en el caso de utilizar un panel contrachapado de mayor tamaño al utilizado en el sistema original. Los factores considerados se muestran a continuación, tomando como cantidad base las obtenidas en el análisis del encofrado y contenidas en los planos de montaje. (Ver apéndice 7 para mayor detalle).

Tabla IV. **Cantidad de materiales de encofrado sin factor**

Material	Cantidad
Cabeza de descimbrado H20	133
Trípode plegable top	132
Cabeza de soporte H20 DF	100
Puntal Doka Eurex 20 top 300	14
Puntal Doka Eurex 20 top 250	219
Perno de resorte 16 mm	133
Viga Doka H20 top P 3,90 m	44
Viga Doka H20 top P 2,65 m	16
Viga Doka H20 top P 2,00 m	133
Viga Doka H20 top P 1,75 m	20
Pieza de madera (8x20 cm) de 1,50 m	5
Pieza de madera (8x20 cm) de 1,25 m	90
Pieza de madera (8x20 cm) de 1,00 m	4
Tablero de encofrado Doka	124
Panel Proframe	160

Fuente: elaboración propia.

- Apuntalamiento auxiliar por sobrecarga de encofrado y fundición de la losa del siguiente nivel: se tomará el caso en que las rigideces entre losas son aproximadamente iguales, por tanto, se aumentará en un factor de 40 % el total de los puntales usados para la losa que está por fundirse. La muestra de cálculo se presenta a continuación:

- Puntales Doka Eurex 20 Top 300:

$$14 \text{ puntales} * 1,40 = 19,6 \cong 20 \text{ puntales}$$

- Puntales Doka Eurex 20 Top 250:

$$219 \text{ puntales} * 1,40 = 306,6 \cong 307 \text{ puntales}$$

- Conversión del número total de tableros de encofrado Doka y/o panel Proframe a panel fenólico contrachapado, que por sus dimensiones (1,22 x 2,44 m), equivale a 2,97 veces los ya mencionados.

$$P. f. = \text{No. de paneles fenólicos}$$

$$P. f. = \frac{\text{Tableros Doka} + \text{Panel Proframe}}{2,97}$$

$$P. f. = \frac{284}{2,97} = 95,6 \cong 96 \text{ paneles fenólicos}$$

- 3 % adicional al número total de paneles fenólicos contrachapados:

$$P.f.t. = \text{No. de paneles fenólicos total}$$

$$P.f.t = (P.f.) * 1,03 \cong 99$$

- Piezas de madera por parte de obra de 8x20 cm y de longitud menor a 1,75 m, se deben sustituir cada unidad por dos de 10x10 cm.

Tabla V. **Costo de renta mensual con cantidades mayoradas**

Material	Cantidad	Costo renta unidad (Q./mes)	Costo total (Q./mes)
Cabeza de descimbrado H20	133	6,00	798,00
Trípode plegable top	132	11,30	1 491,60
Cabeza de soporte H20 DF	100	3,00	300,00
Puntal Doka Eurex 20 top 300	20	17,00	340,00
Puntal Doka Eurex 20 top 250	307	15,00	4 605,00
Perno de resorte 16 mm	133	2,25	299,25
Viga Doka H20 top P 3,90 m	44	5,85	257,40
Viga Doka H20 top P 2,65 m	16	3,97	63,52
Viga Doka H20 top P 2,00 m	133	3,10	412,30
Viga Doka H20 top P 1,75 m	20	2,70	54,00
Pieza de madera (10x10 cm) de 1,50 m	10	8,01	80,10
Pieza de madera (10x10 cm) de 1,25 m	180	6,68	1 202,40
Pieza de madera (10x10 cm) de 1,00 m	8	5,34	42,72
Panel fenólico contrachapado	99	120,00	1 880,00
Costo total mensual			Q21 826,29

Fuente: elaboración propia.

4.5. Matriz de evaluación y PPC

Teniendo ya elaborado el plan de trabajo semanal se procederá a medir el cumplimiento de lo programado mediante el porcentaje de programa cumplido (PPC), el cual compara lo que se planeó hacer según el programa de trabajo semanal contra lo que realmente fue hecho en obra.

4.5.1. Cálculo del porcentaje de programa cumplido (PPC)

Para calcular el PPC es necesario tener el total de actividades que realmente se pudieron completar en obra; por tal motivo se debe llevar un formato donde cada actividad programada tendrá solo un estado de dos posibles: actividad completada o no completada; de esta forma se obtienen los totales de actividades cumplidas y no cumplidas⁴¹.

El PPC se calcula de la siguiente forma:

$$PPC = \frac{(Total\ de\ actividades\ cumplidas)}{(Total\ de\ actividades\ programadas)} \times (100)$$

4.5.2. Análisis de actividades cumplidas

El análisis de los resultados obtenidos al culminar cada semana se puede ir graficando para evidenciar el rendimiento del cronograma a lo largo de la ejecución del proyecto en su fase constructiva, colocando en el eje horizontal las semanas y en el vertical el PPC correspondiente a cada una. Con el gráfico se

⁴¹ PORRAS DÍAZ, Hernán; SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanni; GALVIS GUERRA, José Alberto. Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. AVANCES. p. 42.

podrá analizar que un aumento en el PPC de una semana a otra conduce a un mejor rendimiento en la ejecución de las labores por parte de las cuadrillas de trabajo.

4.5.3. Análisis de actividades programadas

Se propone realizar una reunión antes de dar inicio a cada semana de trabajo para planificar y discutir asuntos del cronograma semanal. A dicha reunión deben asistir el administrador de obra, el jefe de obra o encargado de la planificación, los supervisores y capataces, el representante de la oficina técnica y los subcontratistas. Los asuntos a tratar serán:

- Revisar y discutir el PPC de la semana anterior.
- Analizar las causas y posibles soluciones al incumplimiento de tareas programadas.
- Hacer un paralelo entre objetivos propuestos y alcanzados en el proyecto.
- Realizar toda la secuencia necesaria para tener el plan de trabajo de la siguiente semana.

4.5.4. Elaboración de la matriz

El PPC es una forma de darle seguimiento a las actividades semanales programadas que, al mismo tiempo, es el conjunto de actividades que realmente puede hacerse de una manera específica. El PPC permite controlar más de cerca

los impedimentos que eviten la ejecución de las actividades en obra y aumentar la probabilidad de que se lleven a cabo ⁴².

Por tanto, la recomendación general es que el PPC sea representado de manera gráfica y ubicado en un punto de la obra en que todos los involucrados puedan observar el avance diario en las actividades que les corresponde. El método que se propone es generar una matriz de seguimiento, que consta del listado de los contratistas o grupos de trabajo (cuadrillas) involucrados en el proceso de construcción, y las actividades por día que cada grupo se ha comprometido a realizar ante los demás grupos en una reunión general.

Las actividades deben ser programadas para un periodo específico (semanal, catorcena, entre otros) o bien para el tiempo que dura el proceso. En el presente caso las actividades listadas representan la totalidad del proceso de construcción de columnas y losa, para dar una perspectiva más amplia acerca del caso y que pueda ser utilizada como referencia para elementos reales de características similares. A continuación se muestra la matriz de seguimiento en la que se representan todos los grupos de trabajo involucrados y las distintas actividades diarias programadas en el proceso constructivo. Ver planos en apéndice 7 para mayor detalle del orden de encofrado de losa.

El seguimiento debe realizarse de manera diaria evaluando el desarrollo de las actividades y marcando cada una de ellas con una “X” si han sido “cumplidas” o sin marcar para las actividades “No cumplidas”. El número total de actividades representa el cien por ciento del renglón de cada grupo o contratista,

⁴² PORRAS DÍAZ, Hernán; SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanni; GALVIS GUERRA, José Alberto. Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción: una revisión actual. *AVANCES*. p. 42.

por lo que cada actividad "no cumplida" se descontará en proporción a su equivalente individual.

Tabla VI. Matriz de seguimiento

Cuadrilla de	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	%
Seguridad Industrial	Revisión de andamios utilizados por armadores	Revisión de andamios utilizados por armadores y barandillas en columnas y línea de vida en vigas	Revisión de andamios utilizados por armadores, barandillas en columnas y línea de vida en vigas	Revisión de barandillas en columnas y línea de vida en vigas	Revisión de línea de vida en vigas	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa		
	Armado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Armado de Columnas B1, B2, B3, A1	Armado de Columnas A2, A3 y A4	Armado de Vigas del eje C, eje a1 y Vigas VS-2	Armado de Vigas del eje B, eje 1, B2, C2 y B3-C3	Armado de Vigas del eje A, A2-B2, A3-B3, A4-a1 y Viga VS-1	Armado de Vigas del eje A4-a1 y Viga VS-1	Armado de Vigas del eje A4-a1 y Viga VS-1		
Armadores								Armado de Losa, paneles B1, B2, B3, B4, B5 y B6	Armado de Losa, paneles A1, A2, A3, A4, A5 y A6	
	Mantenimiento y limpieza de la base de columnas C1, C2, C3 y B-a1	Mantenimiento y limpieza de la base de columnas B1, B2, B3, A1	Mantenimiento y limpieza de la base de columnas A2, A3 y A4			Limpieza de Vigas	Limpieza de losa entre ejes B y C	Limpieza de losa entre ejes A y B		
Ayudantes		Disposición de ripo de columnas	Disposición de ripo de columnas	Disposición de ripo de columnas					Disposición de ripo de Losa	
		Encofrado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Encofrado de Columnas B1, B2, B3, A1	Encofrado de Columnas A2, A3 y A4						
Albañiles			Colocación de Dinteles de Vigas del eje C, eje a1 y Vigas VS-2	Colocación de Dinteles de Vigas del eje B, eje 1, B2-C2 y B3-C3	Colocación de Dinteles de Vigas del eje A, A2-B2, A3-B3, A4-a1 y Viga VS-1		Colocación de Niveles en área de losa, paneles C1, C2, C3, B4, B5 y B6	Colocación de Niveles en área de losa, paneles B1, B2, B3, A1, A2, A3, A4, A5 y A6		
					Encofrado de Losa, paneles C1, C2, C3, B4, B5 y B6	Encofrado de Losa, paneles B1, B2 y B3	Encofrado de Losa, paneles A1, A2, A3, A4, A5 y A6			
Colocación de Concreto		Fundición de Columnas C1, C2, C3 y B-a1 (A partir de las 12 pm)	Fundición de Columnas B1, B2, B3, A1 (A partir de las 12 pm)	Fundición de Columnas A2, A3 y A4 (A partir de las 12 pm)					Fundición de losa	
	Desencofrado		Desencofrado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Desencofrado de Columnas B1, B2, B3, A1	Desencofrado de Columnas A2, A3 y A4					
									Total	

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla VII. Ejemplo de marcado en matriz

Cuadrilla de	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Lunes	Martes	Miércoles	PPC (%)
Seguridad Industrial	Revisión de andamios utilizados por armadores	Revisión de andamios utilizados por armadores y barandillas en columnas	Revisión de andamios utilizados por armadores, barandillas en columnas y líneas de vida en vigas	Revisión de barandillas en columnas y línea de vida en vigas	Revisión de línea de vida en vigas	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa	Revisión de línea de vida y barandilla de seguridad en perímetro de losa		100
Armadores	Armado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Armado de Columnas B1, B2, B3, A1	Armado de Columnas A2, A3 y A4	Armado de Vigas del eje C, eje a1 y Vigas VS-2	Armado de Vigas del eje B, eje a1, B2, C2 y B3-C3	Armado de Vigas del eje A, A2-B2, A3-B3, A4-a1 y Viga VS-1	Armado de Vigas del eje A4-a1 y Viga VS-1	Armado de Losa, paneles B1, B2, B3, B4, B5 y B6	Armado de Losa, paneles A2, A3, A4, A5 y A6	80
Ayudantes	Mantenido y limpieza de la base de columnas C1, C2, C3 y B-a1	Mantenido y limpieza de la base de columnas B1, B2, B3, A1	Mantenido y limpieza de la base de columnas A2, A3 y A4			Limpeza de Vigas	Limpeza de losa entre ejes B y C	Limpeza de losa entre ejes A y B		80
Albañiles		Encofrado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Encofrado de Columnas B1, B2, B3, A1	Encofrado de Columnas A2, A3 y A4	Colocación de Dinteles de Vigas del eje B, eje 1, B2-C2 y B3-C3	Colocación de Dinteles de Vigas del eje A2-B2, A3-B3, A4-a1 y Viga VS-1	Colocación de Niveles en área de losa, paneles C1, C2, C3, B4, B5 y B6	Colocación de Niveles en área de losa, paneles B1, B2, B3, A1, A2, A3, A4, A5 y A6		91
Colocación de Concreto		Fundición de Columnas C1, C2, C3 y B-a1 (A partir de las 12 pm)	Fundición de Columnas B1, B2, B3, A1 (A partir de las 12 pm)	Fundición de Columnas A2, A3 y A4 (A partir de las 12 pm)			Encofrado de Losa, paneles C1, C2, C3, B4, B5 y B6	Encofrado de Losa, paneles B1, B2, B3, A4, A5 y A6		75
Desencofrado			Desencofrado de Columnas C1, C2, C3 y B-a1	Desencofrado de Columnas B1, B2, B3, A1	Desencofrado de Columnas A2, A3 y A4					100
									Total	88

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

En el presente ejemplo, la cuadrilla de armadores no cumplió en tiempo con dos actividades de diez programadas. Esto no quiere decir que las actividades no se hayan realizado, sino que se realizaron fuera de tiempo.

