

LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE FABRICACIÓN CORRESPONDIENTES A LA SECCIÓN
CASTILLETE ANCHURÓN, PLANOS DE PREMONTAJE, MONTAJE Y REDISEÑO DEL
SISTEMA HIDRÁULICO DEL CARRO ENCOFRADOR PARA REVESTIMIENTO DE LOS
TÚNELES SINIFANÁ Y AMAGÁ DEL PROYECTO VIAL *AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 1*.

ANDRÉS FELIPE MORENO ROJAS

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA-BOYACÁ
2020

LEVANTAMIENTO DE PLANOS DE FABRICACIÓN CORRESPONDIENTES A LA SECCIÓN
CASTILLETE ANCHURON, PLANOS DE PREMONTAJE, MONTAJE Y REDISEÑO DEL
SISTEMA HIDRÁULICO DEL CARRO ENCOFRADOR PARA REVESTIMIENTO DE LOS
TÚNELES SINIFANÁ Y AMAGÁ DEL PROYECTO VIAL *AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 1*.

ANDRÉS FELIPE MORENO ROJAS

Proyecto de grado presentado para optar al título de
INGENIERO MECÁNICO

Director 1
Carlos Andrés Aguirre Rodríguez
Mg. Ingeniero mecánico

Director 2
Alonso Hernández Molano
Ingeniero mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
TUNJA-BOYACÁ
2020

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma del presidente del jurado

Firma del Jurado

Firma del Jurado

Tunja, 29 de mayo de 2020

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado principalmente a mis padres y hermano quienes son las personas que más han influido en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome siempre por el mejor camino y apoyándome en todos mis proyectos de vida.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Santo Tomás, por brindar el espacio académico y las herramientas para el inicio de mi formación profesional, a los docentes y administrativos de la Facultad de ingeniería mecánica por cada uno de los conocimientos brindados a lo largo de este proceso y finalmente a mi familia por su constante apoyo y por haberme proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

Andrés Moreno.

CONTENIDO

pág.

RESUMEN	13
INTRODUCCIÓN	14
1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 PREGUNTA PROBLEMATIZADORA	15
1.3 ANTECEDENTES	16
2. DELIMITACIÓN.....	20
3. OBJETIVOS	21
3.1 OBJETIVO GENERAL	21
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	21
4. MARCO REFERENCIAL.....	22
4.1 MARCO TEÓRICO	22
4.1.1 Rótulo	22
4.1.2 NTC 1580 dibujo técnico-escalas.....	25
4.1.3 NTC 1722 dibujo	26
4.1.4 NTC 1777 dibujo técnico	27
4.1.5 NTC 1960 Dibujo técnico.....	28
4.2 AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 1.....	32
4.2.1 Túneles.....	32
4.3 ENCOFRADO AUTOPORTANTE.....	33
4.3.1 Encofrado o Cascaron.....	33
4.3.2 Sistema de hormigonado.....	34
4.3.3 Plataformas de trabajo.	35
4.3.4 Solapes.	35
4.3.5 Tapes	36
4.3.6 Carro porta encofrados.....	36
4.3.7 Encofrado anchurón o nicho de parqueo	38
5. METODOLOGÍA	39

5.1	ETAPA 1: INTRODUCCION AL PROYECTO 0119TU	39
5.2	ETAPA 2: SOFTWARE CAD.....	39
5.2.1	Introducción al programa CAD.	39
5.2.2	Formatos de planos de fabricación y montaje.	39
5.3	ETAPA 3: MODELO CAD “CASTILLETE_ANCHURON.ASM”	39
5.4	ETAPA 4: PAQUETE DE FABRICACION, CASTILLE ANCHURON	40
5.6	ETAPA 5: PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO DEL CARRO.....	40
5.7	ETAPA 6: PLANOS DE MONTAJE DEL PROYECTO 0119TU	40
6.	RESULTADOS Y ANÁLISIS	42
6.1	PROYECTO 0119TU	42
6.1.1	Alcance y emplazamiento.....	42
6.1.2	Especificación encofrada.....	43
6.1.3	Estado proyecto	44
6.2	PTC CREO PARAMETRIC.....	45
6.2.1	Interfaz de planos.....	46
6.2.2	Interface “Part” y “Assembly”.....	46
6.3	CASTILLETE ANCHURON.....	47
6.3.1	Modelado CAD.....	47
6.3.2	Planos de fabricación	52
6.4	PROPUESTA DE REDISEÑO LINEAS HIDRÁULICAS.....	54
6.4.1	Sistema hidráulico original.....	55
6.4.2	Sistemas hidráulicos nuevo.....	56
6.4.3	Cilindros hidráulicos	56
6.4.4	Líneas hidráulicas	58
6.4.5	Mangueras, racores y Accesorios	60
6.4.6	Distribución y longitud de mangueras.	68
6.4.7	Aprobación del sistema	69
6.5	PLANOS DE MONTAJE 0119TU.....	70
6.5.1	Formato plano de montaje o manual.....	70
6.5.2	Comando “Rep” y “Explode”.....	71
6.5.3	Planos de montaje.....	72
7.	MONTAJE EN OBRA.....	74

7.1	BÓVEDA CENTRAL	74
7.2	PÓRTICO CARRO.....	75
7.3	PANEL HASTIAL	75
7.4	ORUGAS CARRO.....	75
7.5	IZAJE CARRO	76
7.6	IZAJE ENCOFRADO	78
7.7	PANEL FALDONCILLO	80
7.8	PASARELAS Y ACCESORIOS.....	80
8.	CONCLUSIONES	82
	BIBLIOGRAFIA.....	83
	ANEXOS.....	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Símbolos de tolerancia.....	30
Tabla 2. Listado de racores y accesorios.....	67

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Formato horizontal.....	22
Figura 2. Formato vertical.....	23
Figura 3. Rótulo formato diseño.....	24
Figura 4. Rótulo con listado de piezas.....	25
Figura 5. Indicación de componentes de una dimensión lineal, valores de desviación, límite de tamaño.....	26
Figura 6. Tolerancia de dimensiones lineales y angulares.....	26
Figura 7. Designación de vistas.....	27
Figura 8. Vistas.....	28
Figura 9. Símbolo método del primer ángulo.....	28
Figura 10. Dimensionamiento funcional, no funcional y auxiliar.....	29
Figura 11. Marco de tolerancias con elementos de referencia.....	30
Figura 12. Marco de tolerancias para agujeros.....	30
Figura 13. Forma de referencias de ítems.....	31
Figura 14. Aplicación de referencias.....	31
Figura 15. Partes de un encofrado.....	33
Figura 16. Distribuidor.....	34
Figura 17. Sistema boca de hormigonado.....	34
Figura 18. Ventana de inspección.....	35
Figura 19. Plataforma de trabajo.....	35
Figura 20. Ubicación de solapes.....	36
Figura 21. Ubicación de tapes.....	36
Figura 22. Carro porta encofrado.....	37
Figura 23. Sistema hidráulico de avance.....	37
Figura 24. Encofrado anchurón.....	38
Figura 25. Porcentaje proyecto 0119TU 20/08/2019.....	44
Figura 26. Pesos proyecto 0119TU.....	45
Figura 27. Modelado CAD al 45% castillete anchurón.....	47
Figura 28. Modelado CAD al 70% castillete anchurón.....	48
Figura 29. Parametrización de ensambles.....	49
Figura 30. Modelado bóveda central.....	50
Figura 31. Modelado CAD al 90% castillete anchurón.....	50
Figura 32. Modelado CAD castillete anchurón.....	51
Figura 33. Tornillería.....	51
Figura 34. Plano EA-01-04 Castillete.....	53
Figura 35. Pre-Montaje castillete.....	54
Figura 36. Pre-Montaje vista lateral.....	54
Figura 37. Esquema Hidráulico Original.....	55
Figura 38. Visita, Empresa COHA S.A.S.....	57
Figura 39. Línea hidráulica.....	58
Figura 40. Levantamiento de líneas hidráulicas.....	59
Figura 41. Método de Selección de Tubing.....	60

Figura 42. Tabla de características mangueras R2.	62
Figura 43. Rosca Jic 37° SAE J514.	63
Figura 44. Rosca recta SAE con O ring SAE J514/ J1926/1.	63
Figura 45. TEE.	64
Figura 46. Rosca NPT SAE J514.	65
Figura 47. Acople rápido.	65
Figura 48. Acople tubing.	66
Figura 49. Prueba racor para unión de tubing a manguera.	67
Figura 50. Codificación del carro de avance.	68
Figura 51. Primeros tramos de línea hidráulica, sistema de dirección P1-P2-P3-P4.	69
Figura 52. Rótulo formato manual, Cálculo ingeniería.	70
Figura 53. Representación del carro de avance, sin patas.	71
Figura 54. Explosionado carro de avance sin patas.	72
Figura 55. Plano de montaje, 01109TU04_premontaje pórtico.	73
Figura 56. Montaje bóveda central.	74
Figura 57. Montaje en obra vista superior.	76
Figura 58. Izaje, carro de avance.	77
Figura 59. Carro de avance.	77
Figura 60. Izaje bóveda central.	78
Figura 61. Izaje bóveda central, posicionamiento.	79
Figura 62. Izaje, paneles hastiales.	79
Figura 63. Montaje, panel faldoncillo.	80
Figura 64. Verificación de encofrado.	81
Figura 65. Porcentaje proyecto 0119TU 01/02/2020.	81

LISTAS DE ANEXOS

- ANEXO A Modulo de viga base.
- ANEXO B Geotextil y malla de acero tunel.
- ANEXO C Nichos SOS.
- ANEXO D Excavacion encuentro peatonal.
- ANEXO E Plano de fabricacion estrucutra castillete.
- ANEXO F Especificaciones motor OMS.
- ANEXO G Especificacion reductor 709C3B
- ANEXO H listado de mangueras y racores.
- ANEXO I Planos montaje carro visado.

GLOSARIO

LINEA RAZANTE: trazado que hace referencia al proceso de excavación donde indica la cota a la cual se dejara el terreno para el tránsito de vehículos y equipos en el proceso constructivo del túnel.

NICHO NCI: sección del túnel donde se deja la instalación de la línea de agua con mangueras y de más elementos de emergencia. Para estas secciones se crean encofrados más pequeños y simples.

NICHO SOS: sección del túnel donde se deja la instalación y cabina telefónica para notificar situaciones de emergencia dentro del túnel.

PATON O MECANISMO DE ANCLAJE: mecanismo de anclaje del encofrado, este va en el panel faldoncillo y se empotra en la viga base, diseñado para soportar cargas axiales y cortantes que se generan durante el proceso de hormigonado.

PERALTE: dirección de inclinación o elevación de una curva tanto exterior como interior, en una carretera o vía.

PTC Creo: programa de diseño, fabricación e ingeniería asistida por computadora, conocido anterior mente como PRO/ENGINEER.

TRAMEX: denominación al conjunto de rendijas electrosoldadas con superficie rugosa, implementadas en el encofrado para poder transitar tanto en el castillete como en las plataformas de trabajo.

TRAZADO: líneas de contorno donde se marca las dimensiones de la construcción, así como su geometría, área y perímetro.

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como finalidad la creación de planos de fabricación de la estructura principal de soporte de la bóveda central de un encofrado de bahía de parqueo para los túneles viales de la concesión *Conpacífico 1* en el departamento de Antioquia; este se realiza teniendo en cuenta el proceso constructivo de la empresa *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* y la empresa metalmecánica *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*, donde la primera empresa se encarga del diseño de los equipos por medio del software CAD PTC Creo, y a su vez, de lo diferentes planos de fabricación. Motivo por el cual se debió tener una capacitación para el manejo del software para poder completar la estructura castillete y poder generar los diferentes planos de fabricación, esto teniendo en cuenta las condiciones de planos solicitados por la empresa encargada de la fabricación *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*

Dentro del mismo trabajo se encuentra la creación de las líneas hidráulicas para el sistema de funcionamiento y posicionamiento del carro de avance porta encofrados, el cual se partió de un sistema hidráulico antiguo verificando cada una de sus líneas y conexiones, como también su respectivo esquema hidráulico, al cual se le agregaron más sistemas para tener un mejor control del equipo y restaurando en lo mayor posible el sistema antiguo para reducir costos de fabricación.

Como ultimo propósito del trabajo, se encuentra la creación de los planos de montaje del proyecto, los cuales fueron elaborados teniendo en cuenta el proceso implementado en proyecto que fueron ejecutados con anterioridad por el CEO de *CÁLCULO INGENEIRÍA S.A.S*, en los cuales es muy importante la identificación de los diversos componentes y piezas y su respectiva posición dentro de los encofrados y carros de avance al igual que su método de ensamble y paso a paso del proceso. Los cuales fueron acertados en el momento del montaje en obra como se evidencia al final del documento.

INTRODUCCIÓN

CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S es una empresa colombo-española, que se especializa en el diseño y cálculo de equipos especializados para la construcción de túneles y puentes con sede en la ciudad de Bogotá D.C. para la fabricación de los diferentes equipos diseñados, dicha empresa acude a la creación de consorcios, con la empresa *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S* cuya sede quedan en la misma ciudad.

Al ser una empresa relativamente nueva en el país con una experiencia no mayor a un año, tiene carencia de personal capacitado en el diseño y ejecución de equipos como encofrados metálicos para el revestimiento en concreto de túneles viales, motivo por el cual, la empresa opta por la vinculación de jóvenes ingenieros para primero, ir formando en diversas áreas como lo es el diseño, fabricación, montaje y demás áreas de la ingeniería, y segundo, para ir supliendo las carencias de personal que retrasan los tiempos de ejecución y entregas de los diversos proyectos a cargo de la empresa.

El presente trabajo se realiza por la necesidad del proyecto que actualmente tiene la empresa en ejecución, el cual es 0119TU que consta de la fabricación de cuatro encofrados, dos carros de avance, un nicho NCI y SOS, una galería peatonal y vehicular, un carro de avance para galerías y un encuentro peatonal y vehicular para el revestimiento de los túneles Sinifaná y Amagá del consorcio vial *conpacífico 1*, ubicados en el departamento de Antioquia y que harán parte de la nueva generación de vías 4G que conectaran la ciudad de Medellín y sus alrededores con el pacífico colombiano.

1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S es una empresa colombo-española, que se especializa en el diseño y cálculo de equipos especializados para la construcción de túneles y puentes. Actualmente, la empresa se encuentra en el proyecto de diseño y fabricación de un *carro porta encofrados de túneles*, para realizar el revestimiento en concreto de los túneles SINIFANÁ y AMAGÁ, pertenecientes al proyecto *AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 1*.

Para la fabricación del carro porta encofrado, *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* creo un consorcio con la empresa *CMA INGENIERIA Y CONSTRUCCIONES*, donde *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* se encarga del diseño del carro y la fabricación será por cuenta de la empresa metal-mecánica *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*.

Dicho consorcio toma como base el carro porta encofrado utilizado para el revestimiento de los túneles de la vía al llano, al cual se le tendrán que realizar una serie de modificaciones y extensiones para adaptarlo a los túneles de SINIFANA y AMAGÀ, los cuales tiene una longitud aproximada de 1.3 kilómetros y 3.6 kilómetros respectivamente

CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S se encarga del diseño y modelado correspondiente al rediseño del carro portaencofrado, por lo cual se deberán crear los diferentes planos de fabricación y ajustes que se le aplicarán a los diferentes componentes del carro. Estos planos deberán ser lo más detallados posibles, para una fácil comprensión e identificación por parte de los ingenieros de *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*, garantizando una rápida y correcta fabricación de cada uno de los elementos.

De igual forma se deberá elaborar el manual correspondiente al montaje, funcionamiento y mantenimiento de dicho equipo, dentro del cual se encontrará la sección de *PLANOS DE MONTAJES*, esenciales para realizar el montaje del encofrado en obra.

1.2 PREGUNTA PROBLEMATIZADORA

¿Con la creación de los planos de fabricación y montaje, se ensamblará el castillete anchuron de forma rápida, al igual que los demás elementos que conforman los equipos y minimizando la existencia de errores en este proceso del proyecto?

1.3 ANTECEDENTES

A continuación, se presentan una serie de proyectos y artículos en los cuales se encuentra información útil para el desarrollo del proyecto, tal como es la definición e identificación de los diferentes componentes que conforman un carro porta encofrado, tipos de encofrados y restricciones a tener en cuenta a la hora de diseñar esta clase de equipos para el revestimiento de túneles.

Es importante conocer el proceso constructivo de un túnel desde la fase de excavación y conociendo las formas de revestimiento que se implementaban con anterioridad, uno de esos métodos y más conocidos, es el método austriaco, el cual es explicado por Gueralo¹, mediante la recopilación del proceso constructivo del túnel ferroviario (actual túnel del metro transversal) en 1922, cuyo tramo contempla la unión de la plaza de Cataluña con la estación Bordeta, de la ciudad de Barcelona, en él se encuentra una clara explicación del método de excavación austriaco, o mejor conocido como método de las dos galerías, la cual consiste en excavar todo el túnel antes de encofrar por ende se debe aplicar apeos (elementos de soporte) de madera para sostener la excavación hasta que se culmine el proceso y se inicie el proceso de encofrado; las dos galerías que se crean al momento de la excavación son de avance como de transporte, por una de estas se va excavando el túnel, mientras que por la otra se va transportando el material retirado hacia la superficie, por otro lado, en cuanto al encofrado, se usaban encofrado de madres con tirantes metálicos, lo cual implicaba un largo proceso de encofrado porque la mayor parte de la madera no se podía reutilizar.

Uno de los proyectos a tener en cuenta y de mayor importancia para el debido desarrollo del proyecto es el elaborado por la empresa italiana CIFA², en él se encuentra toda la descripción del encofrado fabricado para los túneles de la vía al llano, y que será rediseñado por Cálculo Ingeniería S.A.S para así, poder implementar este equipo en los túneles de conpacifico, dentro del proyecto se encuentran dimensiones generales, plano de accesorios, especificación de perfiles empleados con dimensiones y propiedades, además, de planos y esquemas hidráulicos del sistema de posicionamiento junto con las respectivas especificaciones de cilindros, dicha información es esencial para poder realizar el rediseño del sistema hidráulico, ya que se parte con base a este para proponer el rediseño del sistema, de igual forma, gracias a la respectiva documentación de este proyecto se podrán verificar cotas y dimensiones de los elementos para su correcto modelamiento en el programa CAD.

¹ GUERALO, Joaquín. Terradas y la Construcción del Túnel de Metro Transversal de Barcelona. [online], enero-marzo 2011. [citado el 8 de agosto del 2019]. Quark número 31, P 86-94.

² CIFA S.p.A, Encofrado Automotor Para El Hormigonado Del Túnel. 14 de octubre 2015. [citado el 6 de agosto del 2019]. P 53-131.

Otro aspecto a tener en cuenta para el desarrollo del proyecto, es conocer los tipos de revestimiento que se realizan para los túneles, uno de estos métodos es explicado por Llerena³, cuyo proceso de revestimiento de túneles por medio de anillos de concreto, el cual se divide en fases, como lo son la fase de estructura, impermeabilización, revestimiento, instalación eléctricas y ventilación, las cuales son cruciales para el buen proceso de encofrado, garantizando que no hayan filtraciones dentro del túnel y a su vez, un acabado estético del túnel gracias al encofrado por anillos, ya que una vez realizado el encofrado, este da acabado idóneos para su presentación por último, este método es uno de los más efectivos y empleados, ya que reducen el tiempo de ejecución, reducen gastos y manos de obra, este artículo es de gran relevancia, ya que es el método actual de encofrado de túneles y es importante tener conocimiento respecto a este proceso para así aportar mejor con la empresa y tener una idea más clara sobre el que hacer de Cálculo ingeniería S.A.S.

