

**DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA UNA CABINA DE SIMULACIÓN DE LLUVIA EN
CARROCERÍAS FABRICADAS EN LA EMPRESA CARROCERÍAS EL SOL S.A.**

JUAN PABLO BARRIOS RODRIGUEZ

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

**DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO PARA UNA CABINA DE SIMULACIÓN DE LLUVIA EN
CARROCERÍAS FABRICADAS EN LA EMPRESA CARROCERÍAS EL SOL S.A.
INFORME DE PASANTÍA**

JUAN PABLO BARRIOS RODRIGUEZ

**Informe de trabajo de grado en la modalidad de Pasantía para optar al título de
Ingeniero Mecánico**

Director

ING. HENRY OCTAVIO CORTÉS RAMOS, D.Sc.

Codirector

ING. JOSÉ FRANCISCO LUGO

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2015**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 RESÚMEN	7
2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
3 MARCO REFERENCIAL	9
4 OBJETIVOS	21
4.1 GENERAL	21
4.2 ESPECÍFICOS	21
5 JUSTIFICACIÓN	22
6 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO	23
7 DESARROLLO DE LA PASANTÍA	25
7.1 DISEÑO CONCEPTUAL	25
7.1.1 Descomposición funcional	33
7.1.2 Estudio Morfológico del sistema	35
7.1.3 Generación de alternativas diseño	36
7.1.4 Evaluación de las alternativas	38
7.2 DISEÑO PRELIMINAR	41
7.2.1 Arquitectura del producto	45
7.2.2 Configuración del diseño	45
7.3 DISEÑO EN DETALLE	74
8 BENEFICIO ECONÓMICO	78
9 RESULTADOS OBTENIDOS	80
10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	81
11 BIBLIOGRAFÍA	82
12 ANEXOS	84

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Proceso general de fabricación de carrocerías en la empresa Carrocerías El Sol S.A.....	9
Figura 2 Construcción de la estructura de una carrocería en aluminio.....	10
Figura 3 Cableado eléctrico de la estructura de la carrocería	10
Figura 4 Ensamble de láminas en fibra de vidrio a la estructura de la carrocería.....	11
Figura 5 Proceso de pintura de la carrocería	12
Figura 6 Proceso de terminación de la carrocería	12
Figura 7 Instalación de accesorios eléctricos en el interior y exterior de la carrocería.....	13
Figura 8 Proceso de decoración de la carrocería.....	13
Figura 9. Aplicación de prueba de simulación de lluvia en una camioneta.....	16
Figura 10 Aplicación de prueba de simulación de lluvia en un automóvil.....	16
Figura 11 Área de distribución de agua de las toberas.....	17
Figura 12 Ajuste de boquillas.....	17
Figura 13 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa Chevrolet	18
Figura 14 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa Chevrolet	19
Figura 15 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa AYMESA	19
Figura 16 Importancia de los requerimientos del cliente	27
Figura 17 Parámetros de ingeniería y dirección de mejora	28
Figura 18 Valor de las relaciones	29
Figura 19 Relaciones establecidas entre requerimientos del cliente y parámetros de ingeniería....	29
Figura 20 <i>Benchmarking</i>	31
Figura 21 Casa de la calidad QFD	32
Figura 22 Descomposición funcional del sistema hidráulico del sistema de simulación de lluvia ...	34
Figura 23 Alternativa de diseño 1	36
Figura 24 Alternativa de diseño 2	37
Figura 25 Alternativa de diseño 3	38

Figura 26 Árbol de objetivos para la evaluación de las alternativas establecidas.....	39
Figura 27 Plano de ambulancia fabricada en carrocerías el sol S.A.S.....	41
Figura 28 Plano de unidad médica fabricada en Carrocerías El Sol S.A.S	42
Figura 29 Diseño de la estructura	43
Figura 30 Aplicación pintura electroestática	44
Figura 31 Especificaciones de la boquilla.....	46
Figura 32 Proyección de chorro de boquilla de 30°	47
Figura 33 Proyección de chorro de boquilla a 60°	47
Figura 34 Distribución de boquilla de 30° lateral derecho de la cabina	48
Figura 35 Distribución de boquilla de 30° lateral izquierdo de la cabina	49
Figura 36 Distribución de boquilla de 30° vista posterior de la cabina	49
Figura 37 Distribución de boquilla de 30° vista de techo de la cabina	50
Figura 38 Distribución de boquilla de 60° lateral izquierdo de la cabina	50
Figura 39 Distribución de boquilla de 60° lateral derecho de la cabina	51
Figura 40 Distribución de boquilla de 60° vista posterior de la cabina	51
Figura 41 Distribución de boquilla de 60° vista de techo de la cabina	52
Figura 42 Diagrama de flujo de para el diseño paramétrico del sistema hidráulico	54
Figura 43 Plano general de red de distribución de tubería	58
Figura 44 Ruta crítica de la red hidráulica de la cabina de simulación de lluvia.....	58
Figura 45 División en tramos de la red hidráulica.....	61
Figura 46 Conservación y distribución del caudal.....	62
Figura 47 Puntos de análisis para calcular la cabeza dinámica de la bomba.....	69
Figura 48 Curva característica de la bomba.....	71
Figura 49 CAD 3D del conjunto del sistema hidráulico	74