Nótese que en los trabajos de encofrado y colocación de concreto de columnas del día miércoles se ha colocado una flecha en rojo, que significa que la actividad se ha adelantado. Puesto que el objetivo es que todos los grupos de trabajo sean tan predecibles como sea posible, el que una actividad se adelante es tan malo para el cronograma como que se atrase, en el contexto de calibrar los tiempos de trabajo. Es por eso que las actividades que se adelantan cuentan como “No cumplidas”.

Se recomienda la verificación de que las actividades estén realmente finalizadas, y solo así se permita que el grupo que sigue en la línea del proceso ingrese al área correspondiente; de lo contrario, el objetivo de medir la predictibilidad de los grupos no será posible.

Se dice que aquel grupo o contratista que obtenga un PPC mayor a los demás es más predecible, y como consecuencia la incertidumbre de no poder realizar sus actividades se ha reducido, evitando así retrasos en el proceso constructivo.

5. SEGURIDAD INDUSTRIAL

5.1. Valoración de riesgos

Cada vez hay más argumentos a favor en que los profesionales de la construcción deban ocuparse de elaborar, documentar, poner en práctica y revisar una valoración de riesgos en cualquier obra. Esta documentación sirve de base para la valoración de riesgos específica de la obra y las instrucciones para que el operario disponga y utilice durante el montaje del encofrado. La valoración de los riesgos durante el control operativo se basa en el análisis de los factores higiénicos y ergonómicos.

5.1.1. Riesgos higiénicos

A continuación, se presentan las causas principales de riesgos higiénicos en obra, y las medidas recomendadas para mitigar sus efectos⁴³:

- Exposición a temperaturas ambientales extremas
 - Adaptar la jornada de trabajo a la climatología
 - Utilización de ropa adecuada

- Contacto o inhalación de sustancias nocivas o corrosivas, aditivos, líquidos para limpieza de tableros, resinas, entre otros.

⁴³ Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. *Guía práctica de encofrados*. https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf.

- El uso de estos productos se hará de acuerdo con las especificaciones del fabricante facilitadas en la ficha técnica.
- Protección respiratoria.
- Corte de materiales por vía húmeda.

- Nivel sonoro elevado durante el uso de equipos de trabajo y entorno de obra.
 - En aquellos procesos que tengan un nivel sonoro elevado se cumplirá con la legislación vigente.
 - Se optará por equipos de trabajo de baja emisión sonora.

- Vibraciones: durante el proceso de hormigonado, durante el uso de rotomartillos.
 - Selección de equipos de trabajo con sistemas de atenuación de la vibración.
 - Medidas organizativas.

5.1.2. Riesgos ergonómicos

- Sobreesfuerzos: sobrecargas y posturales.
 - Se usará maquinaria para el transporte de materiales en lugar de transportarlos a mano, y si no es posible, se solicitará ayuda a otros compañeros.
 - Elección de envases de productos que no superen los 25 kg (saco de cemento, por ejemplo).
 - Formación específica en manipulación manual de cargas.

5.2. Equipo de protección personal (EPP)

Los equipos de protección individual utilizados por los trabajadores dispondrán de marcado de conformidad europea “CE”, y deben cumplir con disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección personal.

Siempre se utilizará:

- Casco de seguridad
- Botas de seguridad
- Guantes
- Ropa de trabajo

En su caso, y cuando sea necesario por el tipo de trabajo a ejecutar, se utilizarán entre otros:

- Gafas o pantallas de seguridad (riesgo para los ojos)
- Protectores auditivos (elevada exposición al ruido)
- Mascarilla respiratoria (riesgo de emanaciones nocivas)
- Arnés de seguridad (trabajos en altura con peligro de caída)
- Ropa de abrigo o ropa de lluvia (capa y botas de hule)
- Chaleco reflectante.

5.3. Normativas

Las normas de seguridad industrial son de vital importancia para proveer un ambiente laboral seguro para los trabajadores y su bienestar mental. Las normas son diseñadas no solo para proteger al trabajador, sino también en

beneficio del ambiente natural que rodea las instalaciones; su observación es de carácter obligatorio dentro de las instalaciones. Es un hecho que la aplicación de normativas de seguridad reduce los riesgos de accidentes.

5.3.1. Normativas internacionales

Las normativas internacionales más relevantes en tema de seguridad industrial son las OHSAS 18001 e ISO 45001. La norma ISO 45001 es “la primera norma internacional que determina los requisitos básicos para implementar un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, que permite a las empresas desarrollarlo de forma integrada con los requisitos establecidos en otras normas”⁴⁴.

Por su parte, el modelo de seguridad y salud que propone la norma OHSAS 18001 es similar y compatible con los sistemas de gestión basados en las normas de medio ambiente ISO 14001 y calidad ISO 9001 y, por tanto, basado en el compromiso de mejora continua y el ciclo de Deming (planificar-hacer-verificar-actuar).

Una de las principales mejoras de la versión de 2007 frente a su predecesora está dirigida a facilitar su compatibilidad con la norma ISO 14001.

La norma OHSAS 18001, al igual que la norma ISO 14001, contempla los siguientes requisitos, agrupados en cuatro grandes apartados: política,

⁴⁴ FREMAP. *Guía para la implementación de la norma ISO 45001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo*. https://www.diba.cat/documents/467843/172263104/GUIA_IMPLEMENTACION_ISO45001.pdf/5da61652-f814-4aa7-9f45-01cf8117c772.

planificación, implementación y operación, verificación y revisión por la dirección ⁴⁵.

5.3.2. Normativas vigentes/protección laboral

A nivel nacional, las normativas vigentes están dadas por el Acuerdo Gubernativo 229-2014, el cual tiene como objetivo regular las condiciones generales de seguridad y salud ocupacional, en el que ejecutan sus labores los trabajadores.

Tanto para el sector formal privado como público, se hace necesaria la observación de los reglamentos y acuerdos emitidos por el Instituto Guatemalteco de Seguridad Social (IGSS), principalmente el Reglamento de seguridad e higiene, el cual es auditado por el Ministerio de Trabajo y Previsión Social, con base legal en el Acuerdo Gubernativo anteriormente citado (229-2014) y sus reformas (Acuerdo Gubernativo 51-2015 y 199-2015).

Entre las instituciones que han desarrollado actividades de normalización que contribuyen a elevar los estándares de seguridad industrial, cuyo uso y aplicación es voluntaria están: la Comisión Guatemalteca de Normas (COGUANOR), mediante la publicación de Normas Técnicas Guatemaltecas; la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), mediante su guía y reglamentos legales.

⁴⁵ LASCORZ, Antony. ¿Por qué implementar un sistema OHSAS 18001? *Revista mensual de la Asociación Española para la Calidad*. <http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Por%20qu%C3%A9%20implementar%20un%20sistema%20OHSAS%2018001.pdf>.

CONCLUSIONES

1. Las principales ventajas del sistema de mesa que se lograron identificar en comparación con el sistema tradicional de madera corresponden a la mínima producción de desperdicios, rapidez en el montaje debido a la naturaleza repetitiva del trabajo y seguridad operativa por ser un conjunto razonablemente robusto.
2. Se elaboró un cronograma de ejecución que contempla a detalle la documentación técnica de cantidades de suministro, montaje y desmontaje del sistema, permitiendo generar una propuesta competitiva en los plazos previstos.
3. Se elaboró una matriz de seguimiento mediante la valoración específica de las actividades programadas, permitiendo así el control sobre aquellas de menor predictibilidad con el objetivo de reducir la probabilidad de retrasos en la realización de trabajos en obra.
4. Se presentaron las normas de salud y seguridad industrial que permiten evaluar los riesgos existentes en obra y establecer medidas correctivas de forma previa al montaje del sistema.

RECOMENDACIONES

1. En cada una de las puestas y desmontaje del encofrado hay que revisar el estado del mismo, prestando especial atención en aquellos elementos que sean estructurales y en los puntos de anclaje a los elementos resistentes del hormigón. Para ello se debe designar a una persona responsable que realice la revisión cada vez que se lleve a cabo el proceso de encofrado.
2. Mantener en todo momento el orden y la limpieza, puesto que cualquier elemento que pueda estar ubicado en los espacios destinados a caminamiento podría provocar un accidente.

BIBLIOGRAFÍA

1. American Concrete Institute. *Concrete forming. Desing/construction guide*. [en línea]. <<https://jasperwoodproducts.com/pdf/Concrete%20Forming%20APA%20Brochure.pdf>>. [Consulta: 14 de mayo de 2020].
2. ANSARI, Sadrudi; KUDALE, Sudhakar. *Comparative analysis of Mivan formwork building and conventional formwork building based on cost and duration*. [en línea]. <https://www.academia.edu/27579318/Comparative_Analysis_of_MIVAN_Formwork_Building_and_Conventional_Formwork_Building_Based_on_Cost_and_Duration>. [Consulta: 14 de mayo de 2020].
3. Brand Energy e Infraestructure Service. *Nuestra historia*. [en línea]. <https://www.beis.com/es/acerca_de/historia>. [Consulta: 12 de marzo de 2020].
4. Concrete Structures Group. *A guide to the safe transportation of formwork and falsework equipment*. [en línea]. <https://construct.org.uk/wp-content/uploads/2017/01/Guide_to_Safe_Transportion_of_Formwork_and_Falsework.pdf>. [Consulta: 12 de mayo de 2020].
5. CONRED. COGUANOR. *Método de ensayo. Determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. [en línea]. <https://conred.gob.gt/normas/NRD3/2_concreto/NTG_41017_h1_ASTM_C39.pdf>. [Consulta: 15 de mayo de 2020].

6. DE LA PEÑA AZNAR, Juan. *Estudio sobre encofrados de madera modernos. Informes de la construcción.* [en línea]. <<https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/2364>>. [Consulta: 4 de junio de 2020].
7. DOKA. *Mesa Dokamatic.* [en línea]. <https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999767004_2006_12_online.pdf>. [Consulta: 10 de junio de 2020].
8. _____. *Vigas de madera DOKA.* [en línea]. <https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999791004_2010_05_online.pdf>. [Consulta: 12 de mayo de 2020].
9. _____. *Dokaflex 1-2-4.* [en línea]. <https://direct.doka.com/_ext/downloads/downloadcenter/999776004_2014_04_online.pdf>. [Consulta: 18 de junio de 2020].
10. _____. *Understanding. The secret to more than 150 years of customer benefit.* [en línea]. <https://www.doka.com/en/about/about_doka?changeCountry=GB>. [Consulta: 12 de junio de 2020].
11. FREMAP. *Guía para la implementación de la norma ISO 45001: Sistemas de gestión de la seguridad y salud en el trabajo.* [en línea]. <https://www.diba.cat/documents/467843/172263104/GUIA_IMPLEMENTACION_ISO45001.pdf/5da61652-f814-4aa7-9f45-01cf8117c772>. [Consulta: 21 de junio de 2020].