Por otro lado, González⁴ explicación una serie de métodos de revestimiento como lo son a cielo abierto, falso túnel y minas, además, se encuentran, una breve descripción de los elementos que conforman un encofrados, las fuerzas que debe soportar cada elemento a la hora del fraguado del concreto y la forma de ejecución de estos encofrados, como lo es su respectivo mantenimiento, aplicado de productos químicos, como lo es el “desencofraste”, el cual se aplica al encofrado antes de hormigonar para que el metal no quede pegado al concreto y se pueda retirar.

➤ **Comparativo de sistemas de traslación para equipos de encofrado para revestimientos de túnel.**

Para el movimiento de equipos de encofrado de revestimiento de túnel se utilizan diferentes sistemas de traslado. Según las condiciones del terreno, la carga a transportar, velocidad de traslación, costo económico etc., es importante tener claridad de estos aspectos para así adoptar un sistema que presente la mayor eficiencia posible a la hora de ejecución del proyecto y, además, de tener unas prestaciones más apropiadas. Es importante tener estos conocimientos, ya que por lo general, los sistemas de traslado de estos equipos son gracias a motores hidráulicos y en algunos casos se emplean rieles por los cuales transitará el carro porta encofrado, esto para facilitar su movimiento dentro del túnel⁵.

³ LLERENA, Valer. Revestimiento de anillo de hormigonado en situ. [online], 2013. [citado el 8 de agosto del 2019]. P 8-78.

⁴ GONZÁLEZ, F. J. Encofrados para túneles, una visión global. *Cemento Hormigón*. [online] 2019. [citado el 11 de agosto del 2019]. Nº. 991, P 54-59.

⁵ RAJADELL, j. v. Comparativo de sistemas de traslación para equipos de encofrado para revestimientos de túnel. *Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos*, [online]. 2019, [citado el 12 de agosto del 2019] P 84-88.

➤ **Seguimiento al proceso constructivo de túneles en la vía Bogotá Villavicencio tercio final, sector Chirajara – intersección.**

El siguiente informe trata sobre la ejecución del túnel, desde la culminación de la fase de excavación del túnel hasta el comienzo del proceso de encofrado, en el cual se encuentran diversos aspectos que se presentaron en la ejecución y que se pueden presentar en el proyecto de la empresa Cálculo Ingeniería con la concesión vial Conpacífico, como lo es, excavación errónea, segmentos de piedra no contempladas para excavación, retrasando su proceso, inconvenientes de viga base (ubicación topográficas), y problemas de montaje del encofrado, y si se tienen presentes estas eventualidades, se pueden prevenir y/o tener una rápida respuesta de solución frente a estas eventualidades.⁶

➤ **Cálculo y selección de ruedas y motores necesarios para el movimiento de un equipo de encofrado para la construcción de túneles.**

El siguiente trabajo, trata sobre las normas europea a tener en cuenta a la hora de diseñar el sistema de traslación del carro porta encofrado, el cual indica el tipo de ruedas a emplear dependiendo de las cargas a soportar, el tipo de geometría, y por último el motor a emplear, dentro del cual se puede identificar el proceso de diseño, como diseño básico, detallado, elementos estándar y elementos a fabricar para la correcta instalación del sistema de traslación, por último se encuentran, que se emplea un riel especial cuya geometría de la llanta se adapta a dicho riel para su correcto movimiento a través del túnel, todos los cálculos aquí presentados, fueron corroborados mediante simulación CAE de mallas, validando su comportamiento para su correcta selección de elementos según catálogo.⁷

➤ **Diseño de encofrado de túnel.**

Este proyecto trata sobre el diseño y cálculo de la estructura de un encofrado para la entrada de un túnel. Explica la finalidad y la función de la estructura, la cual soporta las cargas que ejerce el hormigón a la hora del fraguado hasta su solidificación, dando así la geometría del túnel por medio del manto del encofrado, también, explica los espesores y perfiles más comunes y que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar y modelar el encofrado, teniendo en cuenta las cargas que se ejercerán en cada uno de los perfiles y platinas que conforman la estructura, es importante conocer los elementos más comunes

⁶ ROJAS, A. Seguimiento al proceso constructivo de túneles en la vía Bogotá-Villavicencio tercio final, sector Chirajara–intersección parque Fundadores, [online]. 8 de junio 2019. [citado el 25 de octubre del 2019].

⁷RIUS, D. Cálculo y selección de ruedas y motores necesarios para el movimiento de un equipo de encofrado para la construcción de túneles. Universitat Jaume I, [online]. 30 de septiembre 2016. [citado el 25 de octubre del 2019].

empleados en estas estructuras para así tenerlos en cuenta a la hora de diseñar para la empresa.⁸

➤ **Form for concrete-placement tunnel lining.**

Aquí se encuentra una explicación sobre el revestimiento de un túnel, cuya composición interna de revestimiento de hormigón está dividido por segmentos o anillos independiente uno del otro con uniones intermedias que conectan los segmentos. El proceso de revestimiento consiste en dividir el túnel a lo largo de su recorrido en secciones idóneas de puestas, de tal manera que se cubra todo el túnel en el menor número de puestas posibles dependiendo de la longitud del encofrado, esto para facilitar la colocación del encofrado a la hora de revestir, evitando interferencias con las demás puestas y para evitar puntos débiles de hormigón dentro del túnel esto por las uniones de los anillos de revestimiento.⁹

➤ **Formwork system**

Explica elementos primordiales para el proceso de revestimiento de túneles como lo es la bomba de hormigón y a su vez, un suministro de hormigón; por otro lado, este debe tener al menos dos sensores de presión, los cuales deben estar dispuestos en diferentes posiciones verticales del encofrado cuyos sensores deben estar diseñados para medir la presión que actúa sobre los elementos de encofrado en un mínimo de dos alturas diferentes de las bóvedas de la estructura, esto para tener un claro control del proceso, donde se esté vigilando todos los aspectos que llegan a influir durante el proceso de fraguado del hormigón.¹⁰

⁸ TOMÉ, J. Diseño de encofrado de túnel. Proyecto trabajo final de grado (Doctoral dissertation). [online] 16 de octubre del 2018. [citado el 15 de septiembre del 2019].

⁹ FORM FOR CONCRETE-PLACEMENT TUNNEL LINNG. HENTSCHEL, V., *et al.* Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. Washington. N° 4.856.936. 2017, [online], [citado el 12 de diciembre del 2019].

¹⁰FORMWORK SYSTEM. KERN, A. Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. Washington, DC. N°9.945.229, 2018, [online], [citado el 12 de diciembre del 2019].

2. DELIMITACIÓN

En primera instancia se completará el modelamiento de la sección castillete anchuron en el software CAD *PTC Creo PARAMETRIC*, cuyo propósito dentro del carro encofrador es de realizar el revestimiento de la sección más ancha del túnel; posteriormente se procederá a crear tres planos dentro de los cuales tendremos: ensamble general, ensamble de plataformas, despiece de plataformas, despiece de vigas, despiece de plataformas y tramex (rendijas) de castillete, estos planos pasarán por una serie de revisiones para finalmente ser aprobado por *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* y ser entregados a *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN* para su respectiva fabricación.

En segunda instancia se elaborarán solamente los planos de montaje del carro encofrador pertenecientes al manual del mismo, los planos son un aglomerado de aproximadamente 50 planos, dentro de los cuales se deberá encontrar: planos generales, pre-montajes, montajes, nomenclatura de paneles, despieces, esquemas de circuitos eléctricos, esquemas de circuitos de potencia, esquemas neumáticos e hidráulicos y zonas de descarga en obra, para finalmente, enviar estos planos junto con el manual del proyecto a la escuela de Vigo, España, para su aprobación, certificación y visado del proyecto.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

levantamiento de planos de fabricación correspondientes a la sección castillete anchurón, planos de premontaje, montaje y rediseño del sistema hidráulico del carro encofrador para revestimiento de los túneles Sinifaná y Amagá del proyecto vial *Autopista conexión pacífico 1*.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Conocer el proyecto 0119TU de la empresa CÁLCULO INGENIERIA S.A.S.
- Elaborar los planos de fabricación de la sección castillete anchurón.
- Proponer los planos para la implementación de un rediseño del sistema hidráulico del carro porta encofrados.
- Elaborar los planos de montaje del proyecto 0119TU.

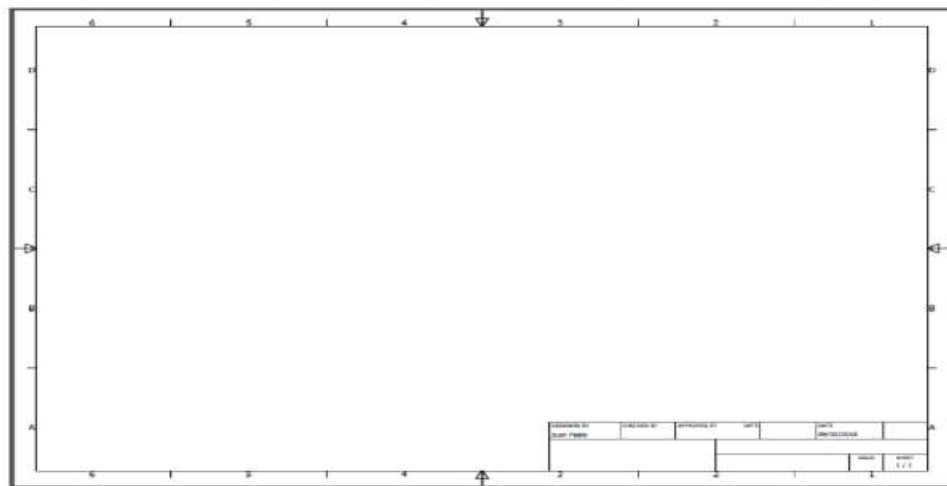
4. MARCO REFERENCIAL

4.1 MARCO TEÓRICO

En la elaboración de los planos para la empresa *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S*, se tendrán en cuenta normas técnicas, las cuales son avaladas por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC). El conocimiento de las siguientes normas garantiza la correcta creación de los planos de diseño.

4.1.1 Rótulo. Está compuesto por un rectángulo general con una longitud de 170 mm, el cual se divide en más rectángulos, donde cada uno lleva información respecto al dibujo. Estos se ubican en la parte inferior derecha del formato, los cuales tienen 2 formas de ubicación dependiendo de la orientación del formato tanto vertical y horizontal como se evidencia en las figuras 1 y 2 respectivamente¹¹.

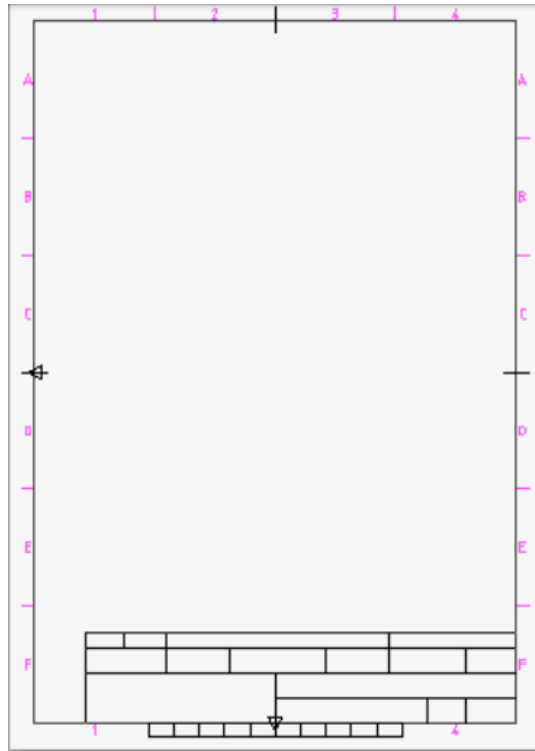
Figura 1. Formato horizontal.



Fuente: AGÜERO Alfredo, Rotulado, p-13.

¹¹ AGÜERO, Alfredo. Normas internacionales de dibujo de planos mecánicos. Rotulado. [online], P 13.

Figura 2. Formato vertical.



Fuente: AGÜERO Alfredo, Rotulado, p-13.

Tipos de rótulos: Los rótulos pueden variar dependiendo de la información que se requiera suministrar en el dibujo mecánico requerido para el diseño de un dibujo mecánico¹², estos se dividen en:

- **Rótulo simple en un formato.**

En este rótulo se estipula información básica de la pieza y del ensamble como: nombre de la pieza o denominación del ensamble, número del plano o dibujo, las fechas de realización, aprobación y revisión, los nombres de las personas responsables para estas tareas. Incluye información del plano que permita identificar las dimensiones mediante la escala, el tamaño del plano, el símbolo de disposición de las vistas y las tolerancias (si es necesario), además, información del material en el cual fue diseñada la pieza y su peso y la información necesaria al momento de ejecutar la fabricación de la pieza o ensamble, como se puede ver en la figura 3.

¹² QUISPE, Jair. Rotulado. Normas de dibujo mecánico norma INEN CPE 003 1989. [online] P. 5- 6.

Figura 3. Rótulo formato diseño.

				Tolerancia	Peso	Material:	
				(A)	(B)	(J)	
					Fecha	Denominación:	Escala:
				(C)		(K)	(M)
				(D)			(N)
				(E)			
				(I)		Nº de Dibujo	(O)
						(L)	
edición	modificación	fecha	nombre			Sustituye a:	

Fuente: QUISPE, J. 2014.

- (A) Tolerancia general del dibujo.
- (B) Peso o masa, en caso de ser necesario.
- (C) Fecha de realización del plano.
- (D) Fecha de revisión del plano.
- (E) Fecha de aprobación del plano.
- (F) Nombre de quien dibujó el plano.
- (G) Nombre de quien revisó el plano.
- (H) Nombre de quien aprobó el plano.
- (I) Siglas o nombre de la firma propietaria o confeccionadora del diseño.
- (J) Especificación del material con designaciones normalizadas.
- (K) Nombre o referencia del plano.
- (L) Número del plano dibujado.
- (M) Escala.
- (N) Tamaño del plano.
- (O) Símbolo de disposición de las vistas (Sistema Americano o europeo).¹³

- **Rotulado con listado de piezas.**

En relación con la información de las piezas diseñadas se debe ejecutar un rotulado donde se especifican los datos que se presenta a continuación en la figura 4.

¹³ Ibíd. p. 5.

[illegible]

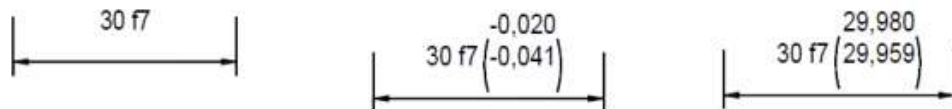
- (P)** Cantidad de cada pieza o elemento.
- (Q)** Denominación de cada pieza o elemento.
- (R)** Numero de norma o de dibujo; para piezas normalizadas, se anotará el número de la norma; para piezas que figuren en la lista, pero que tienen números de dibujo propios, se anotaran los números de estos dibujos.
- (S)** Material de cada pieza, de preferencia con designaciones normalizadas.
- (T)** Numeración de las piezas comenzando desde la parte inferior y terminando en la superior en forma creciente.
- (U)** Número del modelo de la estampa o matriz, producto semiterminado (En caso de ser necesario).
- (V)** Peso o masa de la pieza terminada, en kg/piezas(s).
- (W)** Observaciones generales particulares de cada pieza.¹⁴

¹⁴ QUISPE, Jair. Op. Cit. P. 6.

En ella se encuentra la forma de designación según su uso, es decir la ubicación de los números dependiendo a que se empleará. También cuando es necesario usar más de una escala en el dibujo, da las pautas para designación en el rótulo del plano. Por último, indica el proceder cuando los detalles son muy pequeños y no se puede dimensionar completamente en la representación principal, se muestran en un dibujo adyacente en una vista de detalle (o sección) y en una escala mayor.¹⁵

4.1.3 NTC 1722 dibujo técnico tolerancias de dimensiones lineales y angulares. Esta norma específica la indicación de las tolerancias de dimensiones lineales y angulares en dibujos técnicos, ver figura 5. La indicación de dichas tolerancias no necesariamente implica el uso de un método particular de producción, medición o calibración, Lo que quiere decir que se pueden fabricar las piezas por medio de cualquier proceso y medir sus características o requerimientos con cualquier instrumento de medición dentro de las necesidades de la cota, de igual forma estas tolerancias se pueden plasmar en los planos de diferentes maneras dependiendo su propósito.

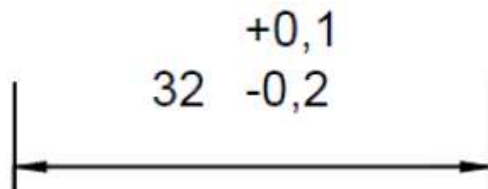
Figura 5. Indicación de componentes de una dimensión lineal, valores de desviación, límite de tamaño.



Fuente: NTC. 1722.

Por otro lado, dentro de la misma norma se encuentran el cómo deben ir las desviaciones permisibles, límites de tamaño y límites de tamaño según su dirección, para cada una de ellas muestra cómo debe estar acotada y su correcta forma de escritura en el plano, como se puede observar en la figura 6.

Figura 6. Tolerancia de dimensiones lineales y angulares.



Fuente: NTC. 1722.

¹⁵Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 1580, 1988-04-20, Primera actualización.

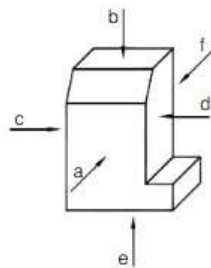
Para las partes ensambladas la norma muestra cómo se puede indicar el tipo de tolerancia ya sea mediante el uso de los símbolos de la norma ISO o mediante valores de dígitos.¹⁶

4.1.4 NTC 1777 dibujo técnico. Principios generales de representación.

Esta norma especifica los principios generales de presentación, los cuales se aplicarán a dibujos técnicos, siguiendo los métodos de proyección ortográfica.

La norma indica el tipo de vistas que se deben emplear en la elaboración de planos, tales como las vistas isométricas, para la cual están definidos tres tipos de isoplanos los cuales son: plano superior, derecho e izquierdo. Como se muestra a continuación en la figura 7.

Figura 7. Designación de vistas.



Fuente: NTC. 1777.

Vista en dirección (a) = vista de frente.

Vista en dirección (b) = vista superior.

Vista en dirección (c) = vista izquierda.

Vista en dirección (d) = vista derecha.

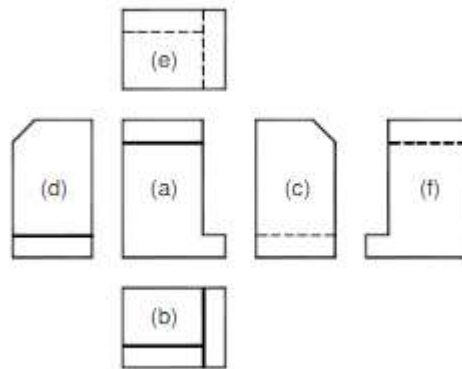
Vista en dirección (e) = vista inferior.