LISTA DE TABLAS

Tabla 1 Características de las pruebas <i>moisture test</i> , <i>rain test</i> , <i>spray test</i> y <i>dip test</i>	15
Tabla 2 Valor límite o target	30
Tabla 3 Peso relativo de los parámetros de ingeniería.....	30
Tabla 4 Clases de flujos estándar	33
Tabla 5 Estudio morfológico	35
Tabla 6 Resultados de la evaluación realizada por medio de la matriz de decisión ponderada	39
Tabla 7 Dimensiones de la cabina.....	42
Tabla 8 Materiales y precios de cubierta.....	44
Tabla 9 Cantidad de boquillas de 30° en la cabina de simulación de lluvia.....	52
Tabla 10 Cantidad de boquilla de 60° en la cabina de simulación de lluvia	52
Tabla 11 Porcentaje de área cubierta por boquillas a 60°	53
Tabla 12 Comparación de materiales para la tubería hidráulica.	55
Tabla 13 Rugosidad de diferentes materiales.....	55
Tabla 14 Datos conocidos de la red hidráulica.	59
Tabla 15 Pérdidas por accesorios en el tramo B0-B1	64
Tabla 16 Pérdidas por accesorios en el tramo B1-B2.....	65
Tabla 17 Pérdidas por accesorios en el tramo B2-B3	67
Tabla 18 Pérdidas por accesorios en la tubería de aspiración.....	72
Tabla 19 Especificaciones de diseño del producto (PDS).....	75
Tabla 20 Cantidad de agua.....	76
Tabla 21 dimensionamiento del tanque subterráneo	76
Tabla 22 verificación de requerimiento del cliente.	77
Tabla 23 Gastos del proyecto.....	79

1 RESÚMEN

En este proyecto se realizó el diseño del sistema hidráulico de una cabina de simulación de condiciones de lluvia *Rain test* bajo la norma NTC 3729 para las carrocerías fabricadas en la empresa Carrocerías El Sol S.A.S. Con la posterior fabricación de la cabina la empresa podrá mejorar el control de calidad en la impermeabilidad de la carrocería después de finalizar el proceso de fabricación y antes de que la carrocería sea entregada al cliente.

El proyecto de pasantía se desarrolla en las áreas de diseño e hidráulica, aplicadas a la industria del sector carrocerero, para el proceso de diseño del sistema hidráulico se siguió la metodología de diseño en ingeniería.

El tiempo de desarrollo del proyecto en la empresa Carrocerías El Sol S.A.S fue de 6 meses, con un costo aproximado de \$51.489.722,75 de pesos. Con su posible implementación se espera mejorar la calidad del producto reduciendo los costos por garantías debidas a las filtraciones de agua en la carrocería en un 85%.

2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, el sector automotriz a nivel mundial necesita suplir la demanda de vehículos que ha aumentado en los últimos años (1), haciendo que las empresas dedicadas al diseño y fabricación de automóviles estén en continuo desarrollo. La empresa Carrocerías El Sol S.A. es una de las pioneras en Colombia en el diseño y fabricación de carrocerías de ambulancias, unidades médicas, unidades de rescate, unidades especiales y remolques. Esta empresa ha logrado incursionar en algunos países de América Latina, exportando unidades a Panamá, Perú, Ecuador y Venezuela.

Dentro del control de calidad del proceso de producción de carrocerías es importante garantizar la impermeabilidad. En algunas carrocerías, e.g. ambulancias, este requisito es explícito y está regido por normas técnicas. En Colombia, la norma NTC 3729 (2) exige realizar una prueba de impermeabilidad en ambulancias.