12. Health and Safety Authority of Ireland. *Code of practice for access and working scaffolds*. [en línea]. Ireland: Health and Safety Authority. <https://www.hsa.ie/eng/publications_and_forms/publications/construction/cop_for_access_and_working_scaffolds1.pdf>. [Consulta: 12 de junio de 2020].
13. HERRERA NAVARRO, Álvaro Armando; MORNO FLORES, Jearson Arturo; ROBLES MENDOZA, Nelson Saúl. *Diagnóstico del uso de encofrado en elementos estructurales de concreto para los diferentes tipos de edificaciones en la zona oriental de El Salvador*. Trabajo de graduación de pregrado, Universidad de El Salvador. 2014. 361 p.
14. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo. *NTP 719: encofrado horizontal. Puntales telescópicos de acero*. [en línea]. <https://www.insst.es/documents/94886/327446/ntp_719.pdf/957fffd6-f619-4c5c-953b-98192fa05ba7>. [Consulta: 12 de junio de 2020].
15. Instituto Vasco de Seguridad y Salud Laborales. *Guía práctica de encofrados*. [en línea]. <https://www.osalan.euskadi.eus/contenidos/libro/seguridad_200720/es_200720/adjuntos/seguridad_200720.pdf>. [Consulta: 5 de mayo de 2020].
16. LASCORZ, Antony. *¿Por qué implementar un sistema OHSAS 18001? Revista mensual de la Asociación Española para la Calidad. España, No. 3*. [en línea]. <<http://biblioteca.esucomex.cl/RCA/Por%20qu%C3%A9%20implementar%20un%20sistema%20OHSAS%2018001.pdf>>. [Consulta: 12 de febrero de 2020].

17. LAZO ROJAS, Kris Giuliana. *Aplicación de un sistema de encofrados con desplazamiento horizontal y su influencia en la construcción del centro comercial Open Plaza Huancayo en la etapa de estructuras*. Tesis de Ingeniería Civil, Universidad Continental, Perú. 2018. 125 p.
18. LÓPEZ RUBIO, Raúl. *Utilización de encofrado de mesas y autotrepas en edificios de altura*. Tesis de pregrado, Facultad de Arquitectura, Universitat Politècnica de Valencia. Repositorio Institucional UPV. 2016. 170 p.
19. LORENZO PLUMED, Pedro José. *Estudio de criterios de diseño y cálculo de encofrados de elementos verticales. Aplicación a varias estructuras*. Trabajo final de grado. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. 248 p.
20. NOLAN, Éanna. *Innovation in concrete frame construction*. 1a ed. UK: IHS BRE Press, 2015. 44 p.
21. PERI. *Skydeck Panel Salb Formwork: Assembly instructions for standard configuration*. [en línea]. <https://tuffply.com/manuals/Peri_SKYDECK_Assembly_Instructions_english.pdf>. [Consulta: 10 de abril de 2020].
22. _____. *Best practice for architectural concrete*. [en línea]. <<https://www.peri.ca/knowledge/architectural-concrete.html>>. [Consulta: 14 de abril de 2020].

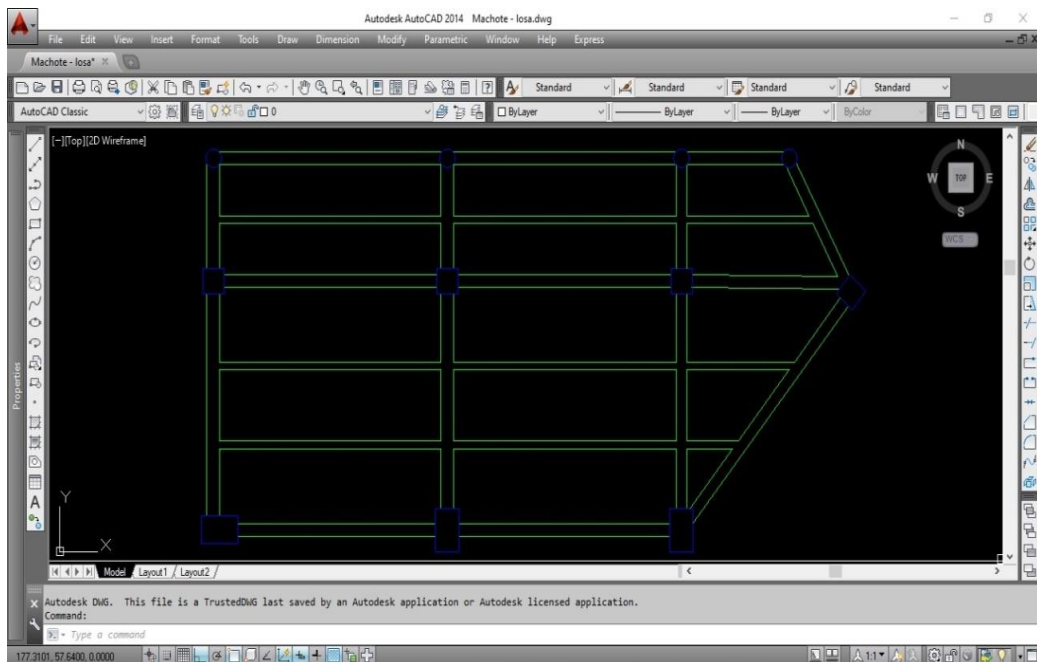
23. PORRAS DÍAZ, Hernán; SÁNCHEZ RIVERA, Omar Giovanni; GALVIS GUERRA, José Alberto. *Filosofía Lean Construction para la gestión de proyectos de construcción*: [en línea]. <<https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/avances/article/view/298>>. [Consulta: 12 de abril de 2020].
24. RUPASINGHE, Rohan; NOLAN, Éanna. *Formwork for modern, efficient concrete construction*. [en línea]. <http://www.losso.us/page/14/files/MB_BRE_Formwork.pdf>. [Consulta: 18 de abril de 2020].
25. SREENATH, V; PRAKASH, B; SEBASTIAN, A. y CHENGAPPA, K. *Suitability of modular aluminium formwork in RCC framed structures*. [en línea]. <<https://manipal.pure.elsevier.com/en/publications/suitability-of-modular-aluminium-formwork-in-rcc-framed-structure>>. [Consulta: 14 de mayo de 2020].
26. VIUNOV, Valerii. *Comparison of scaffolding systems in Finland and in Rusia*. [en línea]. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/33631/Viunov_Valerii.pdf?sequence=1>. [Consulta: 12 de mayo de 2020].
27. Wall-ties & Forms. *Ventajas y beneficios en el uso de los moldes de aluminio*. [en línea]. <<http://www.moldes-aluminios.com/Beneficio.html>>. [Consulta: 14 de junio de 2020].

APÉNDICES

En las siguientes páginas se presenta la documentación técnica que dé soporte cuando se necesite conocer la estructura de aplicación para generar los planos de montaje, secciones y perspectivas esquemáticas, especificaciones técnicas y listado de piezas y cantidades para el encofrado de vigas y losa, utilizando el sistema *Dokaflex 1-2-4*, a través del programa DOKA tipos 9.

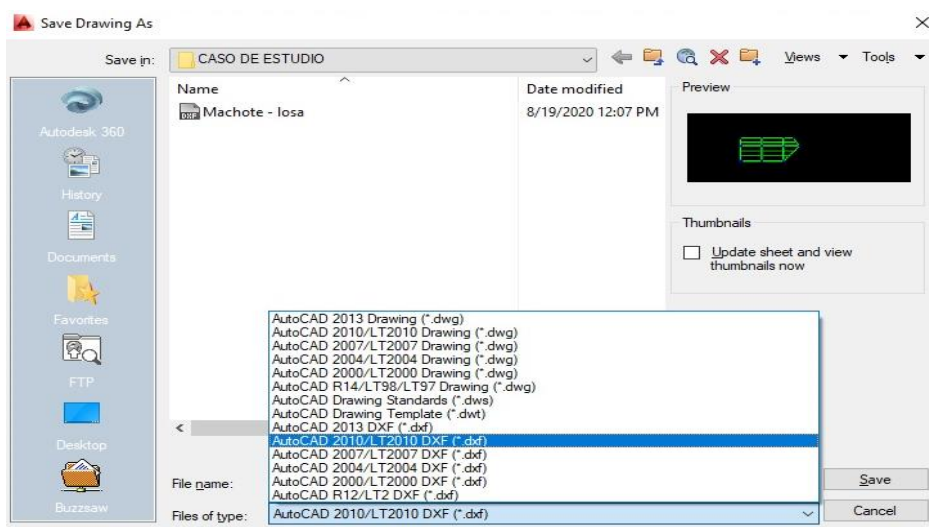
Apéndice 1. **Plano matriz .dxf**

Generar en AutoCAD o en otro programa de dibujo por computadora el plano matriz de la losa, el cual deberá incluir únicamente columnas y vigas.



Continuación de apéndice 1.

Guardar archivo en formato .dxf



Fuente: elaboración propia, empleando AutoCAD.

Apéndice 2. Importar archivo .dxf a TIPOS 9

En la pestaña “Inicio”, dar click en “Importar”

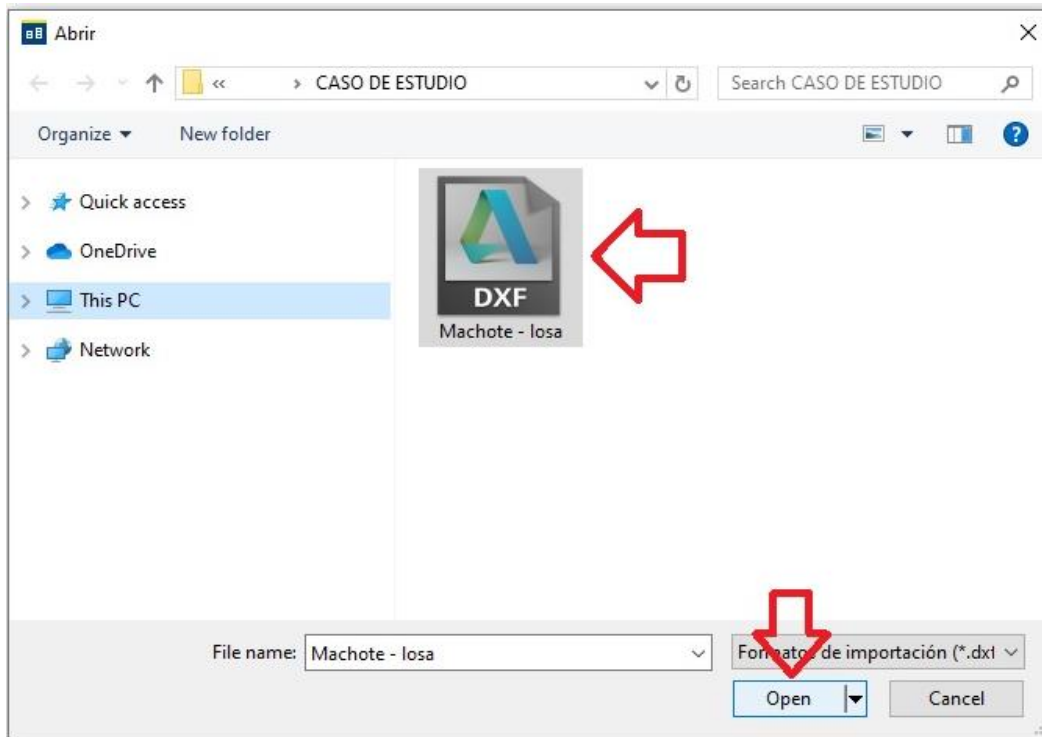


Factor de escala igual a 1:1000. Dar click en “Cargar archivo”



Continuación de apéndice 2.

Seleccionar archivo y abrir.



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.