Vista en dirección (f) = vista posterior.

Para la presentación se debe tomar como principal la vista frontal ya que de esta vista se despliegan las demás, formando ángulos de 90° o múltiplos, el cual corresponde al método de proyección del primer ángulo. En la figura 8 se identifica el nombre de cada una de las vistas de una pieza o ensamble y en la figura 9, la norma de primera vista de un plano.

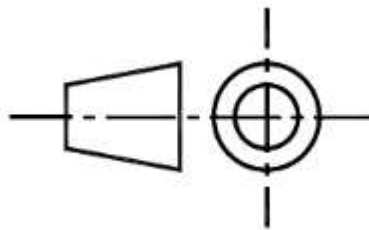
¹⁶ Instituto Colombiano de Normas Técnicas, NTC 1722, 2001-09-26, Segunda actualización.

Figura 8. Vistas.



Fuente: NTC. 1777.

Figura 9. Símbolo método del primer ángulo.



Fuente: NTC. 1777.

4.1.5 NTC 1960 Dibujo técnico. Dimensionamiento-principios generales.

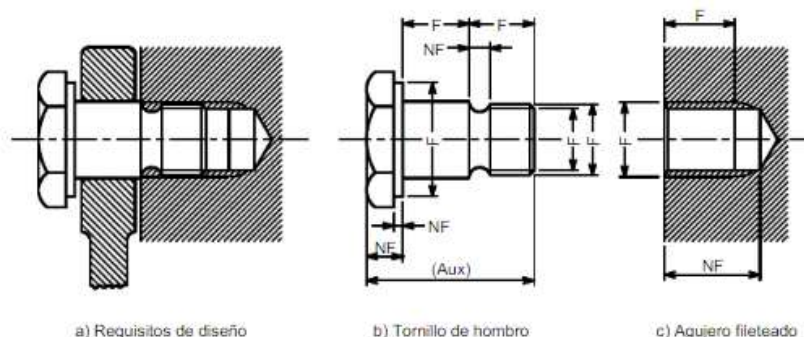
Definiciones. Métodos de ejecución e indicaciones especiales. El acotado define un dibujo a través de la identificación y marcación de todas sus medidas, de tal forma que se muestren de forma clara para evitar confusiones y posibles errores de dibujo, facilitando su fabricación y/o ensamble dependiendo del tipo de dibujo como se evidencia en la figura 10. La dimensión es un valor numérico indicado sobre un dibujo técnico y se clasifican en:

DIMENSIÓN FUNCIONAL (F): Es una medida necesaria para el funcionamiento o caracterización de una pieza.

DIMENSIÓN NO FUNCIONAL (NF): Medida adicional de una pieza, la cual no es esencial para el correcto funcionamiento de la pieza.

DIMENSIÓN AUXILIAR (AUX): es una medida que tiene como propósito informar o para que exista mayor claridad en el dibujo.

Figura 10. Dimensionamiento funcional, no funcional y auxiliar.



Fuente: NTC. 1960, elementos de dibujo técnico, p32-33.

Para que exista un buen acotamiento debe existir toda la información que permita presentar de forma clara, cada una de las cotas debe aparecer solo una vez para evitar confusiones, los dibujos se deben presentar siempre con la misma unidad de medida, si es necesario usar otro tipo de unidad se debe especificar el símbolo seguido del valor, las dimensiones a indicarse deben ser las necesarias no se deben anotar cotas que lleven a cualquier tipo de confusión.¹⁷

4.1.6 NTC 1831 Dibujo técnico. Tolerancias geométricas. Tolerancias de forma, Orientación, localización y alineación. Generalidades, definiciones, símbolos e indicaciones en dibujos. Ofrece los principios de simbolización e indicación en dibujos técnicos de tolerancias de forma, orientación, ubicación y alineación, y establece las definiciones geométricas apropiadas. De acuerdo con la característica que se impone a una tolerancia y a la manera como está dimensionada, ver tabla 1. la zona de tolerancia puede ser:

- El área de un círculo.
- El área entre dos círculos concéntricos.
- El área entre dos líneas equidistantes o entre dos líneas rectas paralelas
- El espacio dentro de un cilindro.
- El espacio entre dos cilindros coaxiales.
- El espacio entre dos planos equidistantes a dos planos paralelos.
- El espacio dentro de un paralelepípedo.

¹⁷ BARRERA, Jennyfer. ELEMENTOS DE DIBUJO TÉCNICO. Bogotá, 2012. P 32-33.

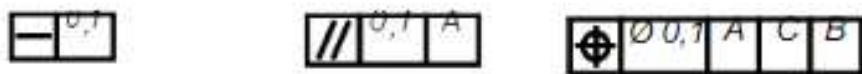
Tabla 1. Símbolos de tolerancia.

Características y tolerancias		Características toleradas	Símbolo	Subnumerales
Característica sencilla	Tolerancias de forma	Rectitud		14.1
		Planitud		14.2
		Circularidad (redondez)		14.3
		Cilindricidad		14.4
Característica sencilla o relacionada		Perfil de cualquier línea		14.5
		Perfil de cualquier superficie		14.6
Característica relacionada	Tolerancias de orientación	Paralelismo		14.7
		Perpendicularidad		14.8
		Angularidad		14.9
	Tolerancias de localización	Posición		14.10
		Concentricidad y coaxialidad		14.11
		Simetría		14.12
	Tolerancias de alineación	Alineación circular		14.13
		Alineación total		14.14

Fuente: NTC. 1831.

Por otro lado, se encuentra información de cómo debe ser el marco de referencia, los cuales están escritos en un recuadro rectangular de dos o más secciones, en donde contienen de izquierda a derecha, el símbolo característico, el valor de tolerancia y si es necesario una letra o más que identifiquen los elementos de referencia. Ver figura 11 y 12.

Figura 11. Marco de tolerancias con elementos de referencia.



Fuente: NTC. 1831.

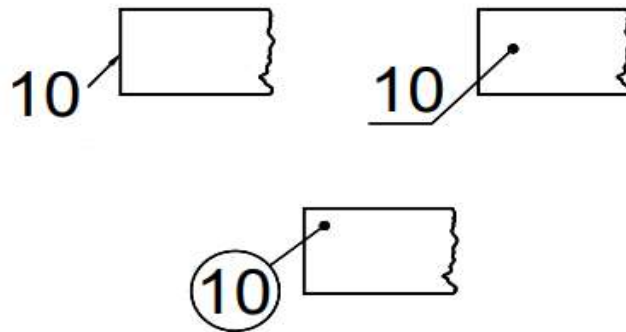
Figura 12. Marco de tolerancias para agujeros.



Fuente: NTC. 1831.

4.1.7 NTC 2099 Dibujo técnico. referencia de ítems. El objetivo de las referencias de ítems está en una fácil identificación de partes y/o componentes de ensambles, además, de la identificación de partes individuales detalladas en un mismo dibujo. Ver figura 13.

Figura 13. Forma de referencias de ítems.

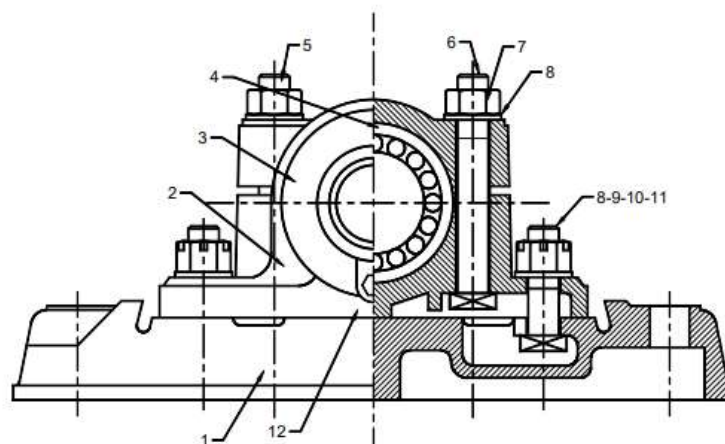


Fuente: NTC. 2099.

Las referencias de Ítems deben ser asignadas en orden secuencial, teniendo en cuenta que las partes idénticas de un mismo ensamblaje deben tener la misma referencia de ítem y todas las referencias deben incluirse en una lista con su información respectiva.

Las referencias deben ubicarse fuera del contorno del objeto a referenciar, evitando la intersección de los ítems y teniendo en cuenta los tres tipos de terminaciones posibles para las referencias.¹⁸ Ver figura 14.

Figura 14. Aplicación de referencias.



Fuente: NTC. 2099.

¹⁸ BARRERA, Jennyfer. ELEMENTOS DE DIBUJO TÉCNICO. Bogotá, 2012. P 43.

4.2 AUTOPISTA CONEXIÓN PACÍFICO 1.

El proyecto va dirigido a desarrollar uno de los puntos críticos de la construcción de nuevas rutas terrestres que conectan la ciudad de Medellín, con regiones de gran afluencia y de emergente crecimiento económico.

El proyecto consta de puentes en voladizos sucesivos, 2 túneles y 32.2 km de vías nuevas de doble calzada en los sectores de Bolombolo, Camilo C y el sector Cuatro palos. Al mismo tiempo se destina el mantenimiento de 18 km de vía del sector Cuatro palos, ancón sur, para dar un total de 20.2 km de vía concesionada.¹⁹

4.2.1 Túneles. Los túneles de Sinifaná y Amagá contemplan un conjunto de túneles carreteros dirigidos a conectar Medellín con el Eje Cafetero, Valle del Cauca y Buenaventura, agrupación conocida como el Alto de Minas. Los túneles constituyen una fase dentro el proyecto de autopista conexión Pacifico 1 que brindan una importante conexión permitiendo el desarrollo económico de la región.

La longitud total de los dos túneles comprende una longitud de 4.9 kilómetros provistos de nichos de parqueo, nichos SOS y galerías de encuentro.

- **Túnel Sinifaná.**

El túnel comprende una longitud de 1.3 kilómetros, a dos carriles para tráfico vehicular con un ancho de 3.65 metros cada uno, dos bermas a ambos lados del carril y 2 andenes para mantenimiento y situaciones de emergencia de 1.3 metros. Goza de una pendiente máxima promedio de 1.85%.

- **Túnel Amagá.**

El túnel de Amagá se comprende una longitud de 3.6 kilómetros aproximadamente con una pendiente de 2.94% promedio máximo, dos carriles para tráfico vehicular de 3.65 metros de ancho, dos bermas de 0.5 metros a ambos lados de los carriles y 2 andenes para situaciones de emergencia y mantenimiento.

¹⁹ Covipacifico. Conexión pacifico 1. [online].

4.3 ENCOFRADO AUTOPORTANTE.

4.3.1 Encofrado o Cascaron. Los paneles que conforman el encofrado proveen la geometría deseada, brindan el acabado requerido y agrupan las estructuras de trabajo como son las plataformas hastiales y el conjunto estructuras del castillete. El encofrado es conformado por una bóveda principal, los paneles hastiales y los faldoncillos como se puede observar en la figura 15.

- **Bóveda principal.**

Esta se constituye de los paneles centrales y paneles laterales junto a la estructura del castillete, relevante para el sistema de circulación de hormigonado.

- **Castillete.**

Estructura de acero que conecta paneles centrales y paneles laterales, además, sobre este se instala el sistema de hormigonado principal como lo es el distribuidor.

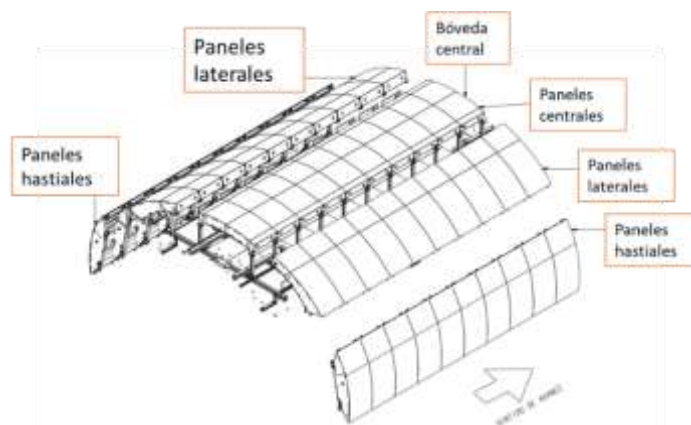
- **Panel hastial.**

Conforman la sección media del encofrado, son los paneles encargados de brindar apoyo estructural y de unir la bóveda principal y los faldoncillos.

- **Faldoncillo.**

Son el ultimo conjunto del encofrado, responsables de fijar la estructura a la viga base previamente instalada para transmitir esfuerzos cortantes producidos en el momento de encofrar. Adicionalmente se encargan de evitar efectos de flotación en la estructura causados por el concreto vertido.

Figura 15. Partes de un encofrado.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.2 Sistema de hormigonado. El sistema de hormigonado se distribuye dentro del encofrado y es por este que se lanza el concreto para el revestimiento del túnel, este se compone de los siguientes elementos:

- **Distribuidor de Hormigón.**

El distribuidor de concreto tipo revolver permite reducir el tiempo de ejecución con su sistema novedoso de posicionamiento tipo revolver para dirigir el hormigón rápidamente a donde se requiera. Ver figura 16.

Figura 16. Distribuidor.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

- **Bocas de hormigonado.**

Las bocas de hormigonado están distribuidas secuencialmente en la superficie del encofrado garantizando un flujo uniforme de hormigonado en el proceso de encofrado. El sistema de bocas de hormigonado permite la unión de las líneas de flujo de hormigonado y la superficie externa del encofrado. Las bocas de hormigonado tienen dos posiciones de funcionamiento, dependiendo de la ubicación de la lámina de apertura. Para abrir o cerrar la boca, se debe golpear con un martillo a la lámina de posicionamiento como se evidencia en la figura 17.

Figura 17. Sistema boca de hormigonado.

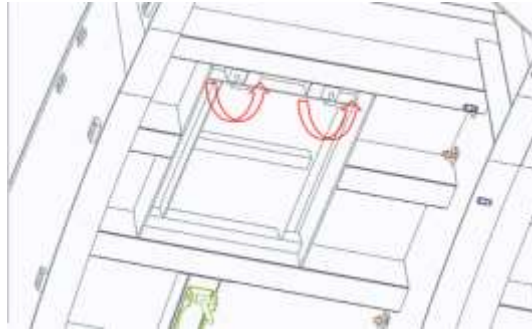


Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

- **Ventana de inspección y/o hormigonado.**

Las ventanas de inspección permiten la inspección de llenado. Se abren y se cierran girando los seguros. Estas están distribuidas entre los paneles del encofrado y permiten el correcto lanzado del concreto, ver figura 18.

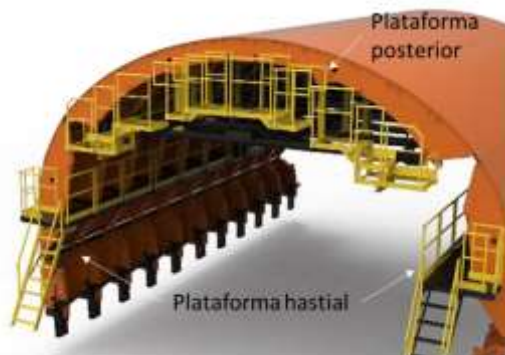
Figura 18. Ventana de inspección.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.3 Plataformas de trabajo. Las plataformas de trabajo son las estructuras donde se permite el acceso a zonas de trabajo y el paso de personal para el continuo trabajo para encofrar. Estas se ubican en los extremos del encofrado, acopladas a los paneles hastiales y en la parte posterior y anterior del castillete, como se identifica en la figura 19.

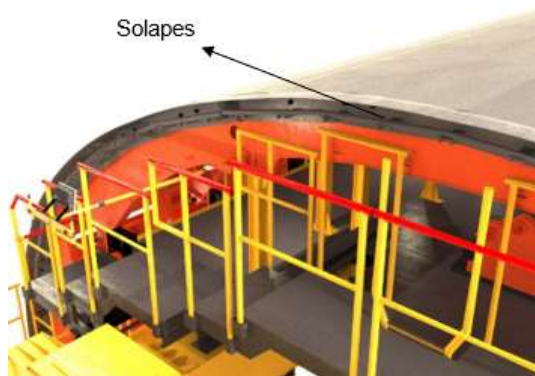
Figura 19. Plataforma de trabajo.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.4 Solapes. Los solapes tienen el objetivo de ajustar el encofrado a las puestas anteriores, mediante cuñas de madera o metálicas que absorben la diferencia de radios que presenta la geometría de la sección del túnel, ver figura 20.

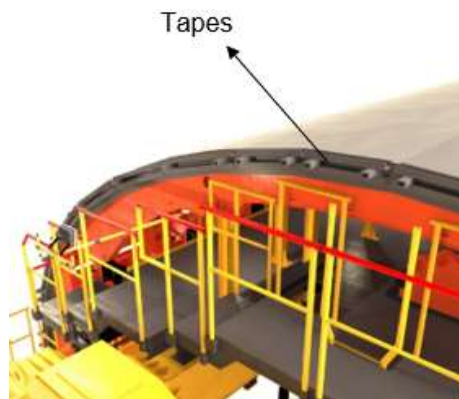
Figura 20. Ubicación de solapes.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.5 Tapes. Los tapes se fijarán al encofrado por barras de anclaje (dywidag) y la función de estos es asegurar secciones de madera, para evitar fugas de concreto durante el proceso de hormigonado, ver figura 21.

Figura 21. Ubicación de tapes.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.6 Carro porta encofrados. El carro porta encofrado permite el transporte y posicionamiento del encofrado. Se compone principalmente de dos pórticos acoplados por vigas y ángulos, cuatro patas telescópicas hidráulicas que permiten subir y bajar el encofrado.

- **Sistema hidráulico de posicionamiento.**

El sistema hidráulico de posicionamiento es el responsable de mover y posicionar el encofrado por medio de cilindros hidráulicos. Se compone principalmente de:

- 2 cilindros de posicionamiento horizontal (castillete).
- 4 cilindros de apertura de paneles hastiales.
- 4 cilindros de posicionamiento vertical, patas telescópicas.

La ubicación de estos elementos se identificar en la figura 22.

Figura 22. Carro porta encofrado.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

- **Sistema hidráulico de avance.**

El sistema de avance hidráulico se compone de 4 orugas impulsadas por motores hidráulicos. Estas orugas poseen cilindros hidráulicos de direccionamiento y de posición, que controlan el giro de la oruga, este movimiento se puede controlar en las 4 patas del carro porta encofrado, ver figura 23.