En la empresa Carrocerías El Sol S.A. se han presentado problemas de control de calidad en algunas de sus carrocerías evidenciado en procesos de garantías por filtraciones de agua. Este problema ha generado pérdidas económicas en la empresa, principalmente por el envío de personal operativo, reprocesos, reposición de los equipos y traslado de los vehículos. Por cada proyecto ejecutado (fabricación de un lote de carrocerías para ambulancias) la empresa carrocerías el sol S.A tiene que cubrir un sobrecosto promedio de aproximadamente \$20.000.000 de pesos en reprocesos anualmente. El costo por reprocesos incluye: la reposición de equipos, envío de personal, transporte de vehículos por garantías, entre otros costos.

Con base en la problemática mencionada, la empresa ha tenido la iniciativa de desarrollar una cabina para la realización de pruebas de hermeticidad cumpliendo la norma NTC 3729 (2), habiendo realizado ya el diseño preliminar de la estructura de la cabina. En este orden de ideas en este proyecto se propone el diseño del sistema hidráulico para dicha cabina.

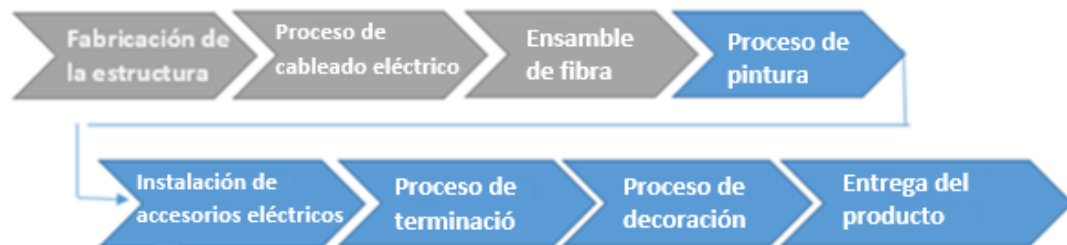
3 MARCO REFERENCIAL

3.1 Proceso general de la fabricación de carrocerías en la empresa Carrocerías El Sol S.A

El proceso de fabricación de los vehículos varía según el tipo de carrocería. Existen varias tipos de carrocerías pero las más utilizadas en el sector carrocerero en Colombia son las carrocerías de chasis autoportante o monocasco y el tipo de chasis con carrocería separada (3).

La empresa Carrocerías El Sol S.A fabrica todas sus carrocerías con chasis independiente, es decir la carrocería tiene su propio piso, instalaciones eléctricas y esta se encuentra atornillada al chasis para que en caso de una reparación de la carrocería se pueda desmontar (4). El proceso de fabricación general de las carrocerías en esta empresa se realiza como lo indica la Figura 1.

Figura 1 Proceso general de fabricación de carrocerías en la empresa Carrocerías El Sol S.A



Fuente: Autor

3.1.1 Fabricación del esqueleto o estructura de la carrocería.

La estructura de la carrocería está compuesta por un conjunto de piezas unidas entre sí como se observa en la Figura 2. Este conjunto debe estar en capacidad de soportar cargas externas y transmitir las a sus apoyos (5). Los materiales usados para la fabricación de la estructura son el aluminio 3003 y acero *cold rolled*.

Figura 2 Construcción de la estructura de una carrocería en aluminio



Fuente: Autor

3.1.2 Cableado eléctrico de la carrocería.

Según la configuración y especificaciones de la carrocería se realiza el cableado interno de la misma como se observa en la Figura 3. Teniendo en cuenta las especificaciones del cliente el cual determina los accesorios eléctricos y los equipos que debe tener la carrocería, ya sea en la parte exterior o interior se realiza el cableado eléctrico de la misma, el cual se distribuye por toda la estructura.

Figura 3 Cableado eléctrico de la estructura de la carrocería



Fuente: Autor

3.1.3 Ensamble de láminas en fibra de vidrio sobre la estructura.

El ensamble de las láminas o paneles en fibra de vidrio es unido a la estructura de la carrocería en su parte exterior e interior, haciendo que la carrocería adquiera mayor rigidez como se muestra en la Figura 4.

Figura 4 Ensamble de láminas en fibra de vidrio a la estructura de la carrocería.



Fuente: Autor

3.1.4 Proceso de pintura

Inicialmente se lija el habitáculo ya armado con los paneles en fibra de vidrio, se aplica masilla cubriendo uniones e imperfecciones, después se procede a lijar y se realizan retoques con masilla en puntos específicos como se observa en la Figura 5, se procede a aplicar sellante de poliuretano en las uniones, tanto externas como internas. Posteriormente se aplica *wash primer*¹ en los parales de las esquinas, esto con el fin de preparar la superficie para la pintura, se aplica base color gris en las áreas de fibra de vidrio y se procede a lijar todo el habitáculo.