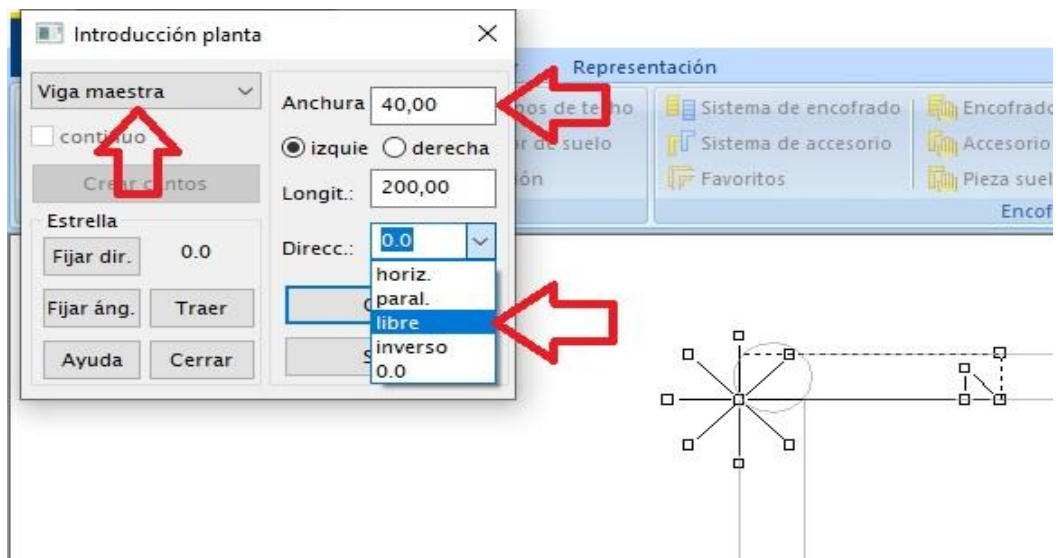
Apéndice 3. Encofrado de vigas

- Crear vigas

En la pestaña Inicio, dar click en “Generar”



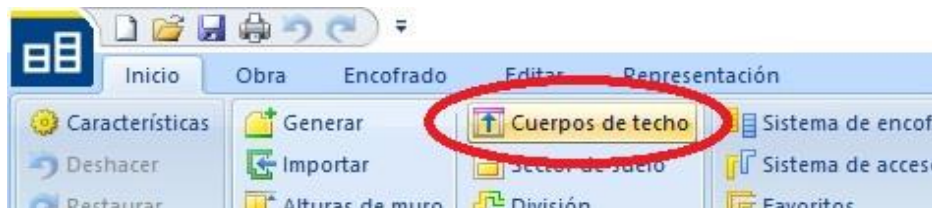
Seleccionar “Viga maestra”, definir Anchura de viga. Dar click en “Traer”, seleccionar punto de inicio. En “Dirección Libre” debe iniciarse el trazo de vigas.



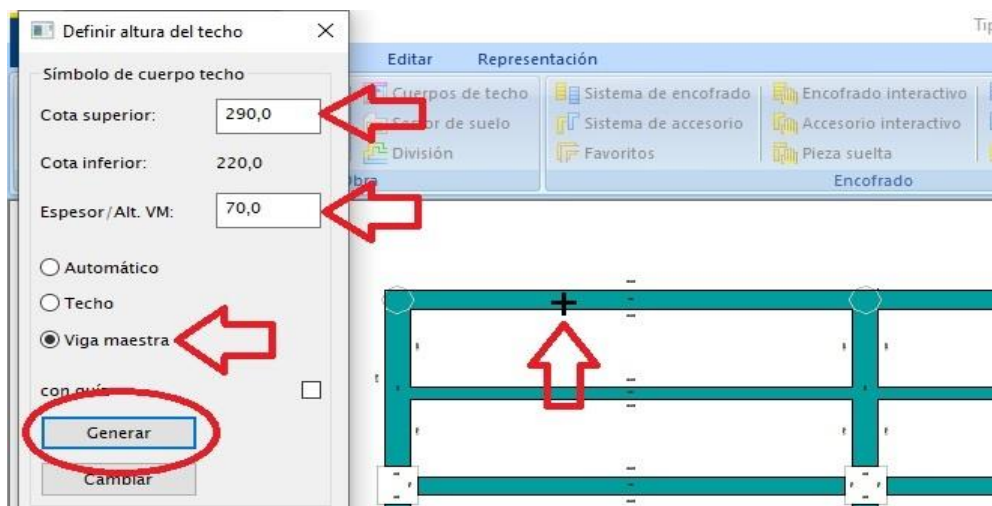
Continuación de apéndice 3.

- Generar cuerpos de techo

En la pestaña Inicio, dar click en “Cuerpos de techo”

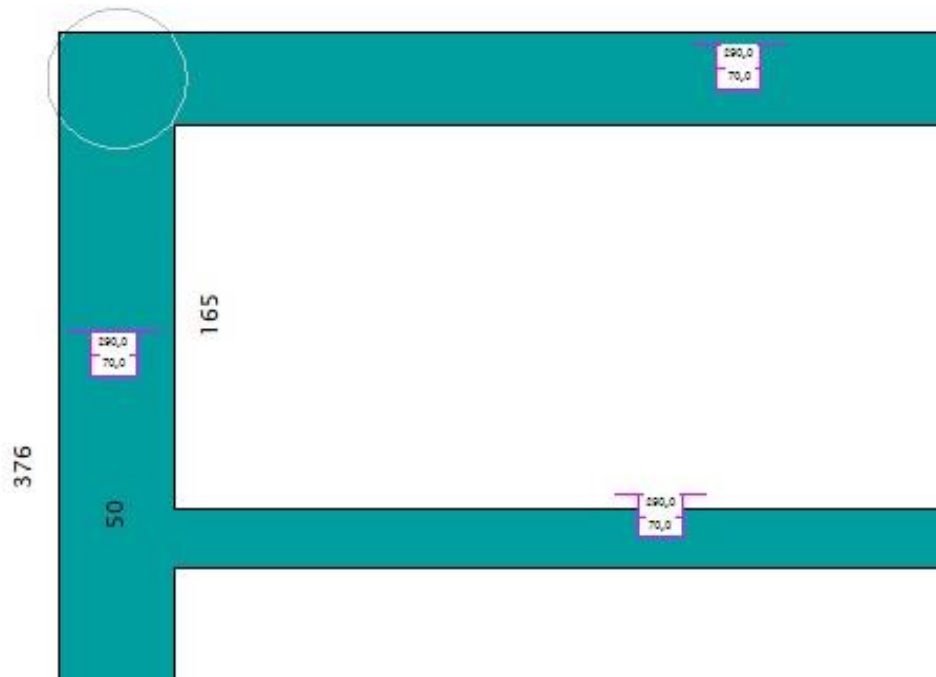


Definir cota superior (290 cm) y altura de viga maestra (70 cm); seleccionar viga maestra, dar click en generar y seleccionar cada canto de viga previamente dibujado y que sea de la altura definida.



Continuación de apéndice 3.

- Etiquetas de altura de vigas: el resultado será un etiquetado de la cota superior y la altura de cada viga que se desea encofrar, tal y como se muestra a continuación.



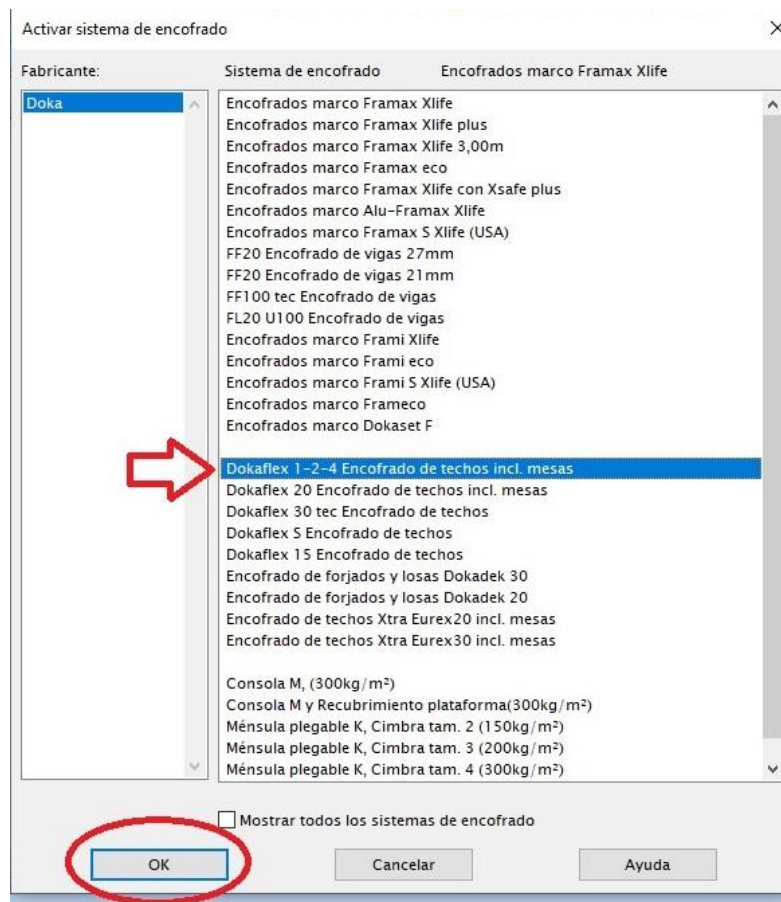
- Seleccionar sistema de encofrado

En la pestaña Inicio, dar click en “Sistema de encofrado”



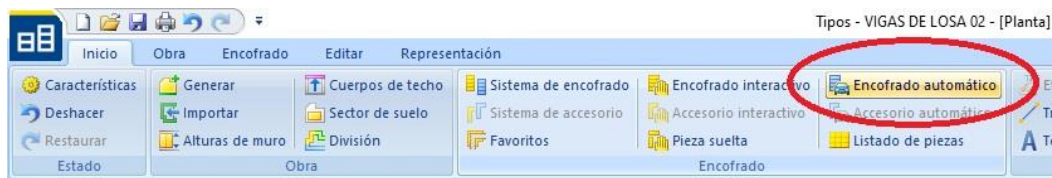
Continuación de apéndice 3.

Seleccionar *Dokaflex 1-2-4*, click en “OK”.



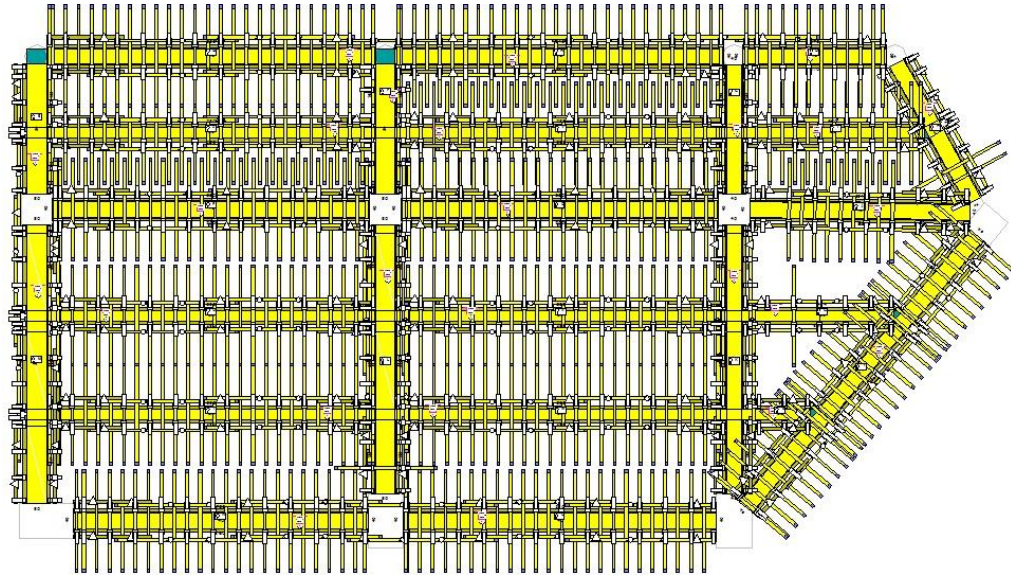
- Encofrado automático

En pestaña de Inicio, dar click en “Encofrado automático”



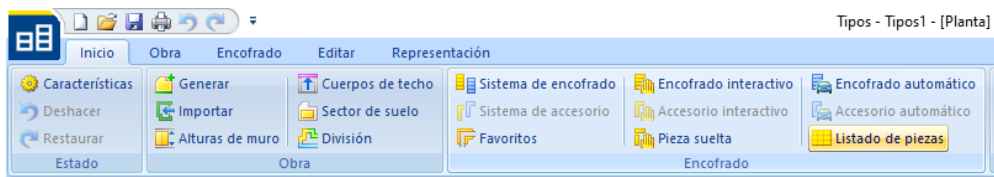
Continuación de apéndice 3.