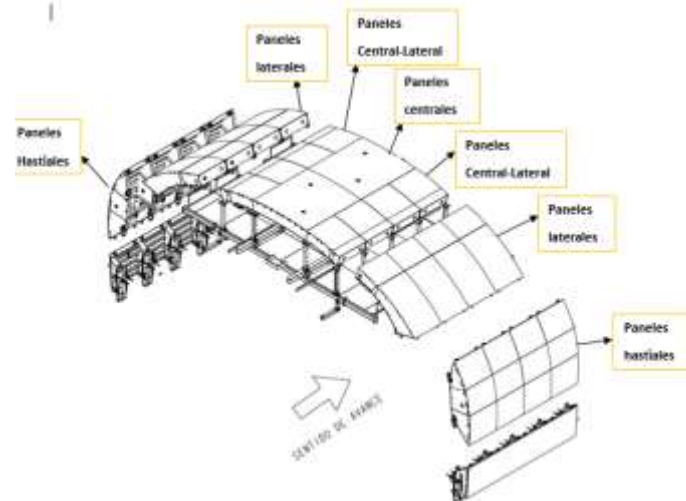
Figura 23. Sistema hidráulico de avance.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

4.3.7 Encofrado anchurón o nicho de parqueo. Al igual que el encofrado, el nicho de parqueo está compuesto por los mismos paneles hastiales y el conjunto estructuras del castillete, con la diferencia de que este, tiene una sección transversal más ancha respecto al primer encofrado, ya que, su función es la del revestimiento de la sección más ancha del túnel, de ahí su nombre, encofrado anchurón, ver figura 24.

Figura 24. Encofrado anchurón.



Fuente: Oficina técnica, Cálculo Ingeniería S.A.S.

5. METODOLOGÍA

Para la elaboración de planos de fabricación y montaje del proyecto 0119TU de la empresa Cálculo Ingeniería S.A.S se resume en las siguientes etapas:

5.1 ETAPA 1: INTRODUCCION AL PROYECTO 0119TU

Se realiza una capacitación e introducción a la empresa por parte del departamento de oficina técnica, la cual es la encargada del área de diseño e I+D de la empresa, donde se trata más afondo el estado actual del proyecto. Con la capacitación se recopila la mayor información posible respecto al equipo a fabricar, cliente y ubicación geográfica donde se emplea el equipo.

5.2 ETAPA 2: SOFTWARE CAD.

5.2.1 Introducción al programa CAD. Se cuenta con un tutor el cual supervisa y explica cada uno de los comandos del programa, comenzando así por el interfaz de “planos” del programa y posteriormente con “Piezas” y por último “ensambles”. Inicialmente se pasa por una capacitación antes de empezar a manejar los diseños CAD del proyecto.

5.2.2 Formatos de planos de fabricación y montaje. La empresa Cálculo ingeniería S.A.S, ya cuenta con unos formatos preestablecidos, los cual se deben conocer perfectamente para su correcto diligenciamiento en cuanto a la información necesaria para la fabricar piezas o elementos que se deban diseñar.

Para el formato o plano de montaje, este se debe diseñar, teniendo en cuenta la información a proporcionar en dicho plano.

5.3 ETAPA 3: MODELO CAD “CASTILLETE_ANCHURON.ASM”

Con base a las restricciones y parámetros de diseño de la empresa, se procede a culminar el modelo CAD del castillete del encofrado anchurón, esto bajo la supervisión del personal de la oficina técnica y siguiendo la metodología de diseño y ensambles CAD de la empresa.

5.4 ETAPA 4: PAQUETE DE FABRICACION, CASTILLE ANCHURON

Se procederá con los planos de fabricación de cada uno de los elementos y sub-ensambles que componen el conjunto general, de igual forma, estos planos se realizarán bajo la supervisión del personal de la oficina técnica.

Dentro del paquete de fabricación se contemplan planos como:

- Conjunto general.
- Despiece y/o explosionado.
- Subconjuntos.
- Listado de piezas.

Se debe tener en cuenta los requerimientos establecidos por el fabricante para la elaboración de planos, esto para presentar la información más clara y puntual para la correcta fabricación de los elementos.

5.6 ETAPA 5: PROPUESTA DE REDISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO DEL CARRO

Para la propuesta de rediseño, con ayuda del personal de la oficina técnica, se estudia el diseño original de las líneas hidráulicas (mangueras y racores) del sistema de posicionamiento y avance del carro de avance, esto con el fin, de definir los tramos de cada uno de los sistemas, accesorios y elementos para hacer su debida conexión, además, se intenta aprovechar parte del sistema hidráulico original del encofrado para reducir gastos.

Dentro del estudio se contempla:

- Sistemas hidráulicos.
- Tipos de cilindros Hidráulicos. (especificaciones y medidas).
- Condiciones generales de funcionamiento.
- Distribución del sistema hidráulico por el carro de avance.

5.7 ETAPA 6: PLANOS DE MONTAJE DEL PROYECTO 0119TU

Para la elaboración de los planos de montaje, se estudia los proyectos anteriores realizados y ejecutados por el CEO de la empresa, ya que este proyecto se ejecutará de la misma manera, esto según el CEO.

Cada uno de los planes de montaje a elaborar deberán tener de manera preliminar, despiece de cada uno de los conjuntos generales con su respectivo peso y nombre, además, deben tener la tornillería necesaria para cada una de las uniones y ensambles con sus respectivas cantidades.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

6.1 PROYECTO 0119TU

6.1.1 Alcance y emplazamiento. El proyecto va dirigido a la concesión vial Conpacífico 1, para la fase de revestimiento en concreto de los túneles Sinifaná y Amagá ubicados en el departamento de Antioquia, dentro del cual se contempla el rediseño, diseño y fabricación de:

- 4 módulos de viga base de 7.5 metros. (fabricación desde cero)
- 4 encofrados metálicos. (rediseño)
- 2 carros porta encofrados. (rediseño)
- 1 encofrado nicho de parqueo o anchurón. (rediseño)
- 1 nicho contra incendio (fabricación desde cero).
- 1 nicho SOS (nicho de auxilio) (fabricación desde cero).
- 1 encuentro peatonal (fabricación desde cero).
- 1 encuentro vehicular (fabricación desde cero).
- 1 galería peatonal (fabricación desde cero).
- 1 galería vehicular (fabricación desde cero).
- 1 carro para galerías (fabricación desde cero).

Para el cual, se toma como base, el equipo de encofrado, implementado en los túneles de la vía al llano, los cuales se encontraban almacenados en diversas bodegas de la ciudad de Villavicencio. De tal equipo se toma:

- 4 cascarones, a los cuales se les debe realizar diversos cortes a los paneles para conseguir el radio de la sección transversal de los túneles del cliente.
- 3 carros porta encofrados, de los cuales solo se adecuarán 2 y se tendrá de respaldo un tercero en caso dado de que alguno de los componentes no sirva, a estos carros se les realizará diversos ajustes de altura y reforzamiento, además de cambio del sistema de traslación.

Todas estas estructuras y equipos, se dividen en fases según el proceso constructivo del revestimiento, las cuales son:

Fase 1: Dentro de esta fase se encuentran los módulos de viga base, los cuales son estructuras metálicas cuya geometría permite fundir en concreto el anclaje o base principal del revestimiento del túnel. Esta sección es la primera que se debe fundir, ya que sobre este se apoyará y se anclará el encofrado metálico

para poder realizar el revestimiento del túnel como podemos observar en el anexo A.

Fase 2: En esta fase se encuentra la columna vertebral del proyecto, ya que hace referencia al revestimiento del túnel en sí, ya que entran en juego los encofrados con su respectivo carro porta encofrado, para dar inicio a esta fase, se debe primero tener la impermeabilización del túnel, esto mediante un geotextil que toma la sección del túnel, al igual encontramos una malla de acero, cuya geometría, al igual que el geotextil, se instala de tal manera que tenga la geometría del túnel; Dentro de esta fase se encuentran al igual los nichos contra incendio y los nichos SOS, ya que estos se emplean según su ubicación a lo largo del túnel y se deben fundir a la par que el encofrado, ver anexo B y anexo C.

Fase 3 y 4: En la culminación del revestimiento se encuentran las secciones correspondientes a nicho de parqueo, cuya función es el revestimiento de las secciones más anchas del túnel ya que aquí se encontrará como su nombre lo indica, la bahía destinada para el parqueo provisional de vehículos dentro del túnel, de igual forma se encuentran los encofrados denominados, galerías y encuentros, implementados para el revestimientos de las secciones de túnel que conectan los túneles principales, tanto para vehículos como para personas en caso de emergencias y facilitar la evacuación del túnel. estas secciones son de un tamaño mucho menor con respecto a la sección transversal del túnel vial. Ver anexo D.

El desarrollo del proyecto se enfoca en la fase 2, la cual es la columna vertebral del proyecto y de mayor impacto en materia de diseño y fabricación.

6.1.2 Especificación encofrada. El encofrado es una estructura metálica modular, la cual debe cumplir con una serie de requerimientos por el cliente, cuyo requerimiento de sección principal es el radio de circunferencia de la sección transversal, ya que este, debe ser el radio final del túnel puesto que el encofrado dará el acabado final al túnel mediante la fundida del concreto, este encofrado cuenta con 4 secciones de paneles (central, lateral, hastial y faldoncillo) 1 estructura de acero con acceso (castillete), y 2 plataformas de trabajo (plataformas hastiales), para unas medidas generales de:

- Largo: 15000mm.
- Ancho: 11580mm.
- Alto: 7230mm.
- Peso: 72 Ton.

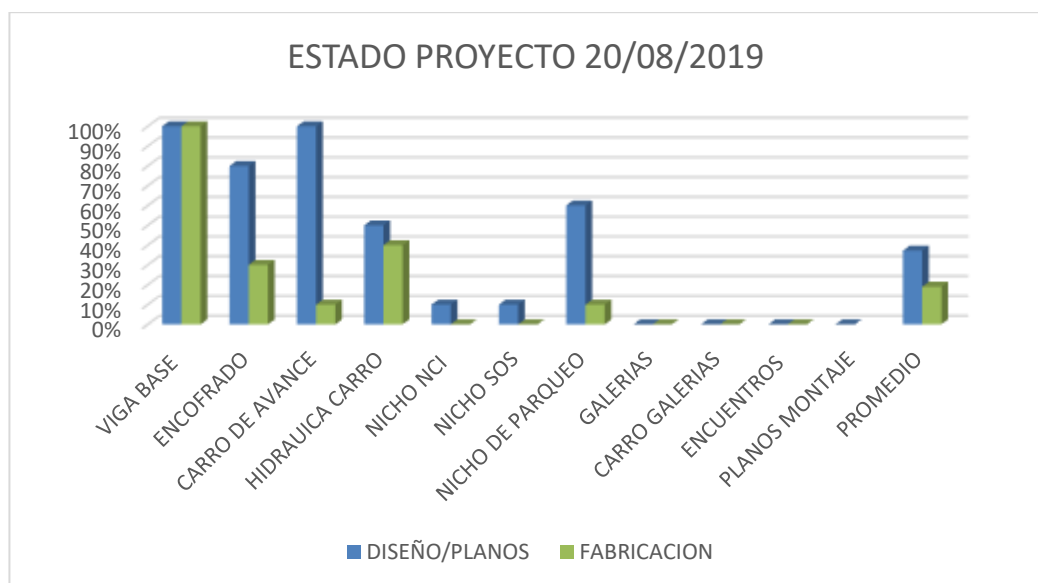
Adicional a esto, los paneles hastial y faldoncillo, se pueden retraer y extender a voluntad por medio de la implementación de cilindros hidráulicos los cuales son conectados entre paneles y carro porta encofrado, esto para el posicionamiento del encofrado dentro del túnel y cumplir con la debida topografía establecida por el cliente.

6.1.3 Estado proyecto. Se realiza un barrido por los diferentes diseños y parámetros de los diversos encofrados y carros del proyecto donde se explica cada uno según su complejidad y tamaño, además, se da a conocer los formatos o paquetes de fabricación de cada uno de los elementos de como lo son paneles, vigas, soportes, riostras, accesorios, etc...

Por último, se realiza una visita al complejo de la empresa CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S, ubicada en Bogotá DC, localidad de Fontibón, cuya empresa es la encargada de la parte metalmecánica del proyecto, en esta se realizó una inspección por las diversas naves de procesamiento revisando el estado actual del proceso.

A continuación, se muestra de manera porcentual en la figura 25 el estado del proyecto a la fecha del 20 de agosto del 2019. Teniendo en cuenta que el proyecto se dio inicio el mes de abril del 2019, y que primero se tuvo que realizar un levantamiento en CAD de los equipos a implementar en el proyecto.

Figura 25. Porcentaje proyecto 0119TU 20/08/2019.



Fuente: elaboración propia.

A la fecha se evidencia que el proyecto tiene un avance del 37% correspondiente a diseño CAD con planos de fabricación, y a la fabricación 19%, cabe aclarar, que se priorice los elementos correspondientes a fase 1 y fase 2, junto con los planos de montaje por su importación en el proceso constructivo de revestimiento de túnel.

A continuación, en la figura 26, se puede observar la diferencia de peso entre cada uno de los encofrados y carros de avance ya que cada uno de estos elementos tiene un diseño diferente y por ende no se pueden comparar entre sí en temas de fabricación.

Figura 26. Pesos proyecto 0119TU.



Fuente: elaboración propia.

Los pesos de carro de avance para galerías, encofrados de encuentros y galerías, son estimaciones de pesos, con base a proyectos anteriores realizados por el CEO de la empresa.

6.2 PTC CREO PARAMETRIC.

Cálculo Ingeniería S.A.S tiene establecido como programa principal para la elaboración de máquinas y planos, el programa *PTC CREO PARAMETRIC*.

Este programa presenta la característica de poder realizar modelaciones robustas y de rápido manejo, dando como resultado una rápida visualización de los diferentes ensambles y piezas, lo que permite que cada parte interesada vea su modelo CAD a escala superpuesta en el mundo físico, otro aspecto importante, es su compatibilidad con otros programas CAD, ya que permite

trabajar con datos importados que no sean propios del software, como lo son *MIDAS NK*, *INVENTOR*, *SOLID EDGE*. *AUTOCAD*, etc.

6.2.1 Interfaz de planos. Se realiza una capacitación del programa, comenzado por la sección de planos, con la explicación del rótulo e información a tener en cuenta a la hora de realizar los planos de fabricación, además, de aspectos importantes como lo es:

- Exportación de un ensamble y/o pieza a un plano.
- Formato de vista.
- Vistas y creación de vista proyectadas.
- Escala.
- Acotamiento
- Referencia de ítems.
- Tabla de piezas.

La explicación de cada uno de los comandos se realiza por medio de piezas y ensambles pequeños, de igual forma se entrega un manual del programa junto con videos tutoriales del mismo, cabe aclarar, que el programa se maneja en idioma inglés.

6.2.2 Interface “Part” y “Assembly”. Continuando con la capacitación del programa, se procede a realizar una serie de piezas para el conocimiento de los comandos y el correcto manejo de los “sketch” (esbozo), planos de una pieza, extruir y generar diferentes contornos, para así, llegar al interfaz de ensambles, al cual se dedicó más tiempo por la amplia gama de comando que posee el programa para el diseño CAD.

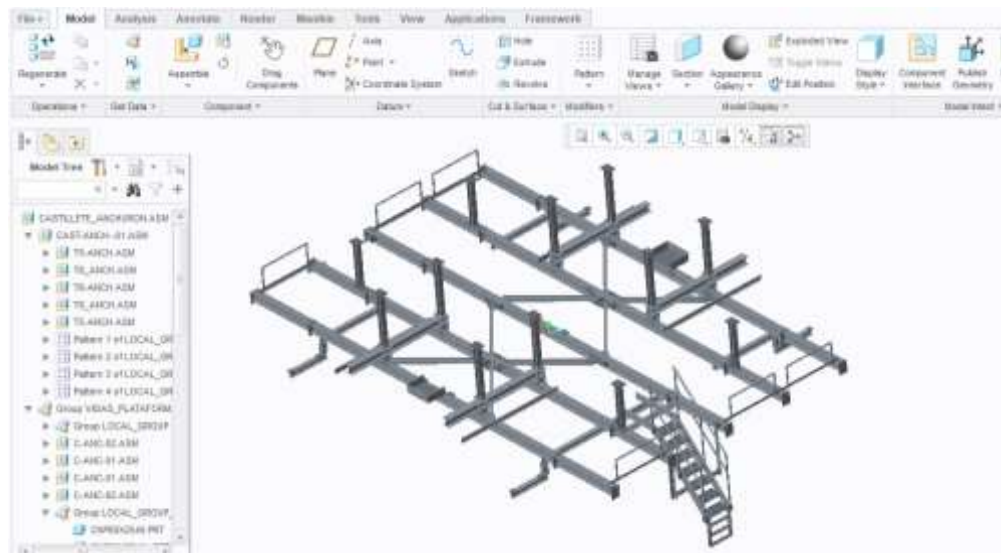
Para esta parte de la capacitación se trabajó sobre piezas y conjuntos del castillete anchurón para ir familiarizarse con el proyecto, además de ir teniendo en cuenta las condiciones del diseño, como restricciones entre elementos y su función. De igual forma, estos primeros acercamientos con el programa se realizaron en un lapso de 2 días y posteriormente se comienza a trabajar con los archivos del proyecto en ejecución.

Cabe aclarar, que a medida que se fue trabajando con el programa y se iban presentando nuevas incógnitas sobre el funcionamiento del mismo, estas se resolvían gracias al acompañamiento del equipo de oficina técnica de la empresa.

6.3 CASTILLETE ANCHURON

6.3.1 Modelado CAD. Con base en las capacitaciones realizadas previamente sobre la interface ensambles del programa, se procede a completar el modelo del castillete, el cual es una estructura metálica conformada por perfiles HEA, platinas, perfiles tubulares, además, de rendijas denominadas tramex. Esta estructura se encarga de sostener la bóveda central la cual es la cupula del encofrado conformada por lo paneles centrales y laterales, además de servir como acceso a los laterales del carro para poder realizar el trabajo de tapón para el vertimiento del concreto. En la figura 27 se evidencia el CAD de castillete antes de ser completado.

Figura 27. Modelado CAD al 45% castillete aneurón.



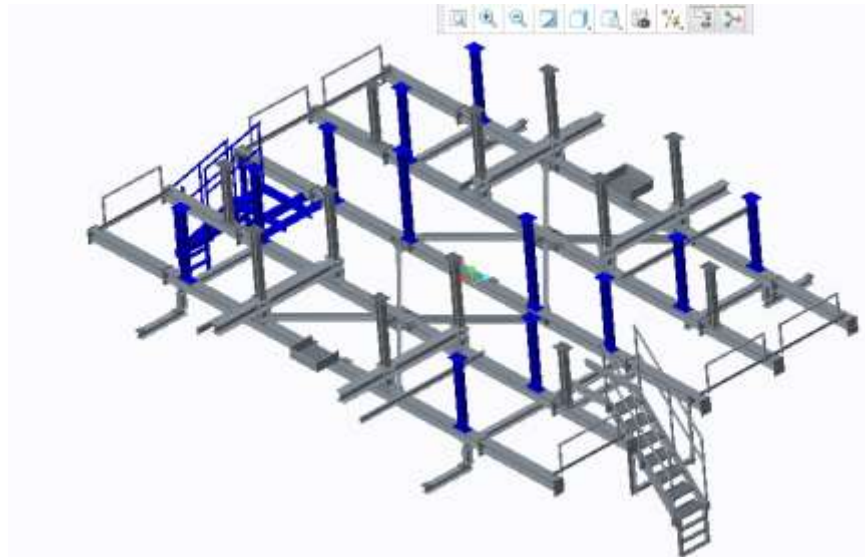
Fuente: elaboración propia.

Para completar el CAD, se tienen en cuenta los siguientes aspectos ya que se tenía un precálculo de la estructura, este cálculo de esfuerzos es realizado por el equipo de calculistas de la empresa, que en su momento se encuentran en España. Desde allí hacen la debida retroalimentación para el diseño y modelado, teniendo en cuenta los siguientes materiales, perfiles y/o elementos:

- Perfil HEA 120.
- Perfil C de 3"X4.1, 4"X5.4, 6"X8.
- Perfil angular de lados iguales de 1/4" de espesor en adelante.
- Espesor de pletinas de 6, 9, y 12mm.
- Material ASTM A36.

De igual forma se tuvo en cuenta condiciones de longitudes máximas de vigas, ubicación, función, peso, elementos soldables, perforaciones para tornillería milimétrica, entre otros. En la figura 28 se puede ver el avance del modelo CAD del castillete.

Figura 28. Modelado CAD al 70% castillete anchurón.



Fuente: elaboración propia

Los elementos resaltados en color azul, son los elementos faltantes para completar lo que se considera la estructura principal del castillete, estructura que sostiene los paneles superiores del encofrado, principalmente se les denomina vigas o columnas de apoyo conformadas por perfiles HEA y platinas para ensamble y refuerzo del mismo.

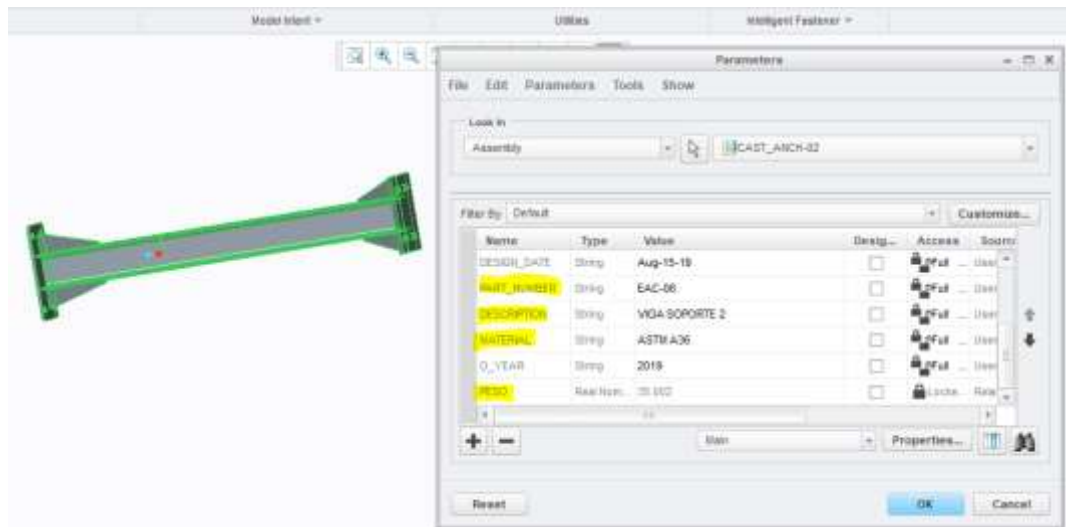
➤ Función “Parameters”.

El programa tiene la función de parametrizar piezas como ensambles, esto para dar nombres y/o códigos a cada uno de los elementos, descripción, determinar su peso, fecha de creación, proyecto al que pertenecen, modificación, etc., esto para tener un control de cada elemento que se diseña por la empresa, además, que esta función facilita mucho a la hora de la elaboraciones de planos de explosionados, tablas de elementos, y de agregar información adicional para su correcta fabricación o ensamble.

Dentro de *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* es obligatorio parametrizar cada pieza y cada ensamble que se diseñó esto por control y calidad.

A continuación, en la figura 29 se muestra algunos parámetros primordiales que hay que definir a cada pieza o en su defecto ensamble.

Figura 29. Parametrización de ensambles.



Fuente: elaboración propia

Los parámetros principales son:

- **PART_NUMBER**: que es el nombre o código que se le da a la pieza, es importante la claridad de este ítem ya que se graba en el conjunto a la hora de su fabricación y se usa para la identificación de la pieza a la hora del montaje.
- **DESCRIPTION**: Como en este caso es un ensamble, por lo general se da una descripción breve o se plasma su función; para piezas se especifica sus medidas generales o nombre según catalogo si es un perfil comercial.
- **MATERIAL**: Es esencial la especificación del material de la pieza, ya que con base a este se tiene claridad de aspectos como su densidad y se debe tener en cuenta para su pedido o fabricación.
- **PESO**: Este se diligencia para tener un control de fabricación ya que este se costea según su peso y, además, para tener en cuenta a la hora del montaje en obra.

Continuando con el modelado del castillete, se debe verificar que cada una de sus columnas estén ubicadas correctamente permitiendo el ensamble de la bóveda central, además de verificar intersecciones entre elementos o desfases entre agujeros para tornillería, ver figura 30.

Figura 30. Modelado bóveda central.



Fuente: elaboración propia.

El castillete también porta las plataformas de trabajo, las cuales permiten el acceso de personal al borde superior de la bóveda central, esto para realizar el trabajo de tapón de los extremos del encofrado para el vertimiento del concreto, estas plataformas en color rojo se ensamblan al castillete por medio de tornillería, y deben tener sus barandillas para asegurar al personal dentro de las plataformas, ver figura 31.

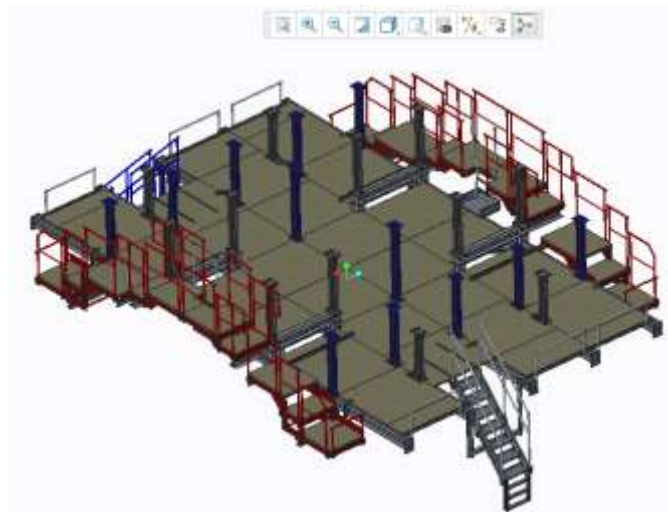
Figura 31. Modelado CAD al 90% castillete anchurón.



Fuente: elaboración propia.

Finalmente se agrega las pasarelas o rendijas para poder transitar sobre la estructura del castillete y las plataformas de trabajo, a este elemento se les denomina "tramex" y se modela de manera representativa como un sólido, pero en realidad son rendijas electrosoldadas con superficie corrugada de 40mm de espesor, lo importante en los tramex es tener la geometría exterior teniendo en cuenta que no tengan intersecciones con las vigas o demás elementos del castillete, ya que se fabrican según su contorno, ver figura 32.

Figura 32. Modelado CAD castillete anchurón.

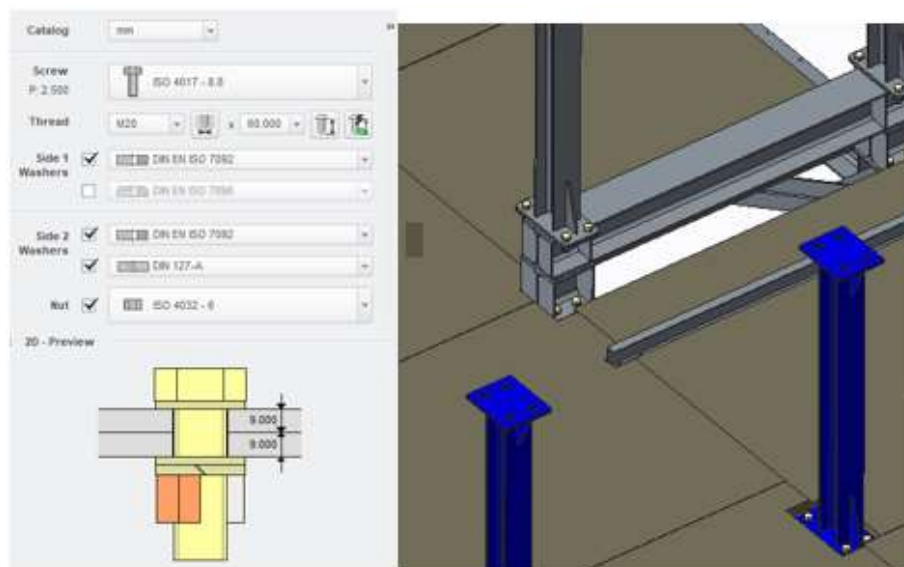


Fuente: elaboración propia.

Por último, se procede a instalar la tornillería del ensamble, verificando que cada tornillo tenga su longitud estándar correcta y que permita el torque o apriete de los elementos, como se ve en la figura 33, para la tornillería según norma ISO 4017 se implementa:

- Tornillería métrica negra grado 8.8.
- Doble arandela plana
- Arandela de seguridad
- Tuerca.

Figura 33. Tornillería.



Fuente: elaboración propia

El modelo CAD es pasado al director de Ingeniería para su revisión y validación para poder proceder con sus respectivos planos de fabricación.

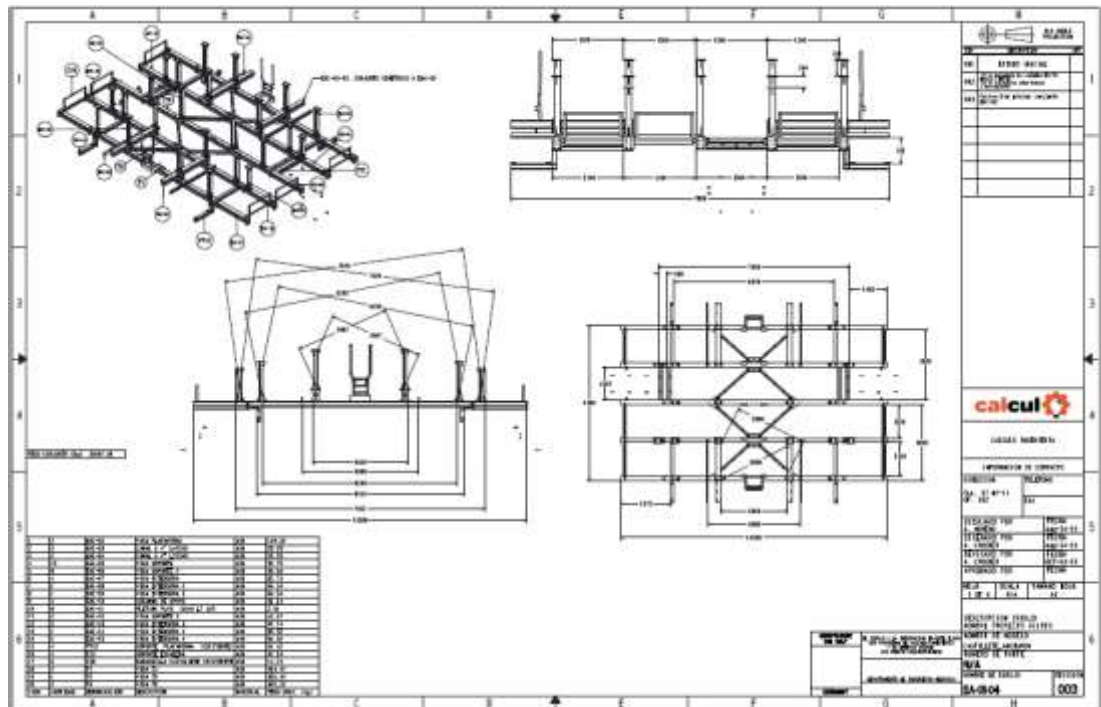
6.3.2 Planos de fabricación. Para la elaboración de los planos, primero se deben tener en cuenta condiciones o requisitos solicitadas por la empresa encargada de la fabricación, en este caso *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*, dentro de los cuales se tiene:

- Cotas generales de ensamble y verificación.
- Cotas generales de piezas o perfiles
- Descripciones claras de los perfiles como canales, vigas, ángulos tubos, etc.
- Espesores de pletinas.
- Listado de materiales con referencias.
- Pesos de conjuntos y piezas por separados.
- No es necesario agregar la escala de cada vista, por tal motivo siempre se solicitan cotas generales.
- Número y fecha de revisión de planos, con información sobre cambio de algún elemento o geometría.

Como adicional y a los planos de fabricación, se deben enviar un archivo con extensión Dxf de cada platina y/o lámina a fabricar a escala 1:1 ya que estos son cortados por láser.

Se empieza con la elaboración del plano de la estructura principal, los cuales se trabajan en formato A1 con Rótulo en orientación vertical y listado de ensambles generales y particulares. El plano pasó por tres revisiones para su aprobación final y su fabricación final, esta aprobación se da en conjunto por parte de la oficina técnica de *CÁLCULO INGENIERÍA S.A.S* y el departamento de ingeniería de *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*. En la figura 34 se pudo ver la hoja principal del plano, para su mejor visualización, ver Anexo E.

Figura 34. Plano EA-01-04 Castillete.



Fuente: elaboración propia.

Para completar el paquete de fabricación del castillete se elaboran los siguientes planos:

- Plano EA-01-04: Estructura castillete. # de hojas 3
- Plano C-ESC: Escalera castillete. # de hojas 3
- Plano EAB-04-TRX: tramex castillete (rendijas). # de hojas 3
- Plano E5-E6-B: Plataformas de trabajo. # de hojas 5

Como resultado de los planos de fabricación, no se presentaron contratiempo a la hora de su fabricación y respectivo pre montaje en las instalaciones de **CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S**, donde se destinó la nave industrial número 5 de fabricación, para este conjunto, gracias al doble turno de la empresa, la fabricación tardó 1 semana desde la fecha de aprobación del paquete de fabricación.

En las figuras 35 y 36 se evidencia el proceso de pre-montaje de la bóveda central donde se verifican cotas generales del conjunto, tornillería y demás componentes que lo conforman, cabe aclarar que después de este proceso, cada viga y elemento que lo conforma es desarmado y programado para la nave industrial de pintura.

Figura 35. Pre-Montaje castillete.



Fuente: elaboración propia.

Figura 36. Pre-Montaje vista lateral



Fuente: elaboración propia.

6.4 PROPUESTA DE REDISEÑO LINEAS HIDRÁULICAS

La propuesta consiste en la distribución a través del carro de cada manguera y conexión que se necesitará para el accionamiento de los cilindros y motores hidráulicos. Para poder plantear el diseño de cada línea hidráulica, se debe partir de conocer el diseño original o antiguo del carro.

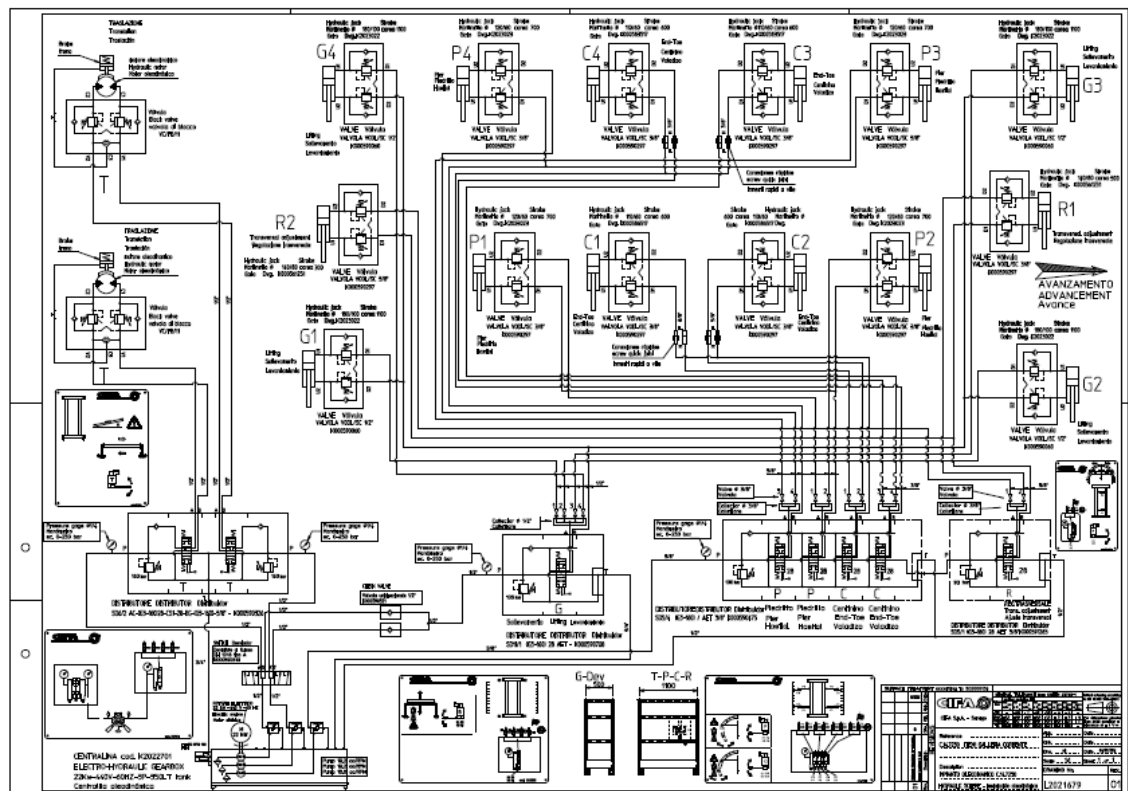
6.4.1 Sistema hidráulico original. Se partió con el estudio del esquema hidráulico original del carro, para recopilar la mayor información posible del sistema y comprender su forma de conexión desde la central hidráulica.

Como resultado del estudio se evidencia que:

- El sistema de translación solo va dirigido a dos llantas o patas del carro.
- El sistema de elevación cuenta con 4 cilindros hidráulicos independientes.
- E sistema de posicionamiento panel hastial, cuenta con 4 cilindros hidráulicos de los cuales se accionan en simultaneo en parejas de 2 cilindros (2 izquierda, 2 derecha).
- El sistema de posicionamiento de panel faldoncillo, cuenta con 4 cilindros de accionamiento independiente.
- Por último, el sistema de posicionamiento “centrado”, cuenta con dos cilindros independientes en su accionamiento.

Es muy importante la claridad de esta información ya que se evidencia que dicho sistema fue instalado o cuenta con líneas de acero inoxidable en los tramos largos del carro, y al poder reutilizarla se reducen los costos en mangueras hidráulicas, en a figura 37 se muestra el esquema hidráulico de conexión de los diferentes sistemas.

Figura 37. Esquema Hidráulico Original



Fuente: Cifa, Esquema hidráulico.

6.4.2 Sistemas hidráulicos nuevo. Inicialmente se conoce los sistemas que conformar la parte hidráulica del carro porta encofrados del proyecto 0119TU, esto para posteriormente compararlos con el sistema antiguo del carro para su rediseño y mejora.