El resultado es la vista en planta del encofrado tanto de vigas principales como secundarias.



- Listado de piezas

En la pestaña Inicio, dar click en “Listado de piezas”



Se obtiene el listado de piezas que conforman el encofrado de vigas. Las piezas con mayor relevancia para la solicitud del equipo son: cabeza de descimbrado H20, cabeza de soporte H20 DF, puntal Doka Eurex 20 top 250, tablero de encofrado, trípode plegable top y vigas Doka H20 en sus distintas medidas.

Continuación de apéndice 3.

Edición del listado de piezas

Filtro de indicación
 Todos artículos Listado total de piezas Artículos usados Artículos suplement.

Fabri	Nº artículo	Denominación	Peso/pza	Pr./pza	Obra	Almac	Prov.	Man.	Sum.	Exist
DOKA	586174000	Cabeza de descimbrado H20	6.1	0,00	0	0	184	0	184	184
DOKA	586179000	Cabeza de soporte H20 DF	0.77	0,00	0	0	146	0	146	146
DOKA	586149000	Extensión para vigas 60cm	4.4	0,00	0	0	590	0	590	590
DOKA	996000107	Mad. escuadr. 8x20cm 1,25m por parte de obra	12	0,00	0	0	7	0	7	7
DOKA	996000108	Mad. escuadr. 8x20cm 1,50m por parte de obra	14.4	0,00	0	0	15	0	15	15
DOKA	996000109	Mad. escuadr. 8x20cm 1,75m por parte de obra	16.8	0,00	0	0	4	0	4	4
DOKA	996000110	Mad. escuadr. 8x20cm 2,00m por parte de obra	19.2	0,00	0	0	37	0	37	37
DOKA	996000001	Molde por parte de obra	0	0,00	0	0	296	0	296	296
DOKA	186118000	Panel ProFrame 21 mm 200/50cm	10.3	0,00	0	0	131	0	131	131
DOKA	582528000	Perno de resorte 16mm	0.25	0,00	0	0	184	0	184	184
DOKA	586086400	Puntal Doka Eurex 20 top 250	12.66	0,00	0	0	330	0	330	330
DOKA	586148000	Soporte viga 20	6.9	0,00	0	0	602	0	602	602
DOKA	186009000	Tablero de encofrado Doka 3-SO 21 mm 200/...	9.7	0,00	0	0	393	0	393	393
DOKA	586155500	Trípode plegable top	11.95	0,00	0	0	179	0	179	179
DOKA	189700000	Viga Doka H20 top P 0.721m	3.89	0,00	0	0	12	0	12	12
DOKA	189703000	Viga Doka H20 top P 2.65m	14.28	0,00	0	0	389	0	389	389
DOKA	189707000	Viga Doka H20 top P 3.90m	20.78	0,00	0	0	77	0	77	77

Precios marcado con * se han cambiado a mano

Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.

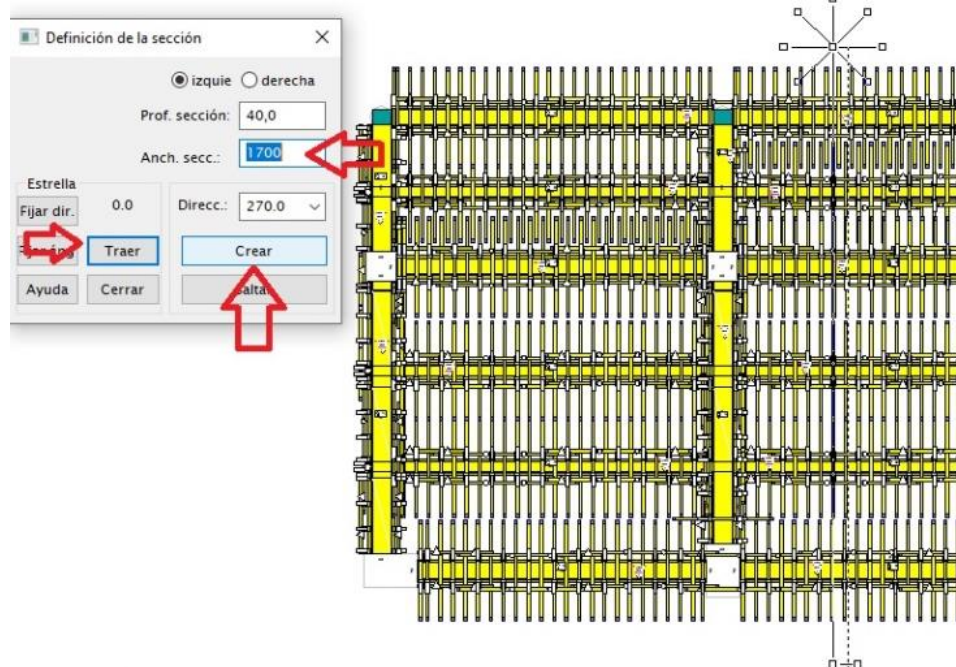
Apéndice 4. Generación de planos de encofrado de vigas

- Sección general

En la pestaña Inicio, dar click en “Sección general”

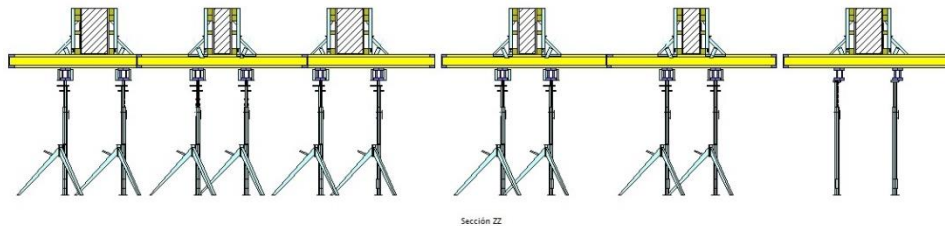


Dar click en “Traer” para colocar punto de inicio. Definir ancho de sección (en cm) que abarque el área que se desea representar en corte, y dar click en “Crear”



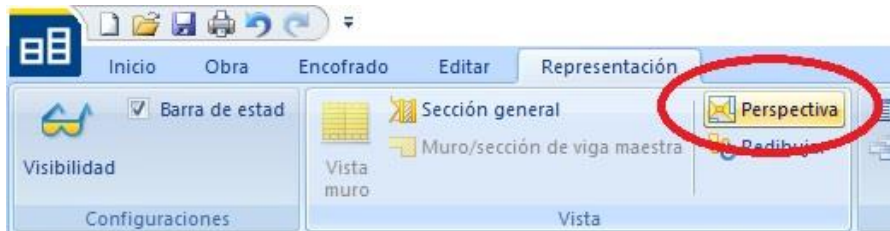
Continuación de apéndice 4.

El resultado es una sección transversal donde se muestran los distintos elementos del encofrado.



- Perspectiva del encofrado

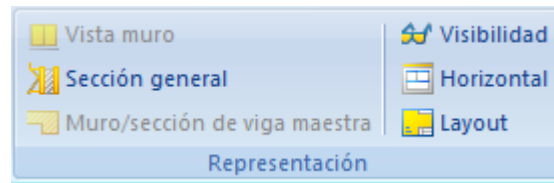
En la pestaña Representación, dar click en “Perspectiva”



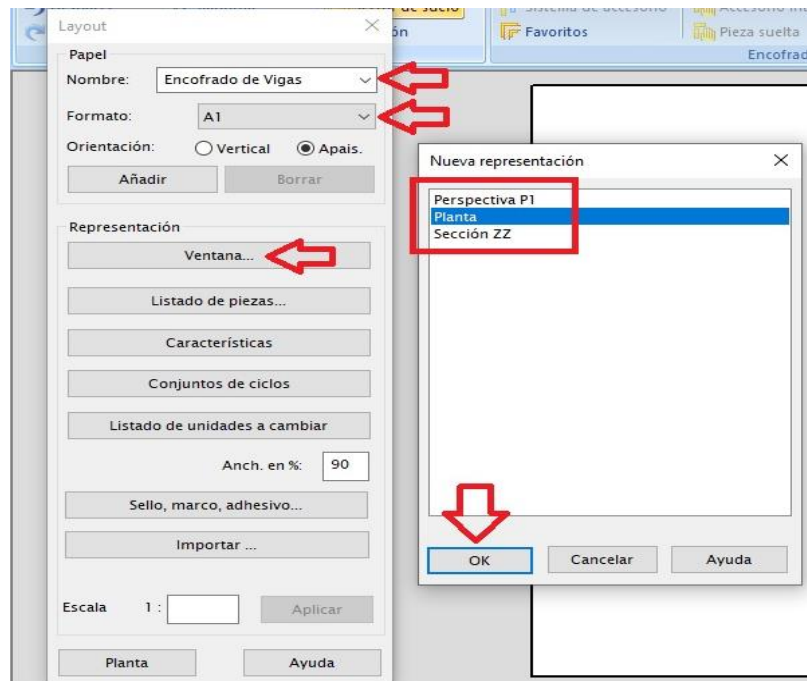
Continuación de apéndice 4.

- Configuración de Layout

En la pestaña Inicio, dar click en “Layout”



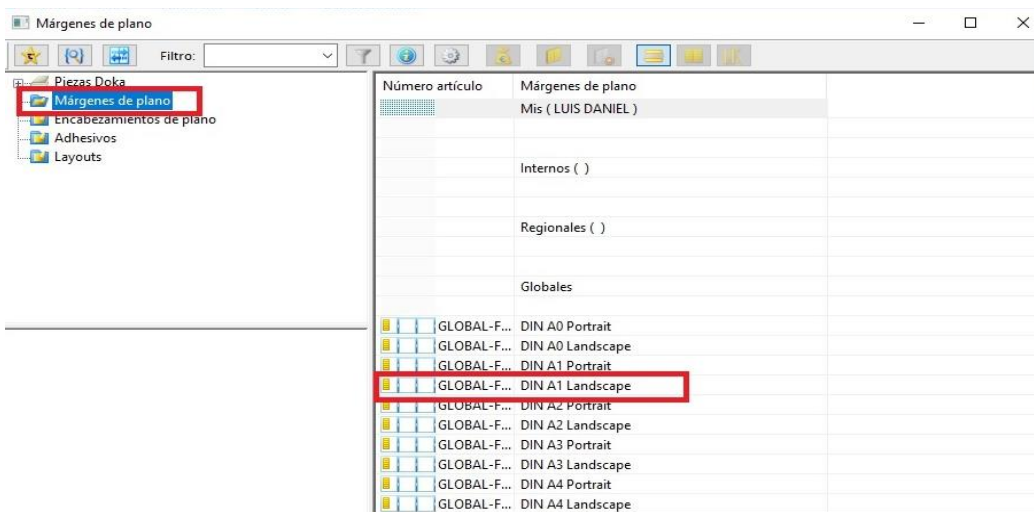
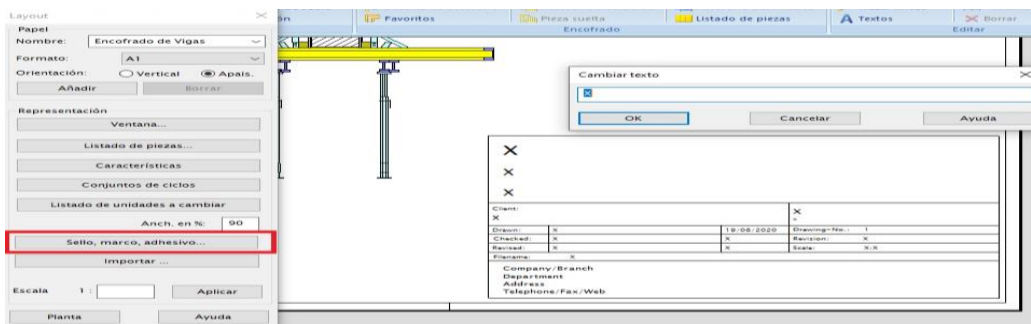
Definir nombre de plano y tamaño de formato. Dar click en “Ventana” para insertar las distintas representaciones (perspectiva P1, planta, sección ZZ), ya sea una de ellas o todas. Dar click en “OK” para insertar, o “Cancelar” para finalizar. También se puede incluir el listado de piezas.



Continuación de apéndice 4.

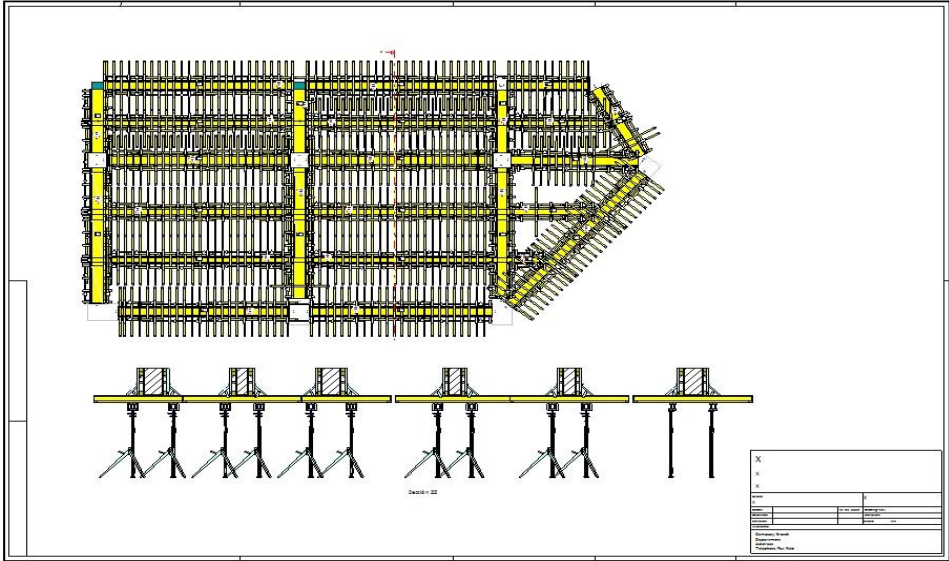
Dar click en “Sello, marco, adhesivo”..., para insertar margen y cajetín.
Luego, en “Márgenes de plano” y doble click en “DIN A1 Landscape”.

Hacer click en las “X” del cajetín para cambiar contenido del renglón



El resultado es el Layout del plano que se desea exportar.

Continuación de apéndice 4.



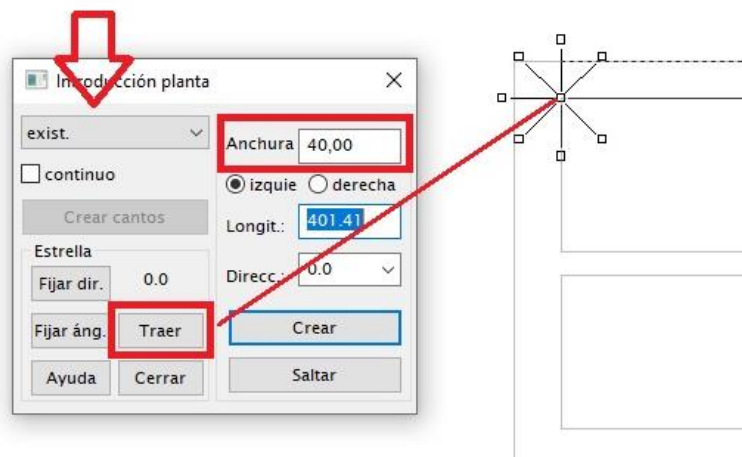
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.

Apéndice 5. Encofrado de losa

- Crear vigas de referencia

Por conveniencia, el plano guía utilizado para el encofrado de losa solo deberá contener la geometría de vigas.

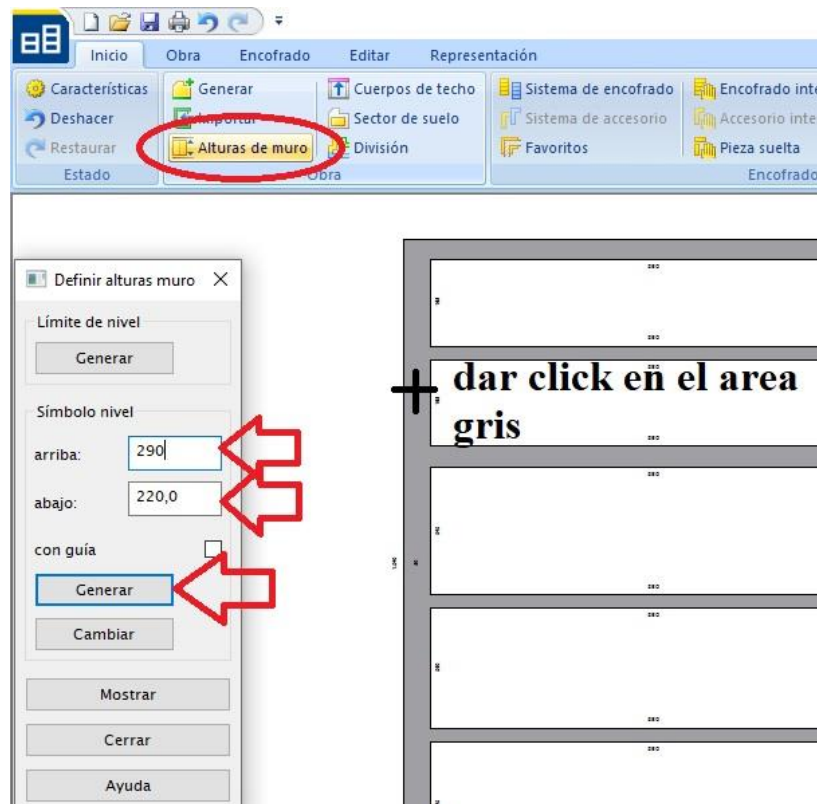
En la pestaña Inicio, dar click en “Generar”. Seleccionar “Existente”, definir Anchura de viga. Hacer click en “Traer”, seleccionar punto de inicio y en Dirección libre se inicia el trazo de vigas.



Continuación de apéndice 5.

En la pestaña Inicio, se da la opción “Alturas de muro”

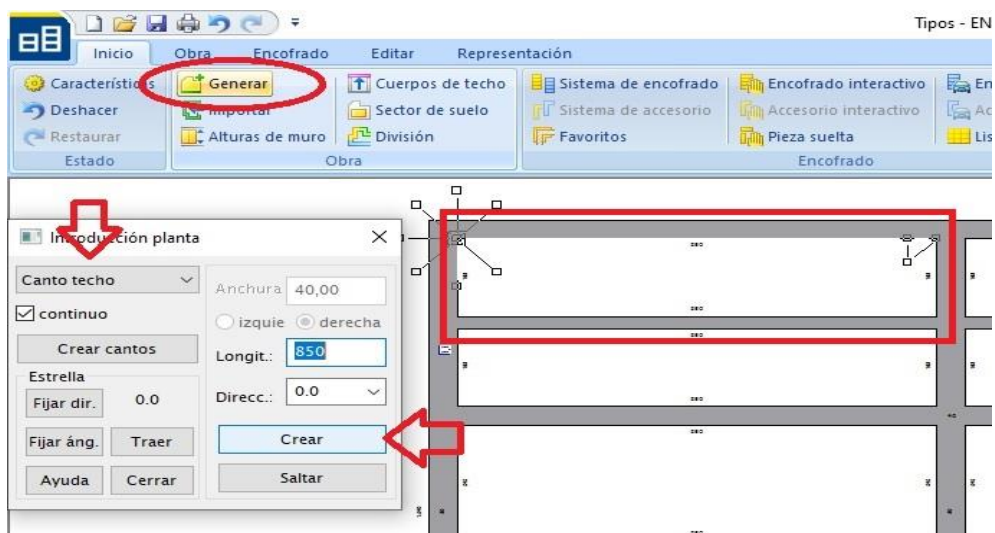
Definir altura superior de viga y cota inferior (de modo que la diferencia sea igual a la altura de viga). Dar click en “Generar” y seleccionar las vigas.



Continuación de apéndice 5.

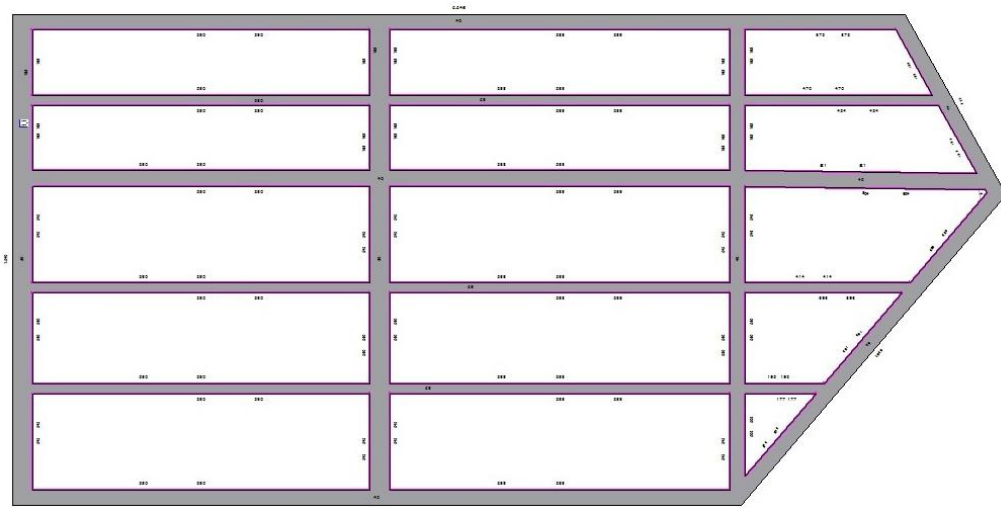
- Crear cantos de techo

En la pestaña Inicio, marcar la opción “Generar”. Luego seleccionar “Canto techo”, dar click en “Traer”, seleccionar punto de inicio y con opción “Continuo” se inicia el trazo del perímetro de losas, alternando el trazo de cada lado del panel con el botón “Crear”



Continuación de apéndice 5.

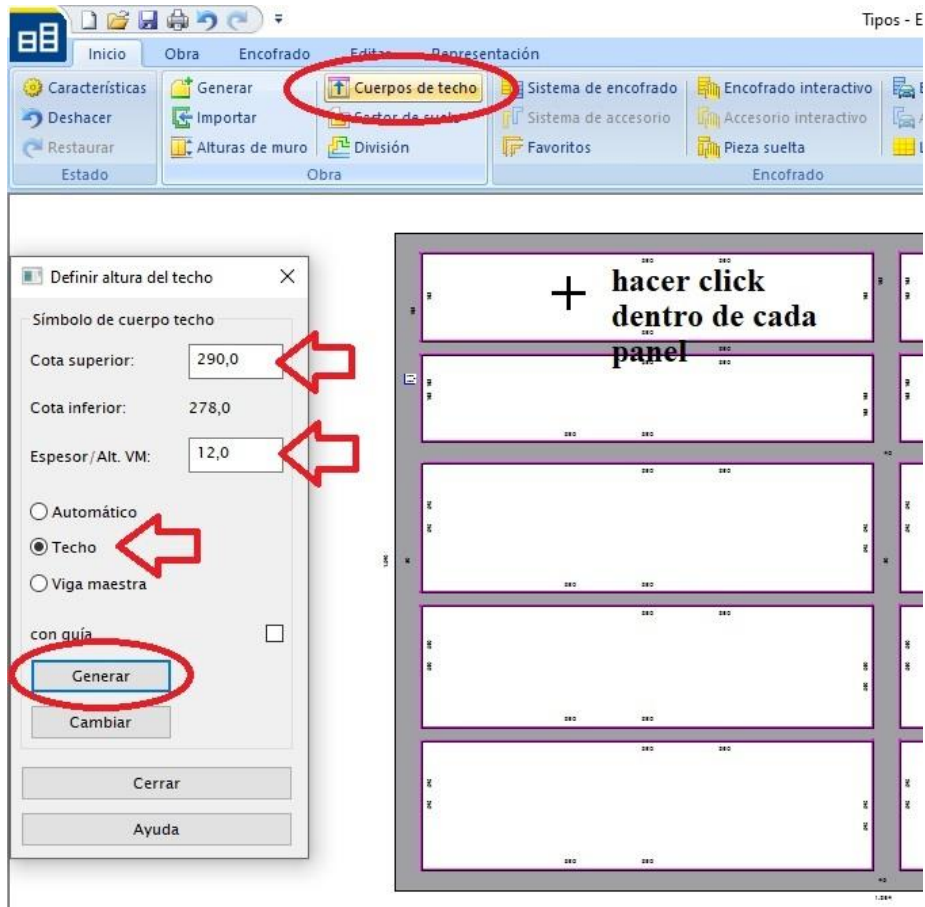
Cada panel de losa entre vigas que se desea encofrar es dibujado en este paso.