Dentro de los sistemas hidráulicos para el proyecto se contemplan:

- Sistema de translación: 4 motores orbitales “OMSS 160” (159cm³ de cilindraje).
- Sistema tensor: 4 cilindros de simple efecto.
- Sistema freno motor: Freno hidráulico negativo ubicado en las orugas del carro (4).
- Sistema elevación: 4 cilindros hidráulicos de doble efecto.
- Sistema de posicionamiento centrado: 2 cilindros hidráulicos de doble efecto.
- Sistema de posicionamiento panel hastial: 4 cilindros hidráulicos de doble efecto.
- Sistema de posicionamiento panel faldoncillo: 4 cilindros hidráulicos de doble efecto.
- Sistema dirección: 8 cilindros hidráulicos de doble efecto.

Comparando el sistema antiguo con el nuevo sistema se evidencia que:

- Para el nuevo sistema se debe agregar sistema de dirección, los cuales funcionen por medio de dos mandos, de los cuales 1 controlará las 2 orugas delanteras y la segunda válvula controlará las 2 orugas traseras del carro.
- El sistema de translación debe ir a las 4 orugas del carro y accionadas con un único mando.
- Nueva línea hidráulica para el sistema de tensado de las tejas de las orugas, este de igual forma debe ir a las 4 orugas del carro y accionado con un único mando.
- Nueva línea hidráulica para el sistema de freno del reductor de las orugas, este debe ir en simultaneo con la línea de tensado de las orugas, es decir, accionado con el mismo mando.
- Sistema de posicionamiento de faldoncillo, centrado y elevación se mantienen al diseño original.
- Sistema de posicionamiento de hastiales se modifica con la única diferencia que se deben independizar los 4 cilindros, es decir, cada uno con un mando diferente.

6.4.3 Cilindros hidráulicos. Continuando con la recolección de información para las líneas hidráulicas, se procede a identificar cada uno de los cilindros, ver figura 38, esto para identificar el tipo de conexión que poseen y sus dimensiones, para esto, se realiza una visita a las instalaciones de la empresa encargada de la fabricación, restauración y puesta a punto de cada uno de los cilindros que conforman el proyecto.

Adicional a esto, dicha empresa de igual forma se encarga del diseño y fabricación de la central hidráulica del proyecto, por tal motivo se realizaron varias visitas durante su proceso de fabricación para llevar un control y también para una serie de capacitaciones o curso en hidráulica básica y avanzada, esto para facilitar la comprensión del sistema y tener una formación más clara respecto a esta área de la ingeniería.

Figura 38. Visita, Empresa COHA S.A.S



Fuente: elaboración propia.

De los cilindros hidráulicos se recopiló la siguiente información:

- Cilindros elevación: 160x100x1100, rosca de puerto 1/2" bsp.
- Cilindro hastial: 120x60x700, rosca de puerto 3/8" bsp.
- Cilindro faldoncillo: 110x60x600, rosca de puerto 3/8" bsp.
- Cilindro centrado: 140x80x300, rosca de puerto 3/8" bsp.
- Cilindro dirección: 150x50x400, rosca de puerto 3/8" bsp.
- Cilindro tensor: 70x60x600, rosca de puerto 3/8" bsp.

Como adicional, los cilindros de elevación deben tener válvulas de antirretorno pilotadas, esto para evitar que el peso del encofrado devuelva el pistón del cilindro y también para controlar la velocidad de elevación y descenso de estos cilindros.

6.4.4 Líneas hidráulicas. El sistema hidráulico original del carro, cuenta con una serie de tubería, la cual se distribuye por gran parte del mismo y solo en algunos tramos, emplea mangueras, como se evidencia en la figura 39, en la cual se ve la tubería que está montada a un costado de una de las patas del carro de avance.

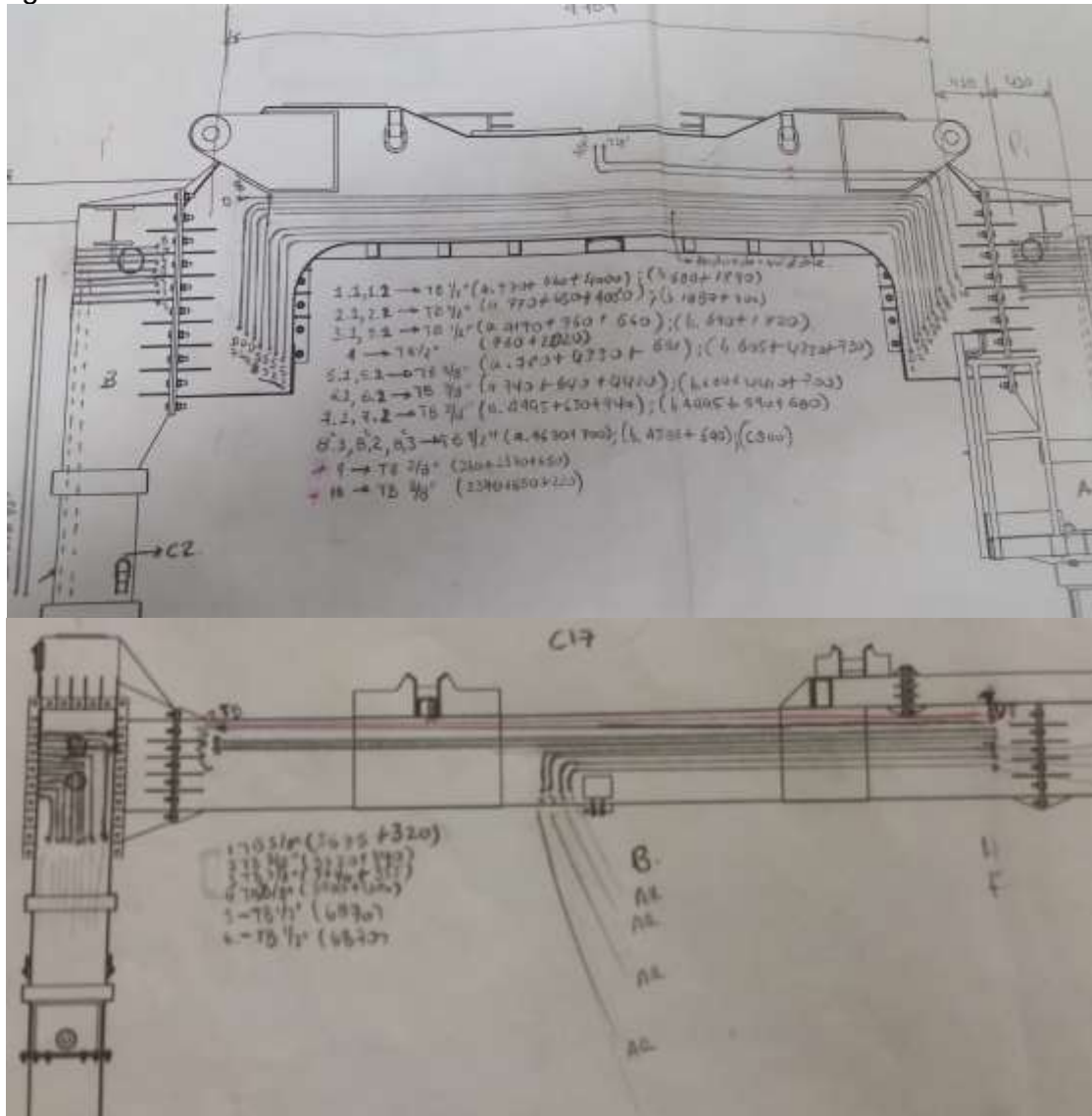
Figura 39. Línea hidráulica.



Fuente: elaboración propia.

Se realiza un levantamiento a mano alzada de estas líneas, antes de su desmontaje, ya que esto facilitaría su identificación y posición en los diferentes elementos que conforman el carro, además, porque esta tubería tiene en algunos casos una serie de geometrías o figuras las cuales ayudan como referencia y fácil identificación, ver figura 40.

Figura 40. Levantamiento de líneas hidráulicas.



Fuente: elaboración propia.

Cada una de estas líneas de manera cuidadosa fue desmontada de las vigas longitudinales, patas y pórticos de los 3 carros existente, y junto con el equipo de mantenimiento de *CMA INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN S.A.S*, se procedió a clasificar por longitud, diámetro y ubicación en el carro. Esto primero porque el carro será reprocesado y reforzado para su adecuación al nuevo proyecto y segundo para la debida evaluación y mantenimiento de cada uno de estos tramos de tubería, de igual forma con líneas neumática se realiza su limpieza interna y verificación de fugas, y una debida limpieza externa.

Posteriormente se tomó una muestra y debidas medidas para identificar y tener claridad respecto a sus características, de diámetro tanto interior como exterior y espesor de pared.

Se determinó con ayuda de la empresa hidráulica *COHA S.A.S* que la tubería es de acero inoxidable 316, cuyo nombre técnico o para temas de instrumentación hidráulica se denomina *TUBING*. Esta tubería también es utilizada en plantas químicas y terminas.

Con ayuda de catálogo de tubing Sandvik²⁰ y la información recolectada se determina las especificaciones de la tubería existente del proyecto. Ver figura 41.

Figura 41. Método de Selección de Tubing.

Stainless Steel Fractional Tubing															
Tube O.D. (inches)	Tube Wall Thickness in inches														
	0.010	0.012	0.014	0.016	0.020	0.028	0.035	0.049	0.065	0.083	0.095	0.109	0.120	0.134	0.156
1/16"	5,600	6,800	8,100	9,400	12,000										
1/8"						8,500	10,800								
3/16"						5,400	7,000	10,200							
1/4"						4,000	5,100	7,500	10,200						
5/16"							4,000	5,800	8,000						
3/8"							3,300	4,800	6,500						
1/2"							2,600	3,700	5,100	6,700					
5/8"								2,900	4,000	5,200	6,000				
3/4"								2,400	3,300	4,200	4,900	5,800			
7/8"								2,000	2,800	3,600	4,200	4,700			
1"									2,400	3,100	3,600	4,200	4,700		
1 1/4"										2,400	2,800	3,300	3,600	4,100	4,900
1 1/2"											2,300	2,700	3,000	3,400	4,000
2"												2,000	2,200	2,500	2,900

Fuente: Catalogo tubing Sandvik, Tabla presiones de operación.

Con base en lo anterior, se cuenta con dos tipos de tubing, 3/8" y 1/2" cuyas presiones de trabajo son 3.300 y 3,700 psi respectivamente, además, cada uno de los tramos de tubing cuenta en sus extremos con una tuerca M12 para tubing de 3/8" y M16 para tubing de 1/2", estos para el acople de accesorios o racores.

6.4.5 Mangueras, racores y Accesorios. Para poder plantear el diseño de cada una de las líneas del sistema hidráulico, es importante tener en cuenta datos como diámetro de los puertos de los cilindros, motores y reductor, así como válvulas y mandos, esto ya que para reducir porcentajes de perdidas en el sistema es bueno mantener los diámetros de cada una de las conexiones para evitar pérdidas por cambios de sección, al igual de tener claras las presiones de operación y máximas de cada una de las líneas para la selección de mangueras.

²⁰ Hy lok, México, Catalogo tubing Sandvik, p. 5.

➤ **Mangueras.**

Para la selección de mangueras se tuvieron en cuenta las presiones de trabajo y máximo de cada uno de los sistemas, al igual que los respectivos diámetros de los puertos de los cilindros y motores y por último el ambiente de trabajo en el que se encontrará, con lo cual se tiene que:

- **Sistema elevación:** 110 Bar, rosca 1/2" bsp.
- **Sistema hastial:** 100 Bar, rosca 3/8" bsp.
- **Sistema faldoncillo:** 100 Bar, rosca 3/8" bsp.
- **Sistema centrado:** 120 Bar, rosca 3/8" bsp.
- **Sistema Dirección:** 90 Bar, rosca 3/8" bsp.
- **Sistema tensor orugas:** 120 Bar, rosca 3/8" bsp.
- **Sistema Freno motor (reductor de oruga):** 15 Bar, rosca 1/4" bsp.
- **Sistema translación (motor hidráulico):** Rosca 1/2" bsp.

➤ **Nota:**

(1) Las presiones de trabajo fueron definidas con anterioridad por la empresa COHA S.A.S, teniendo en cuenta el diámetro de cada uno de los cilindros y la fuerza a ejercer para el accionamiento de cada uno de los movimientos del encofrado.

(2) Los datos de los motores hidráulicos y reductor, son según las especificaciones del componente. Ver anexo F y anexo G.

Con Esta información se seleccionan las mangueras SAE R2 de 3/8" y 1/2" ya que su presión de trabajo es superior a la de cada una de sus sistemas, las cuales son 330 Bar y 275 Bar respectivamente como se puede observar en la figura 42.

Respecto a las mangueras SAE R1, estas se pueden llegar a implementar ya que al tener 180 Bar para 3/8" y 160 Bar para 1/2" llegan a cumplir para el sistema, pero este tipo de manguera solo cuenta un con un solo refuerzo de malla trenzada de acero, mientras que las mangueras SAE R2, cuentan con dos refuerzos de malla y con respecto al ambiente de trabajo del equipo las R2 ofrecen mayor confiabilidad.

Figura 42. Tabla de características mangueras R2.

2SN / R2S



CONSTRUCCION DE LA MANGUERA
Tubo : Caucho sintético resistente al aceite
Refuerzo : Dos mallas trenzadas de acero de alta resistencia
Recubrimiento : Caucho sintético resistente a la abrasión y exigencias climáticas
Temperatura de trabajo : -40° C a +100° C (+120° C max.)
Vida útil: 200,000 impulsos

Especificaciones Técnicas:

inch	dash	Diametro (mm)		Presión de Trabajo		Presión de Rotura		Radio min. a doblar (mm)	Peso Kg / mt.
		Interno	Externo	bar	psi	bar	psi		
1/4	-4	6.4	15.0	400	5800	1600	23200	100	0.33
5/16	-5	7.9	16.6	350	5075	1400	20300	115	0.39
3/8	-6	9.5	19.0	330	4785	1320	19140	125	0.50
1/2	-8	12.7	22.2	275	3990	1100	15960	180	0.59
5/8	-10	15.9	25.4	250	3625	1000	14500	200	0.71
3/4	-12	19.0	29.3	215	3120	850	12480	240	0.86
1	-16	25.4	38.1	165	2395	650	9580	300	1.26
1 1/4	-20	31.8	48.3	125	1815	500	7260	420	2.02
1 1/2	-24	38.1	54.6	90	1305	360	5220	500	2.20
2	-32	50.8	67.3	80	1160	320	4640	630	2.85

Fuente: Hidráulica práctica, COHA S.A.S.²¹

➤ Racores para mangueras.

Para los racores de las mangueras se tiene en cuenta que estos sean los idóneos para el sistema hidráulico, ya que no se debe presentar fugas de aceite por las diferentes uniones roscadas por lo cual se evalúan dos tipos de rosca, las cuales son:

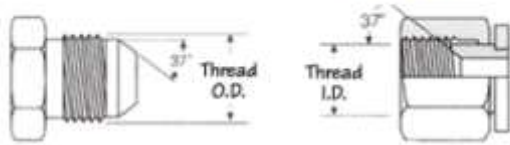
- Rosca Jic 37° SAE J514.
- Rosca recta SAE con O ring SAE J514/ J1926/1.

La rosca Jic, tanto hembra como macho tiene una configuración de rosca recta con asiento cónico a 37 grados. El sello se realiza por compresión en los terminales cónicos y la rosca solo es para retener la conexión. Como se puede ver en la figura 43.

²¹ Rueda, camilo, Hidráulica práctica, Coha s.a.s, enero 2019. P.275.

Figura 43. Rosca Jic 37° SAE J514.

ROSCA JIC 37° SAE J514



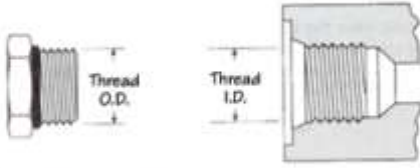
TAMAÑO	ROSCA	ROSCA MACHO OD Pulg	ROSCA HEMBRA ID Pulg
-2	5/16 - 24	5/16	9/32
-3	3/8 - 24	3/8	11/32
-4	7/16 - 20	7/16	13/32
-5	1/2 - 20	1/2	7/16
-6	9/16 - 18	9/16	1/2
-8	3/4 - 16	3/4	11/16
-10	7/8 - 14	7/8	13/16
-12	1 1/16 - 12	1 1/16	31/32
-14	1 3/16 - 12	1 3/16	1 1/8

Fuente: Hidráulica práctica, COHA S.A.^{S22}.

La rosca recta con O ring, sella por compresión del o ring contenido en el macho contra el chaflán en la hembra y la rosca solo retiene la conexión. Como se ve en la figura 44.

Figura 44. Rosca recta SAE con O ring SAE J514/ J1926/1.

ROSCA RECTA SAE con O ring SAE J514 / J1926/1



TAMAÑO	ROSCA	ROSCA MACHO OD Pulg	ROSCA HEMBRA ID Pulg
-2	5/16 - 24	5/16	9/32
-3	3/8 - 24	3/8	11/32
-4	7/16 - 20	7/16	13/32
-5	1/2 - 20	1/2	7/16
-6	9/16 - 18	9/16	1/2
-8	3/4 - 16	3/4	11/16
-10	7/8 - 14	7/8	13/16
-12	1 1/16 - 12	1 1/16	31/32
-14	1 3/16 - 14	1 3/16	1 1/8

Fuente: Hidráulica práctica, COHA S.A.^{S23}.

²² Ibid., p. 296.

²³ Ibid., p. 298.

Los dos tipos de racores son idóneos para sistemas hidráulicos, ya que los dos presentan un sello apropiado para fugas, pero por diferencia de costo se toma como elección la rosca Jic 37° SAE J514, además, que por sugerencia del personal de COHA S.A.S, las roscas con o ring suele dañarlas a menudo ya que no se controla el par de apriete de este y suelen reventar el O ring o perderlo.

Los tamaños del racor con rosca Jic a implementar son 3 y 5, ya que deben ser para las mangueras previamente seleccionadas, las cuales son de 3/8" y 1/2" respectivamente y se implementa el racor hembra para todas mangueras, esto para disminuir confusiones en las diferentes conexiones del sistema.

➤ **Accesorios de derivación.**

Las líneas hidráulicas del sistema de freno, tensor, dirección y translación comparten accionamiento simultaneo, pero en diferentes puntos del carro, por lo cual se deben derivar en ciertos puntos de conexiones de las líneas principales, para esto se emplean accesorios TEE.

Figura 45. TEE.

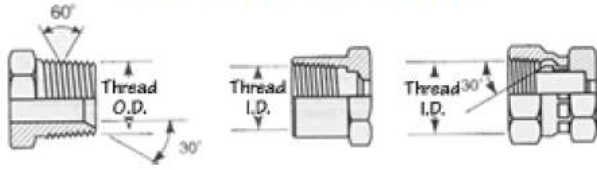


Fuente: Hidráulica práctica, COHA S.A.S.

Estos se seleccionaron tipo (H-H-H) es decir, hembra en sus tres entradas y viene en rosca NPT, la cual es una rosca cónica de 30 grados, estos se seleccionaron de igual forma, que los racores Jic, manteniendo un mismo tamaño de diámetro para las conexiones, las cuales son de tamaño 6 y 8 según la figura 46.

Figura 46. Rosca NPT SAE J514

ROSCA NPT SAE J514



TAMAÑO	ROSCA	ROSCA MACHO OD Pulg	ROSCA NPTF HEMBRA ID Pulg	ROSCA NPSM HEMBRA ID Pulg
-1	1/16 - 27	5/16	5/16	5/16
-2	1/8 - 27	13/32	3/8	3/8
-4	1/4 - 18	17/32	1/2	1/2
-6	3/8 - 18	11/16	5/8	5/8
-8	1/2 - 14	27/32	25/32	25/32
-12	3/4 - 14	1 1/16	1	1
-16	1 - 11 1/2	1 5/16	1 1/4	1 1/4
-20	1 1/4 - 11 1/2	1 21/32	1 19/32	1 19/32
-24	1 1/2 - 11 1/2	1 29/32	1 13/16	1 13/16

Fuente: Hidráulica práctica, *COHA S.A.S*²⁴.

➤ Acople rápido.

Estos elementos se emplean en los cilindros del panel faldoncillo porque el proceso de revestimiento consiste en transportar el encofrado con el carro de avance hasta el punto de hormigonado, este se posiciona y el carro de avance se retira, por lo cual en cada momento se debe desconectar estas líneas de los puertos de los cilindros sin perder aceite hidráulico, ver figura 47.

Figura 47. Acople rápido.



Fuente: Hidráulica práctica, *COHA S.A.S*.

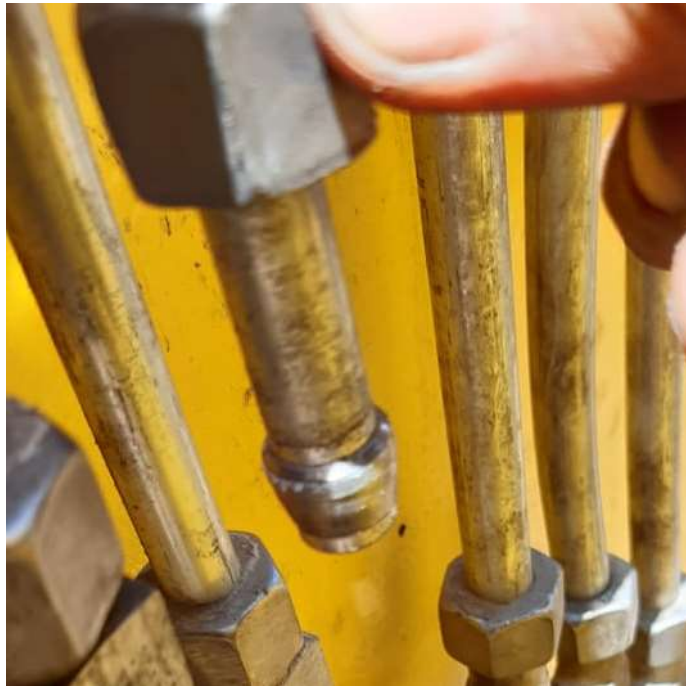
Como los acoples rápidos son para el sistema de faldoncillo, estos son de 3/8" NPT hembra tanto para parte hembra como macho del acople rápido.

²⁴ Ibit., p. 295.

➤ **Racor, unión tubing a manguera.**

Para poder conectar las mangueras al tubing se debe contar con un racor de conexión que por un lado se macho Jic, de 3/8" y 1/2", y por el otro lado del racor, este debe ser macho para tuerca métrica UNC de 1/2" y 5/8", además, de tener un asiento inclinado, ya que el tubing viene con unión cónica en las puntas, ver figura 48.

Figura 48. Acople tubing.



Fuente: elaboración propia.

La punta cónica cumple dos funciones, una de ellas es evitar que la tuerca se salga de la tubería y, por otro lado, permite un asiento en el racor a conectar siempre y cuando este cumpla con la misma geometría, permitiendo un mejor sello en la conexión.

El racor para la conexión es fabricado, ya que no se encuentran en el comercio como elemento estándar, por tal motivo, se acudió a la empresa *COINMAC S.A.S* la cual es una empresa dedicada a la fabricación y distribución de accesorios e instrumentación para sistemas hidráulicos y neumáticos, para que, con ayuda de ellos, se pueda fabricar el racor para las conexiones, ver figura 49.

Figura 49. Prueba racor para unión de tubing a manguera.



Fuente: elaboración propia.

Los racores fabricados para los tubing de 3/8" y 1/2" funcionan perfectamente con las respectivas tuercas de conexión.

Se procede a enlistar todos los racores y accesorios a implementar en el sistema teniendo en cuenta las dimensiones de los mandos, motores, reductores, cilindros y elementos de conexión para las diferentes líneas hidráulicas, ver tabla 2.

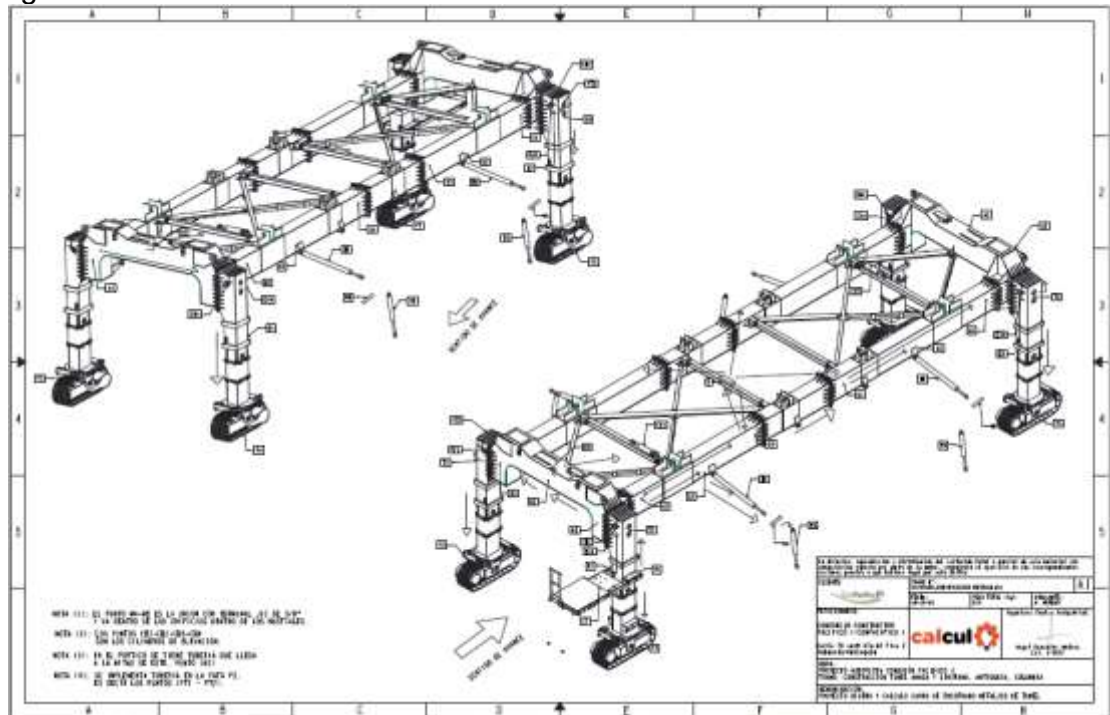
Tabla 2. Listado de racores y accesorios.

RACORES Y ACCESORIOS
A: ADAPTADOR MACHO JIC 3/8" PARA HEMBRA TUBO 12mm
B: ADAPTADOR MACHO JIC 1/2" PARA HEMBRA TUBO 15MM
C: ADAPTADOR 1/2" BSP X 1/2" JIC (M- M)
D: ADAPTADOR 1/2" BSP X 3/8" JIC (M- M)
E: ADAPTADOR DE 3/8" JIC A 3/8" NPT (M-M)
F: ADAPTADOR DE 1/2" JIC A 1/2" NPT (M -M)
G: ADAPTADOR 3/8" X 3/8" JIC (M -M)
H: ADAPTADOR DE 3/8" JIC A 1/4" BSP (M -M)
I: ADAPTADOR 3/8" JIC X 1/2" BSP (M -M)
J: ADAPTADOR 3/8" JIC A 3/8" BSP (M -M)
K: ADAPTADOR DE 1/2" JIC A 1/2" BSP (M -M)
L: ADAPTADOR RAPIDO 3/8" HEMBRA NPT
M: ADAPTADOR 3/8" NPT X 3/8" BSP (M-M)
N: TEE 3/8" (H - H - H)
O: TEE 1/2" (H - H - H)

Fuente: elaboración propia.

6.4.6 Distribución y longitud de mangueras. Como las mangueras se pidieron a medida, se tuvo que sacar con ayuda del CAD del carro, las longitudes de los diferentes tramos o secciones de mangueras teniendo en cuenta el tubing existente y ya clasificado, para facilitar el proceso, se codifico el carro en cada tramo, viga, pata, y secciones por donde debe pasar la manguera y en que partes se implementa tubing. Ver figura 50.

Figura 50. Codificación del carro de avance.



Fuente: elaboración propia.

Luego de la codificación, se realiza en el Excel, las diferentes líneas hidráulicas, marcando cada tramo y especificando la longitud de manguera (sacada del CAD), tubing (sacado del levantamiento de las líneas) y accesorios a implementar en dicho tramo, esto para determinar sin errores las cantidades de mangueras y racores por cada sistema.

Para cada uno del sistema se realiza una hoja diferente, para su mejor identificación y no confundir los sistemas, por último, se realiza una hoja Excel de resumen donde se encuentra el total de cantidades entre racores y accesorios para todos los sistemas y el listado general de mangueras clasificadas por diámetro y longitud con su respectiva cantidad, este libro de Excel se realiza todo formulado para disminuir errores.

En la figura 51 se ve un fragmento de la secuencia a seguir por tramos según la codificación para enlistar el racor a implantar y la longitud de manguera a tubing que pertenece al tramo nombrado.

Figura 51. Primeros tramos de línea hidráulica, sistema de dirección P1-P2-P3-P4.

LINEA	C1 - T1		RACORES																					
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
DIRECCION P1-P2	M6	3100				1	1									1								
	M6	3100				1	1									1								
DIRECCION P3-P4																								
TOTAL	M6	2				2	2									2								

LINEA	C1-T3		RACORES																					
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
DIRECCION P1-P2																								
DIRECCION P3-P4	M6	25500				1	1									1								
	M6	25500				1	1									1								
TOTAL	M6	2				2	2									2								

Fuente: elaboración propia.

Estos tramos corresponden al sistema de dirección tanto de pata p1-p2 como de p3-p4, y salen del mando de la central hidráulica (C1) al primer punto de derivación de cada una de las líneas (T1) y (T3) respectivamente, donde se marca la longitud y tipo de manguera (M6 L=3100mm y L=25500mm), el tipo y cantidad de los racores a implementar en ambos extremos de la manguera, más el accesorios de derivación que en este caso es, TEE 3/8" (N).

Este procedimiento se realiza para cada tramo, de cada línea hidráulica del carro de avance, teniendo como resultado, el resumen de mangueras y accesorios a implementar para el sistema.

Como resultado general de longitud de mangueras M6-3/8" se obtiene 594.8 metros lineales y una longitud total de mangueras M8-1/2" de 296.5 metros lineales. Ver anexo H.

6.4.7 Aprobación del sistema. Teniendo cotizaciones de accesorios y mangueras, plano de codificación de líneas hidráulicas y contar con el suficiente tubing tanto de 3/8" como de 1/2" para armar los dos sistemas correspondientes a los dos carros de avance a fabricar para el proyecto, se pasa el paquete a gerencia con la debida aprobación de oficina técnica, esto para su aprobación y comenzar con el proceso de compra y de adecuación de cada una de las tuberías, teniendo un resultado **aprobatorio** por parte de gerencia.

6.5 PLANOS DE MONTAJE 0119TU

6.5.1 Formato plano de montaje o manual. Antes de iniciar con la elaboración de los planos, se debe definir el formato a emplear para estos, ya que por temas de calidad no se puede emplear el mismo formato de fabricación, además, el Rótulo debe ser más simple ya que no es necesario plasmar toda la información.

Para el formato se sigue implementando el A1 horizontal, y solo se plasmará los datos plasmados en la figura 52.

Figura 52. Rótulo formato manual, Cálculo ingeniería.

La difusión, reproducción y distribución del contenido total o parcial de este material sin autorización expresa por parte de su autor, comportará el ejercicio de las correspondientes acciones penales a que hubiere lugar por este delito.			
CLIENTE:	PLANO N°:		(C)
(A)	(B)		
	FECHA:	PESO TOTAL (kg):	DIBUJANTE:
	(D)	(E)	(F)
PETICIONARIO:			
(G)	(H) 	(I)	
OBRA:	(J)		
DENOMINACIÓN:	(K)		

Fuente: elaboración propia

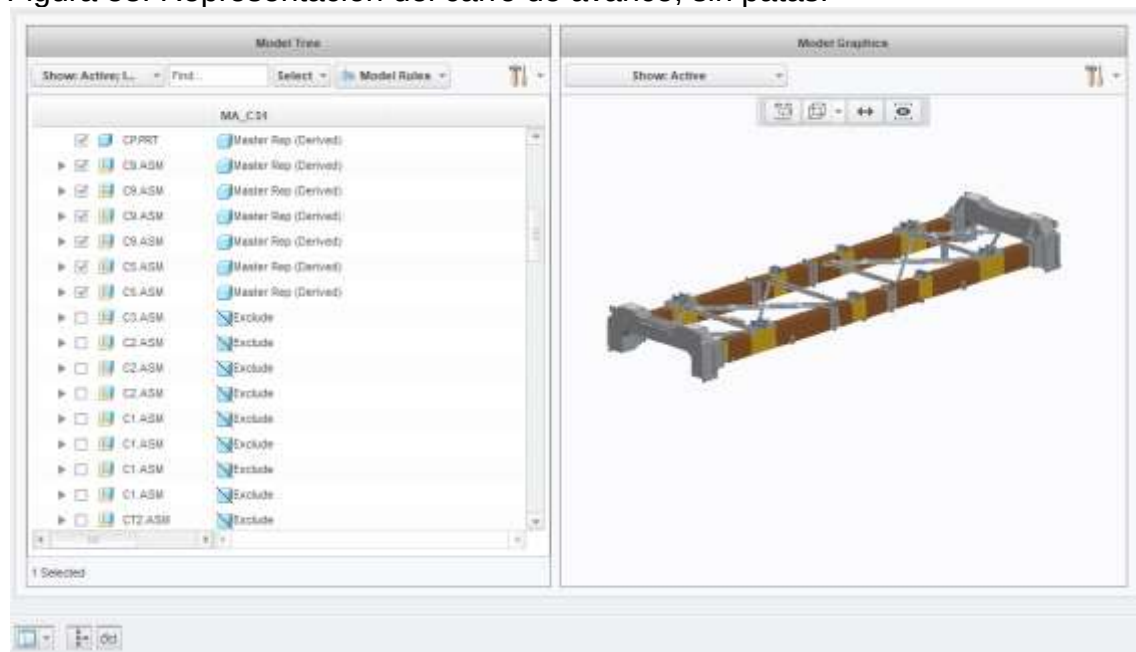
- (A): Logo de la empresa o consorcio a la que va dirigido el proyecto.
- (B): Nombre claro del plano y numero de hoja.
- (C): Tipo de formato.
- (D): Fecha de elaboración del plano.
- (E): Peso del conjunto, (solo aplica a ensambles generales).
- (F): Nombre de quien elaboro el plano.
- (G): Nombre del consorcio y dirección de oficina central de este.
- (H): Logo de la empresa fabricante. (CÁLCULO INGENIERIA S.A.S).
- (I): Nombre y firma del gerente o director del proyecto.
- (J): Nombre del proyecto vial y tramo donde se empleará el equipo.
- (K): Nombre del proyecto por parte de la empresa fabricante.

6.5.2 Comando “Rep” y “Explode”. Para poder realizar los planos de fabricación es importante conocer y manejar estos dos comandos pertenecientes al interfaz de ensambles del software PTC Creo.

➤ **Rep.**

Este comando se usa para sacar diferentes representaciones de los ensambles, en el cual se puede ocultar elementos o piezas que no sea requeridas, o que en su defecto impidan una buena visibilidad de otros componentes claves o de mayor importancia para el plano de montaje en cuestión. Se pueden realizar cuantas representaciones sean necesarias para dejar lo más claro posible los planos de montaje. Ver figura 53.

Figura 53. Representación del carro de avance, sin patas.



Fuente: elaboración propia.

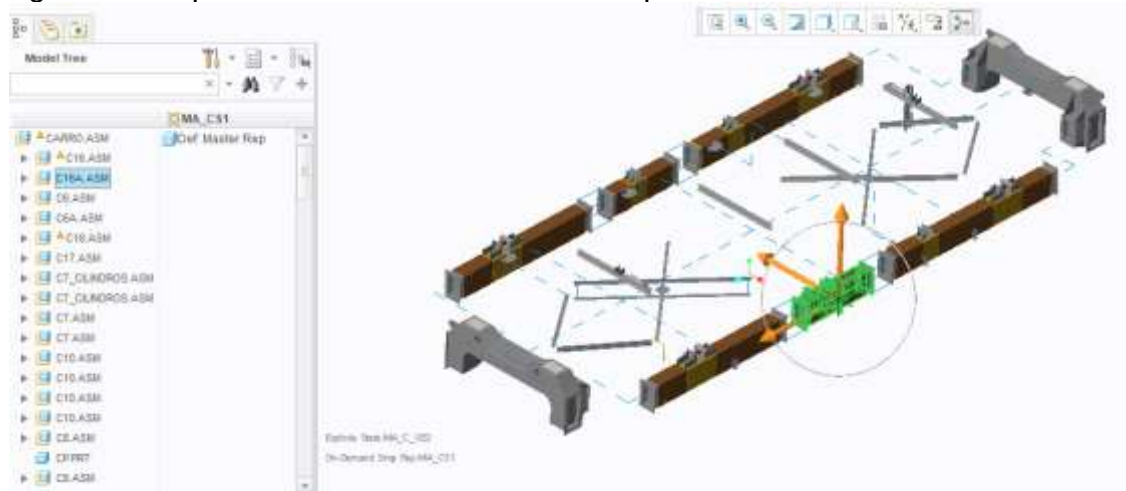
Mediante el árbol de modelo (ventana izquierda), se puede seleccionar a voluntad los ensambles y/o piezas de cada ensamble o subensamble, al mismo tiempo, se puede ir observando cómo va cambiando el ensamble a medida que uno oculta o visibiliza los subensambles que lo componen.

➤ **Explode.**

El comando funciona para realizar los explosionados de los ensambles, subensambles y piezas en específico, dentro del interfaz esta opción para agregar las líneas de explosionado, dependiendo la referencia que se necesite y ayudan a definir la ubicación de cada elemento dentro del ensamble. Es importante seleccionar los subensambles desde el árbol del modelo, esto si uno quiere mover todo el conjunto como se puede observar en la figura 54.

Al igual que el comando “Rep”, se puede crear tantos explosionados que uno requiera de un mismo modelo.

Figura 54. Explosionado carro de avance sin patas.



Fuente: elaboración propia.

Cada representación creada puede tener su respectivo explosionado, lo que facilita la elaboración de los planos y tener un sinfín de vistas para elaborar los diferentes planos que sean necesarios para su correcto montaje.

6.5.3 Planos de montaje. Siguiendo las capacitaciones del gerente de la empresa, junto con la información de proyectos anteriores realizados por él, se procede a realizar cada uno de los planos para el montaje del encofrado y carro de avance.