- Crear cantos de techo

En la pestaña “Inicio”, marcar la opción en “Cuerpos de techo”. Definir cota superior (290 cm) y espesor de losa (12 cm); seleccionar “Techo”, dar click en “Generar”; se selecciona cada canto de losa previamente dibujado, dando click dentro del panel que se desea encofrar.

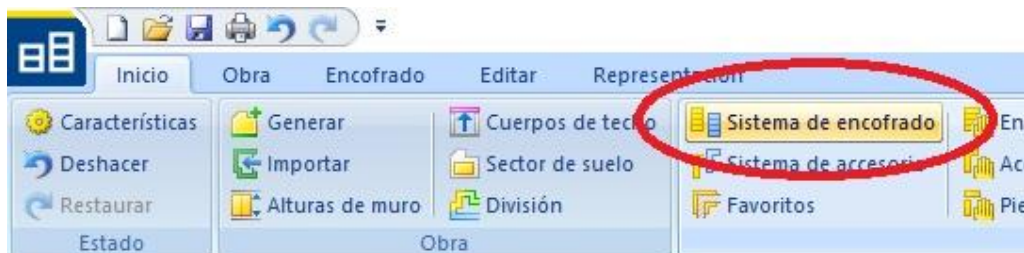
Continuación de apéndice 5.



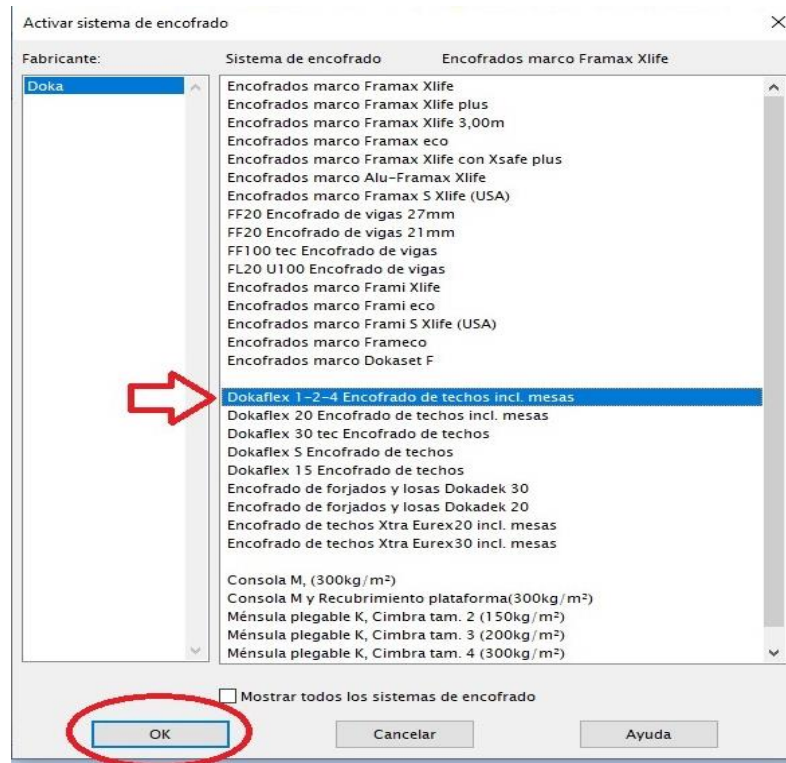
Continuación de apéndice 5.

- Seleccionar sistema de encofrado

En la pestaña “Inicio”, dar click en “Sistema de encofrado”.



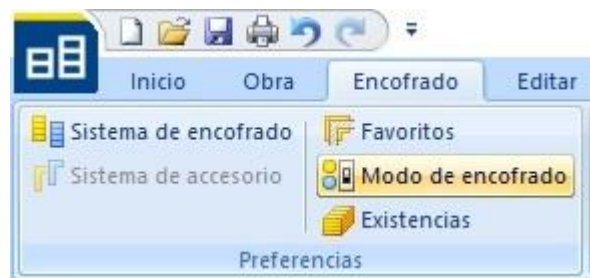
Seleccionar Dokaflex 1-2-4, dar click en “OK”



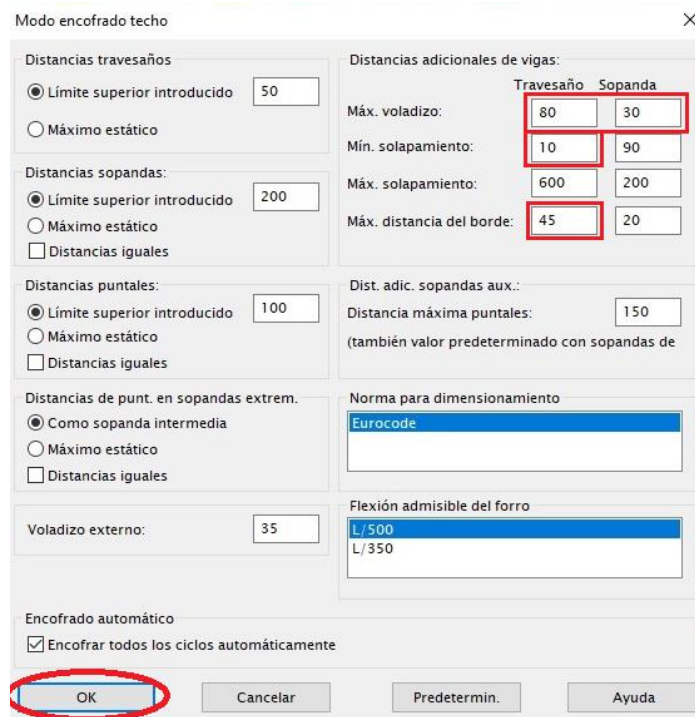
Continuación de apéndice 5.

- Configurar sistema de encofrado

Pestaña “Encofrado”, seleccionar la opción “Modo de encofrado”

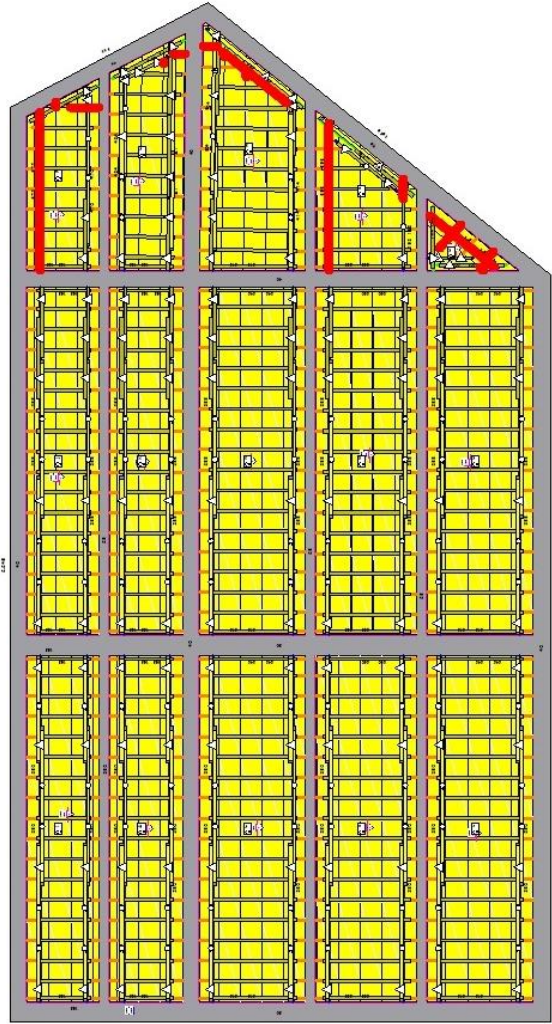


Los valores de máximo voladizo, mínimo solapamiento y máxima distancia del borde se han modificado para ajustarse de la mejor manera a la geometría de los paneles.



Continuación de apéndice 5.

Planta de encofrado de losa: se obtiene un esquema de las partes principales del encofrado representadas en planta.



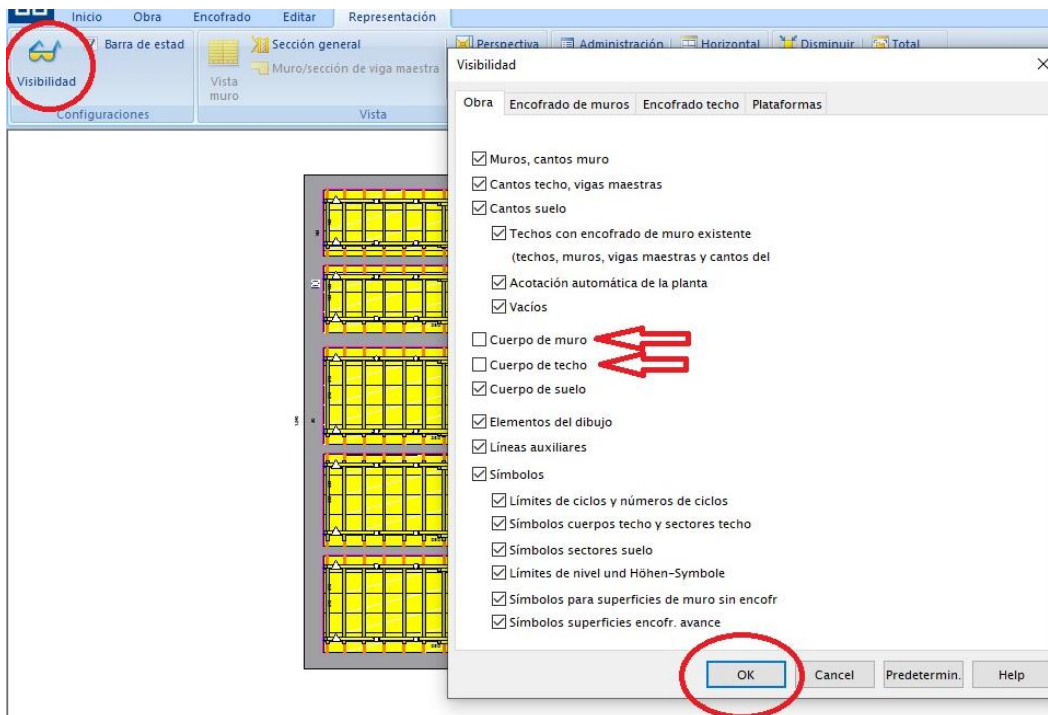
Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.

Apéndice 6. Generación de planos de encofrado de losa

- Visibilidad de elementos

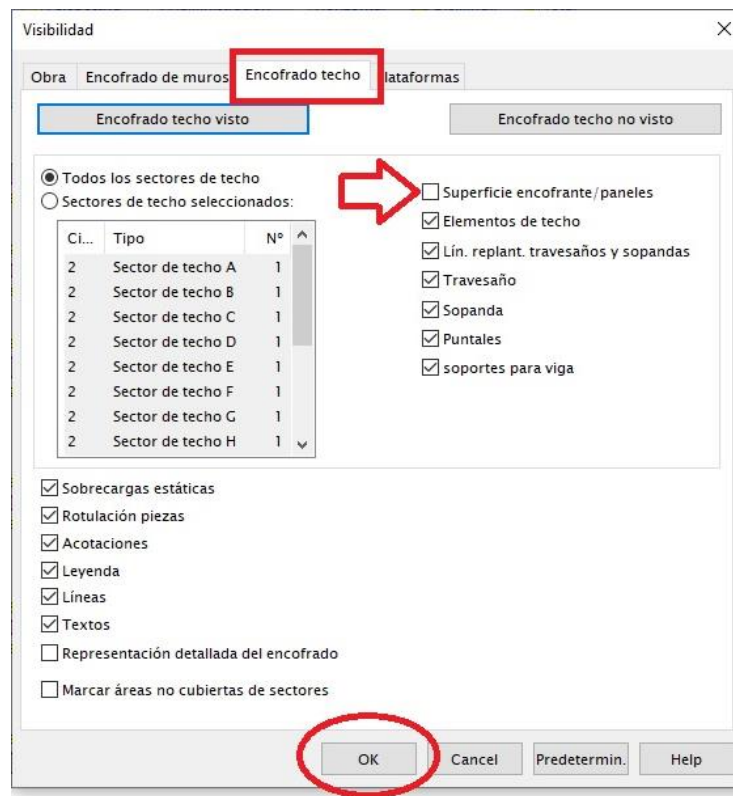
Se recomienda esconder la geometría de vigas de referencia, cuerpo de techo y paneles de encofrado, con el objetivo de tener una mejor visualización de la configuración de las vigas H20 y los puntales, siendo estos los elementos principales del sistema.

En la pestaña “Representación”, marcar la opción “Visibilidad”. Deseleccionar de la visibilidad de elementos de obra: cuerpo de muro y cuerpo de techo



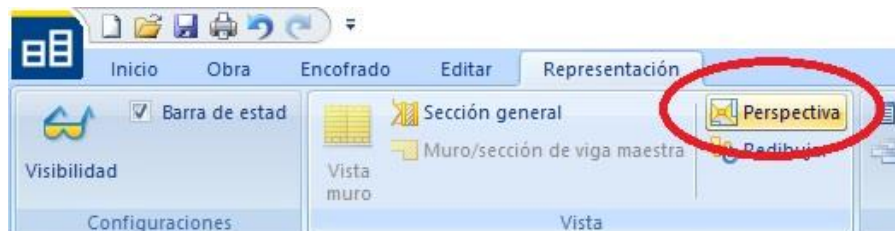
Continuación de apéndice 6.

En encofrado techo, quitar la opción de “Superficie encofrante” y aceptar (“OK”)



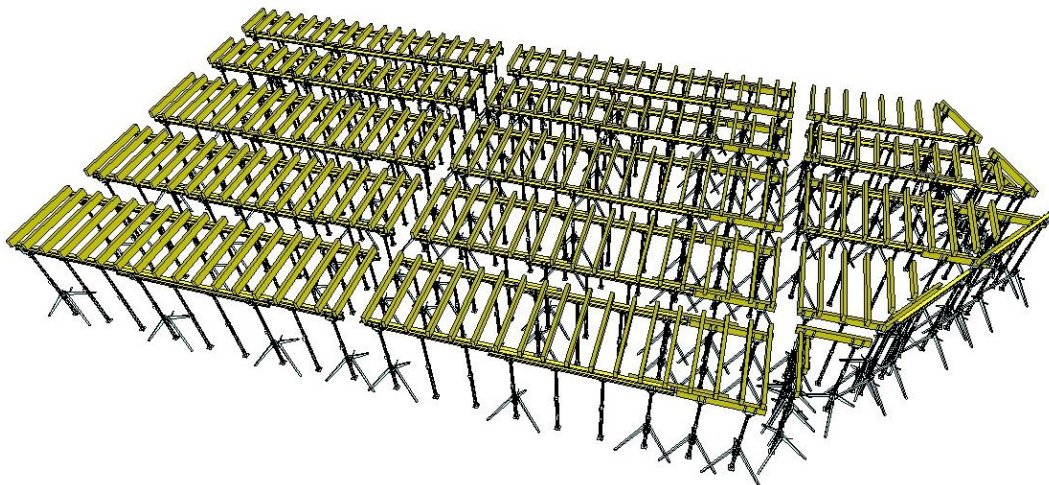
- Perspectiva del encofrado

En la pestaña “Representación”, dar click en “Perspectiva”



Continuación de apéndice 6.

El resultado es una perspectiva de la configuración de vigas H20, puntales con trípodes y puntales de apoyo. De no ser deshabilitada la opción “Superficie encofrante”, se hubieran mostrado los paneles de encofrado, y no se podría ver el reticulado característico del sistema; además, los paneles proyectados por el programa no tienen las dimensiones de los paneles que se encuentran en el mercado nacional.



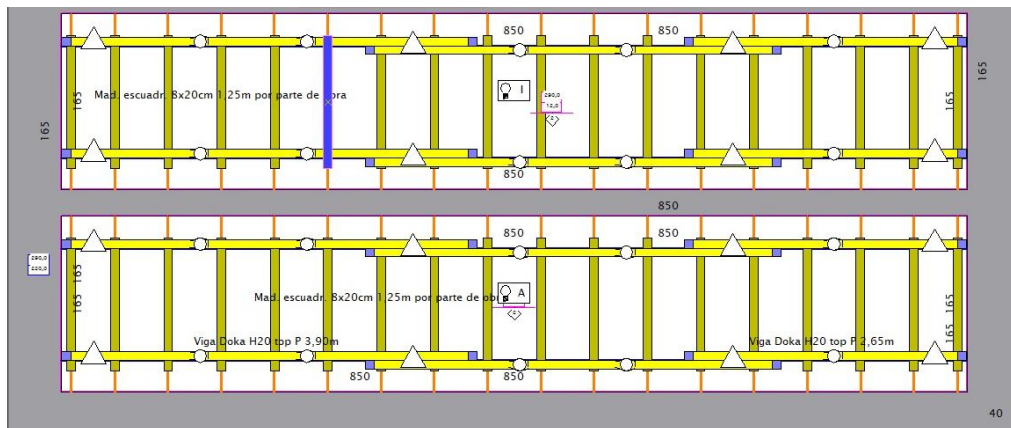
- Textos de piezas

Generar rotulación que identifique el tipo y dimensiones de los elementos del encofrado: en la pestaña “Editar”, seleccionar la opción “Piezas”.



Continuación de apéndice 6.

Seleccionar la pieza que se desea rotular y dar click en el botón “Piezas”

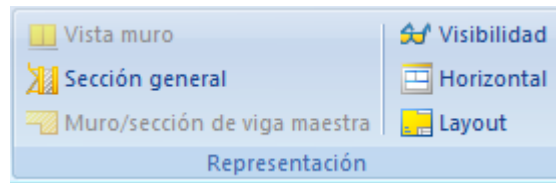


Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.

Apéndice 7. Generación de planos de encofrado de losa

- Configuración de Layout

En la pestaña “Inicio”, seleccionar la opción “Layout”

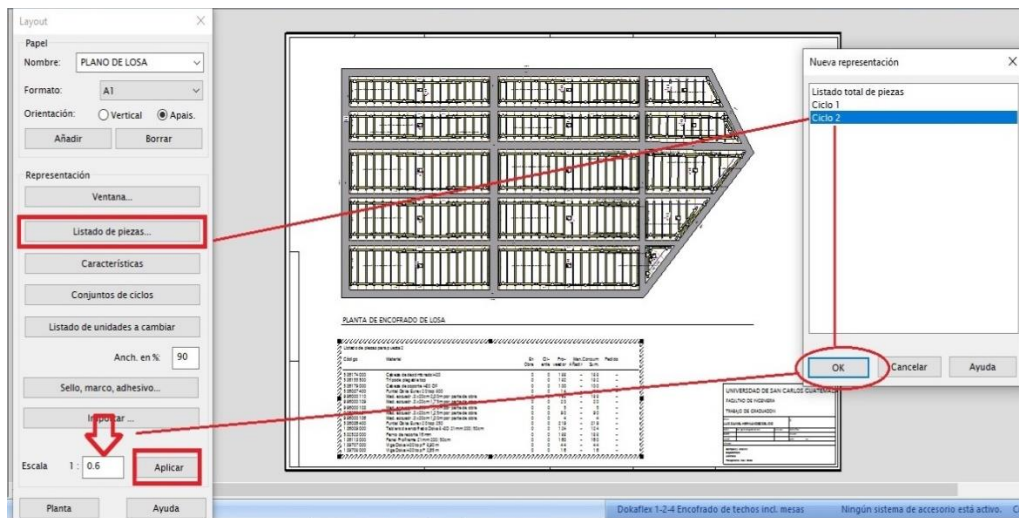


Definir nombre de plano y tamaño de formato. Dar click en “Ventana” para insertar las distintas representaciones (perspectivas, planta, secciones), ya sea una de ellas o todas. La escala de la representación puede ajustarse y realizar el cambio en “Aplicar”.



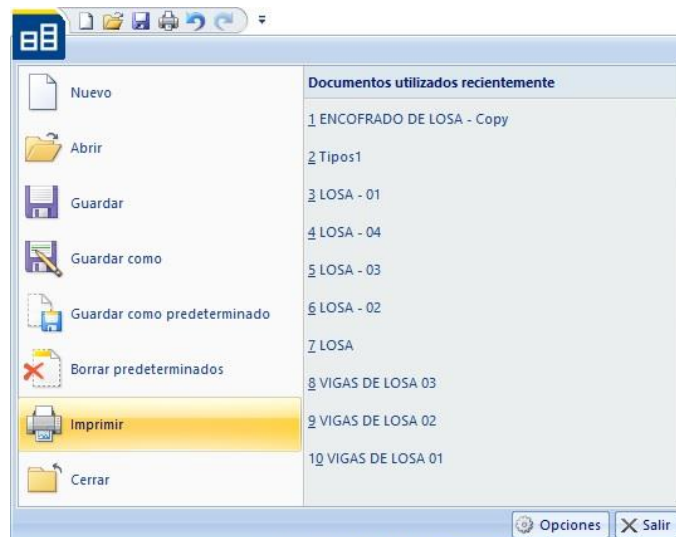
Continuación de apéndice 7.

Insertar el “Listado de piezas” seleccionando el “Ciclo” correspondiente y configurar la “Escala” hasta ajustar al tamaño disponible.



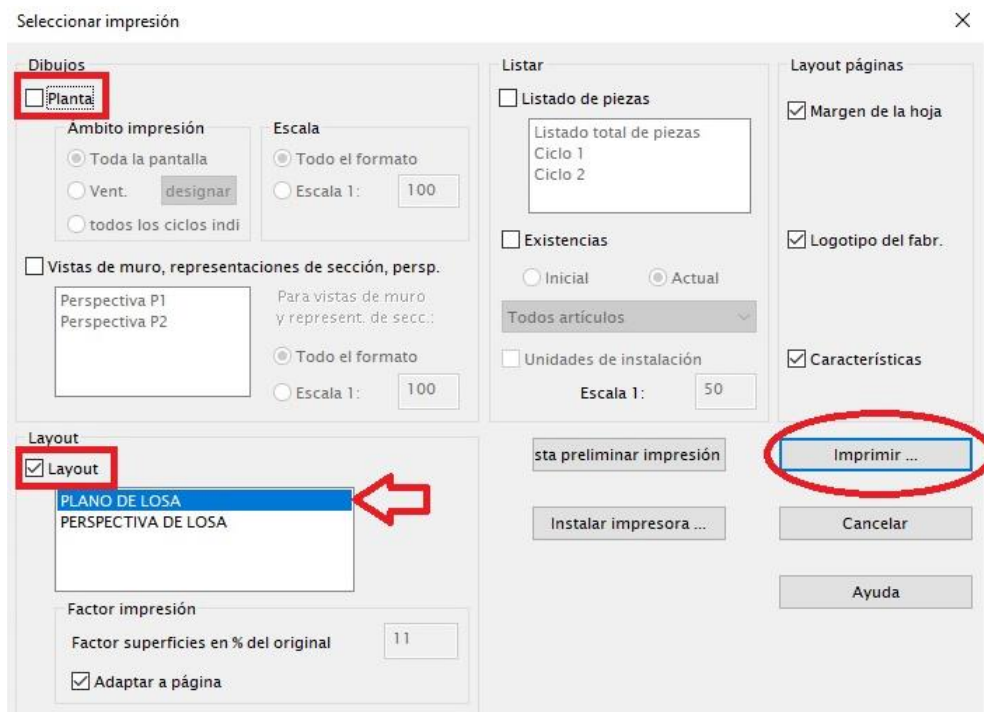
- Exportar plano en formato PDF

En el menú de “Inicio” seleccionar la opción “Imprimir”



Continuación de apéndice 7.

Quitar la opción “Planta”, habilitar la opción “Layout” y seleccionar el plano que se desea generar. Dar click en “Imprimir” para crear el plano en formato pdf.



Fuente: elaboración propia, con datos obtenidos en Doka tipo 9.