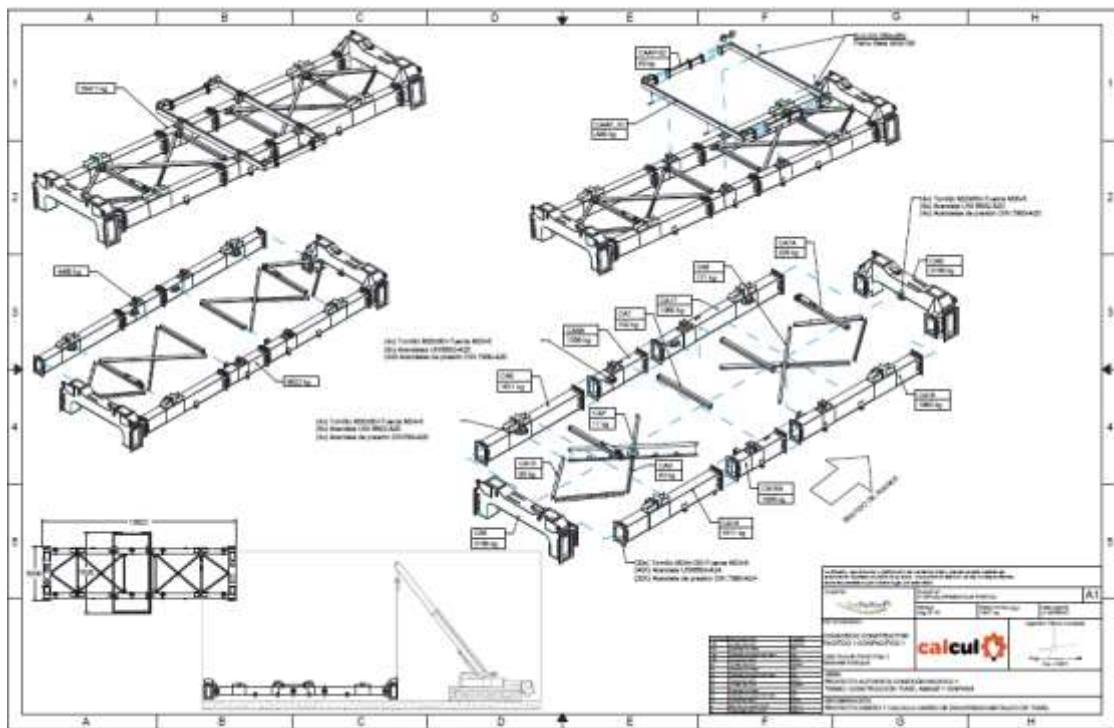
Los planos de montaje se realizan de forma secuencial, comenzando siempre con el conjunto general, posteriormente con el explosionado general o de los conjuntos generales que lo conforman y llegando finalmente a los ensambles específicos de cada uno.

La información que no puede faltar en cada plano es:

- Nombre claro del conjunto o ensamble general a armar.
- Listado o referencia de cada pieza o subensamble que lo conforma.

- Peso generales y específicos en kg.
 - Tornillería específica de cada una de las uniones atornilladas, tamaño, numero de arandelas de seguridad y arandelas planas.
 - Tabla de tornillería general del ensamble.
 - Sentido de avance. (orientación del equipo).
 - Cotas generales de verificación.
 - Esquema grafico de izajes con el respectivo equipo.
- Esta información se puede ver en la figura 55.

Figura 55. Plano de montaje, 01109TU04_premontaje pórtico.



Fuente: elaboración propia

Los planos de montaje son anexados al documento escrito del proyecto, para su posterior verificación aprobación y firmado por el colegio oficial de ingenieros técnicos industriales de Vigo, el cual otorga visado internacional al proyecto.

Al documento se anexa un total de 60 planos de montaje y 10 esquemas, dentro de los cuales se encuentran: Esquema hidráulico, Neumático, circuitos de potencia 440v, 220v, circuitos de control, horómetro, Esquema de iluminación, etc.

En el anexo I se evidencia una serie de planos de montaje pertenecientes al carro de avance con el visado COTIVIGO.

7. MONTAJE EN OBRA.

Como elaborador de los planos de montaje, se me designo para liderar el equipo de montaje en la obra, instruirlos y capacitar en caso de no comprender los planos.

Inicialmente y durante un mes se contó con un equipo de 6 personas más el personal de riesgos laborales, además, de un equipo de elevación “Telehandler” con capacidad para 5 toneladas máximo con su respectivo operador proporcionado por el cliente *Conpacífico*. Durante este mes se logra el objetivo de dejar operativos un carro de avance y el encofrado 1A.

7.1 BÓVEDA CENTRAL

Siguiendo los planos de montaje, se comienza con el proceso de la bóveda central, la cual está contemplada por los paneles central, lateral y la estructura del castillete, este se ensambla boca abajo, teniendo en cuenta el sentido de avance, comenzando con el montaje de los 10 paneles centrales, estos se ensamblan con tornillería, posteriormente, se procede con los paneles laterales, uno del lado izquierdo y uno del lado derecho, esto para ir formando los anillos, y a la vez, las columnas y vigas principales del castillete, lo que hace que se cierre el anillo de paneles, ver figura 56.

Figura 56. Montaje bóveda central.



Fuente: elaboración propia

Cabe aclarar, que a medida que se llegaba al anillo 7 de la bóveda, se dividió el equipo en dos grupos de 3 personas, un grupo se encargó de terminar el montaje de la bóveda central, mientras que el otro grupo comenzaba el montaje del pórtico del carro de avance, ver figura 55. Esto teniendo en cuenta que solo se contaba con un solo equipo de elevación, por ende, era indispensable los tiempos de ejecución de cada equipo, al igual que una planificación previa de como ubicar cada uno de los elementos para reducir tiempos muertos.

7.2 PÓRTICO CARRO

El montaje del partico del carro, se realiza teniendo en cuenta el sentido de avance y ubicarlo lo más cerca a la bóveda central, esto para posteriormente realizar el Izaje clave de la bóveda sobre el carro, para este montaje es importante tener el solado o superficie de montaje lo mejor nivelado posible, para no tener problema en las juntas de las esquinas y de la mitad del pórtico.

Para agilizar el montaje hidráulico, se aprovecha que la estructura está en el piso para colocar las líneas de tubing y algunas mangueras de conexión. Ver figura 57.

7.3 PANEL HASTIAL

Una vez culminado el montaje de la bóveda central, es equipo procede a realizar el montaje de los paneles hastiales, cada panel hastial (izquierdo y derecho) está conformado por 10 paneles, los cuales se ensamblan en los costados de la bóveda y carro de avance, estos también deben estar lo más cerca posible a la bóveda central.

7.4 ORUGAS CARRO

Una vez terminado el montaje del pórtico del carro, se procese a realizar el montaje de las orugas con el componente de dirección, estos se montan y se ubican en los extremos del carro para facilitar su acoplamiento, Estas orugas son montadas de una vez con sus componentes de dirección y sus respectivos cilindros. Esto para evitar que se muevan a la hora del montaje.

De igual forma se ubica las patas de acople del carro a cada esquina, todo esto para reducir en lo posible el tiempo del montaje general del carro. Ver figura 57.

Figura 57. Montaje en obra vista superior.



Fuente: elaboración propia.

7.5 IZAJE CARRO

Para el Izaje clave, se cuenta con una grúa 150TON de la empresa *TRANSPORTES MONTEJO*, este se encarga de elevar el pórtico a una altura aproximada de 16 metros, mientras que el equipo de montaje, se encarga de realizar el acople de la pata al carro y posterior las orugas con el sistema de dirección, este se hace una por una, y en diagonal, esto para ir compensando.

El procedimiento comienza desde la llegada de la grúa y su ubicación en el complejo para realizar el Izaje, comenzando a las 10:00Am con el posicionamiento y configuración de la grúa para el izaje, a la 1:00 Pm se comienza con el procedimiento para culminar a las 7:00Pm. Ver figuras 58 y 59.

Para reducir el tiempo de ejecución del montaje se designa a dos personas del equipo para ir alistando en cada esquina del carro, la tornillería necesaria para la unión de cada elemento.

Figura 58. Izaje, carro de avance.



Fuente: elaboración propia.

Figura 59. Carro de avance.



Fuente: elaboración propia.

Posterior al Izaje del carro se continua con el montaje hidráulico, como central hidráulica, y las líneas de translación, freno, tensor orugas, dirección y elevación, esto para poder manipular el carro a la hora de realizar el Izaje de la bóveda central, ya que esto facilita para los movimientos del carro.

7.6 IZAJE ENCOFRADO

Para este Izaje, el más grande durante el proceso de montaje, se tiene que emplear dos grúas, una 150TON y 240TON, ya que primero, se debe voltear la bóveda central para luego elevarla sobre el carro y posicionarla. Este primer movimiento se realiza lo más despacio posible como se evidencia en la figura 60.

Figura 60. Izaje bóveda central.



Fuente: elaboración propia.

Una vez volteada la bóveda, se acerca el carro de avance lo más cerca posible y se comienza la elevación de la bóveda, con ayuda de las dos grúas, esto a tal punto que el carro de avance pueda entrar y posicionarse debajo de este, para luego suspender la bóveda sobre el carro. En sus respectivos apoyos (4) ubicados en las vigas longitudinales del carro, ver figura 61.

Figura 61. Izaje bóveda central, posicionamiento.



Fuente: elaboración propia.

Con la grúa de 240TON, se posiciona los paneles hastiales, los cuales se aseguran por medio de pasadores. Mientras la grúa posiciona el panel, dentro del encofrado, el equipo de montaje se encarga de asegurar cada pasador del panel. Para un total de 20 pasadores por panel hastial de 15 metros de largo, ver figura 62.

Figura 62. Izaje, paneles hastiales.



Fuente: elaboración propia.

Este procedimimiento comenzo tipo 7:00Am y culmino a las 5:00Pm, cabe aclarar que las dos gruas se posicionaron un dia antes del izaje en horas de la tarde.

7.7 PANEL FALDONCILLO

Los paneles faldoncillo, viene en 4 módulos de 7.5 metros, por tal motivo no se necesita de las grúas para su montaje, además, que no se tiene que elevar a una gran altura, para esto se emplea el equipo “Telehandler”, estos paneles se ensamblan de igual manera que el panel hastial, por medio de pasadores y pin de doble aleta para asegurarlos, cada panel faldoncillo de 7.5 metros emplea la cantidad de 10 pasadores para su fijación al encofrado, ver figura 63.

Figura 63. Montaje, panel faldoncillo.



Fuente: elaboración propia.

7.8 PASARELAS Y ACCESORIOS

Finalmente se procede al montaje de las pasarelas del castillete, plataformas de trabajo hastial, barandillas de castilletes, barandillas de plataformas hastiales, tensores, cilindros hidráulicos de faldoncillo, centrado y hastial, escaleras de acceso y demás elementos faltantes que conforman el encofrado.

Por último, se procede a la limpieza y verificación de los paneles del encofrado, ya que no se deben encontrar luces entre paneles, y se procede a un retorqueo de toda la tornillería antes de comenzar con el proceso de encofrado, ver figura 64.

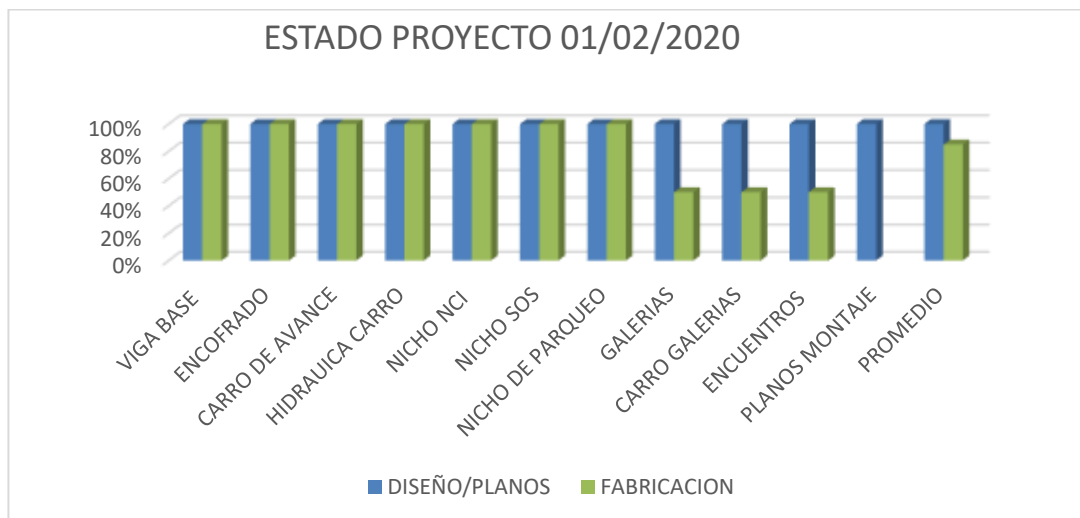
Figura 64. Verificación de encofrado.



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se muestra el estado del proyecto al mes de febrero del 2020. Para entonces se cuentan con 2 encofrados ensamblados en obra y puestos en funcionamiento, un carro de avance funcional, un nicho SOS y un nicho NCI, estos dos encofrados comienzan con el proceso de revestimiento del túnel izquierdo a finales del mes de diciembre. Por otro lado, lo correspondiente a la ingeniería del proyecto la cual se conforma por diseño CAD, y planos de fabricación y montajes se encuentra finalizada a su 100% mientras que la parte de fabricación se encuentra a un 85%, ya que faltaba la mitad de fabricación de galerías y encuentros

Figura 65. Porcentaje proyecto 0119TU 01/02/2020.



Fuente: elaboración propia

8. CONCLUSIONES

Con ayuda del equipo de oficina técnica de la empresa, se logra terminar a tiempo el diseño CAD del castillete perteneciente al encofrado anchurón, en el cual se tuvo en cuenta las recomendaciones previamente realizadas respecto a los perfiles a implementar, material y espesores de pletinas para las diferentes uniones y refuerzo, generando una aprobación por parte de los calculistas encargados del proyecto y dando paso a los planos de fabricación del conjunto.

Gracias a la implementación de las normas NTC para la elaboración de planos de fabricación, estos fueron aprobados garantizando el proceso de calidad de la empresa, al ser lo más claros posibles y no se presentaron complicaciones a la hora de su fabricación y pre- montaje del conjunto, cumpliendo con todas las cotas de verificación.

Para diseñar, es importante tener claridad de los diferentes materiales y elementos que se pueden encontrar en el mercado como elementos estándar, esto ayuda a reducir costos y garantiza la fabricación y confiabilidad de los ensambles y subensambles.

Es importante tener una visión del proceso constructivo de las empresas metalmecánicas, ya que uno como diseñador debe tener en cuenta la complejidad de los elementos tratando que estos sean lo más fácil posible y transmitir su proceso constructivo en los planos de fabricación.

Es importantes tener claro los conocimientos básicos de presión, área y fuerza a la hora de tratar con sistemas hidráulicos, así mismo como el conocimiento de los diferentes elementos de instrumentación que componen estos sistemas.

Con la experiencia en campo, no solo se debe diseñar pensando en cumplir con una geometría o una función, si no también que este sea fácil de fabricar, no presente costos excesivos y que sea fácil de montar, es decir en cuanto a la implementación de herramienta para las diferentes uniones atornilladas, manipulación de los ensambles o subensambles que sean fácil de transportar y de manipular así sea con equipos auxiliares de movimientos o Izaje.

BIBLIOGRAFIA

AGÜERO MAURICIO Alfredo. Normas internacionales de dibujo de planos mecánicos. Rotulado. [online], P 13. Disponible en: dingenieria.pworks.com/f/NORMAS+para+dibujo+de+planos.ppt.

CIFA S.p.A, Encofrado Automotor Para El Hormigonado Del Túnel. 14 de octubre 2015. 53-131 P.

COVIPACIFICO. Conexión pacífico 1. [online]. Disponible en: covipacifico.co/conexión-pacifico-1/información-general-pacifico-1

Form for concrete-placement tunnel lining. Hentschel, V., Versteegen, C., Gloyer, J. y Babendererde, S. Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. Washington. N° 4.856.936. 2017. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US4856936A/en>

Formwork system. Kern, A. Oficina de Patentes y Marcas de los Estados Unidos. Washington, DC. N°9.945.229. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US9945229B2/en>

GONZALEZ, Andres. Proyecto diseño y Cálculo carro de encofrado metálico de túnel. Colegio Industrial de Ingenieros de Vigo, 2017. 3-19 P.

GONZÁLEZ, F. J. Encofrados para túneles, una visión global. *Cemento Hormigón*, 2019, N°. 991, 2019, 54-59 p. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/515779> ISSN 0008-8919.

GUERALO, Joaquin. Terradas y la Construcción del Túnel de Metro Transversal de Barcelona. Enero-marzo 2011, Quark número 31, 86-94 P. Disponible en: <https://cybertesis.uni.edu.pe/handle/7uni713518>.

HY LOK México, Catalogo tubing Sandvik, p. 5. Disponible en: www.hylokmexico.com.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, NTC 1580, 1988-04-20, Primera actualización. Disponible en: <http://www.icontec.org/Documentos%20compartidos/normas%20por%20sector es/01>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, NTC 1722, 2001-09-26, Segunda actualización. Disponible en: <http://www.icontec.org/Documentos%20compartidos/normas%20por%20sector es/01>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, NTC 1777, 2001-09-26, Primera actualización. Disponible en: <http://www.icontec.org/Documentos%20compartidos/normas%20por%20sectores/01>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS, NTC 1831, 2001-09-26, Segunda actualización. Disponible en: <http://www.icontec.org/Documentos%20compartidos/normas%20por%20sectores/01>.

RAJADELL, J. V. Comparativo de sistemas de traslación para equipos de encofrado para revestimientos de túnel. Revista de Obras Públicas: Órgano profesional de los ingenieros de caminos, canales y puertos, (2019), 84-88. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/ejemplar/530485>. ISSN 0034-8619.

RIUS Viciach, D. Cálculo y selección de ruedas y motores necesarios para el movimiento de un equipo de encofrado para la construcción de túneles. Universitat Jaume I. 30 de septiembre 2016. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/110555>

ROJAS Burgos, A. Seguimiento al proceso constructivo de túneles en la vía Bogotá-Villavicencio tercio final, sector Chirajara–intersección parque Fundadores. 8 de Junio 2019. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12494/11255>

RUEDA, camilo, Hidráulica práctica, Coha s.a.s, enero 2019. P.275-295-296-298. Disponible en: <http://www.hidraulicapractica.com>

TOMÉ Masa, J. Diseño de encofrado de túnel. Proyecto trabajo final de grado (Doctoral dissertation). 16 de octubre del 2018. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10251/110555>

ANEXOS

Los anexos se presentan en formato digital por medio de un CD

Contenidos del CD

- ANEXO A Modulo de viga base.
- ANEXO B Geotextil y malla de acero tunel.
- ANEXO C Nichos SOS.
- ANEXO D Excavacion encuentro peatonal.
- ANEXO E Plano de fabricacion estrucutra castillete.
- ANEXO F Especificaciones motor OMS.
- ANEXO G Especificacion reductor 709C3B
- ANEXO H listado de mangueras y racores.
- ANEXO I Planos montaje carro visados.