Se verifica la existencia de imperfecciones y si estas existen se procede otra vez al proceso de masillado y pulido. Cuando se confirma que la carrocería esta lista para ser pintada, el habitáculo se limpia, quitando todo el polvo y así proceder a pintar.

Para finalizar, el asistente de producción realiza un control de calidad de la carrocería ya pintada y procede a aceptar o rechazar el habitáculo, si este es rechazado se realiza un reproceso de pintura y en caso de ser aceptada continua su proceso.

¹ Wash primer: es un acondicionador de superficies metálicas. Su principal objetivo es proporcionar una base que dé buena adherencia a la capa de pintura que se va a aplicar.

Figura 5 Proceso de pintura de la carrocería



Fuente: Autor

3.1.5 Proceso de terminación

El proceso de terminación contempla el tapizado del suelo, la instalación de muebles o gabinetes, aire acondicionado, instalación de equipos dependiendo de la carrocería, aplicación del sellante sikaflex y la adecuación de las puertas con sus respectivos empaques para evitar filtraciones. En la Figura 6 se muestra el proceso de terminación de una carrocería de una ambulancia.

Figura 6 Proceso de terminación de la carrocería



Fuente: Autor

3.1.6 Proceso de accesorios eléctricos

Dependiendo de la carrocería o de las especificaciones del cliente se instalan los accesorios eléctricos como las barras de luces, luces laterales, exploradoras entre otros accesorios eléctricos, como se muestra en la Figura 7. Después de finalizar la instalación de estos accesorios se realiza una prueba al vehículo de media hora con todas las luces encendidas y se verifica que no exista ningún recalentamiento o falla en la parte eléctrica.

Figura 7 Instalación de accesorios eléctricos en el interior y exterior de la carrocería



Fuente: Autor

3.1.7 Decoración

El proceso de decoración se realiza dependiendo de las especificaciones del cliente, las demarcaciones de la carrocería se realiza en la parte exterior con la leyenda y logotipos estipulados. En la Figura 8 se observa el proceso de decoración.

Figura 8 Proceso de decoración de la carrocería



Fuente: Autor

3.2 Control de calidad y método estándar de pruebas de lluvia *rain test* para vehículos

En la actualidad el control de calidad aplicado a todos los sectores industriales y especialmente en el sector automotriz ayuda a ser más competitivo aumentando la confiabilidad de sus productos (6).

En Colombia existen normas de control de calidad que exigen pruebas a vehículos fabricados, para que se garantice la calidad y confiabilidad del producto ya finalizado. En el caso de las ambulancias la norma NTC 3729 indica que se debe realizar la siguiente prueba al vehículo antes de que sea entregado al cliente: “El vehículo debe superar una prueba de impermeabilidad consistente en la proyección de agua pulverizada por un chorro de 7 mm de diámetro durante 2 min y una distancia de 4 m con una apertura mínima de 30°. Tras realizar el ensayo no se debe encontrar señales de agua ni en el interior de los compartimentos del conductor y del paciente, ni los destinados al almacenamiento de equipos” (2).

Por otro lado, a nivel internacional existe un estándar para la realización de la prueba de lluvia para partes de vehículos, en la cual, dependiendo de la prueba a realizar se especifican las dimensiones de las toberas, el tiempo estimado de la prueba, la presión recomendada, el caudal y la temperatura (7) como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1 Características de las pruebas *moisture test*, *rain test*, *spray test* y *dip test*

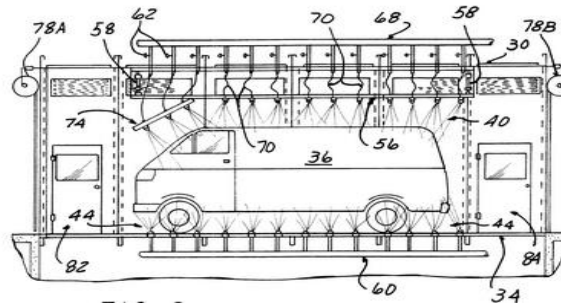
Tipo de prueba	Símbolo de la prueba	Propósito de la prueba
Prueba de humedad	M1	La prueba es para verificar el comportamiento de piezas sometidas a la humedad
	M2	La prueba es para conocer el comportamiento de las piezas sometidas a altas temperaturas y humedad
Prueba de lluvia	R1	La prueba es para determinar el comportamiento de piezas sometidas a gotas.
	R2	La prueba es para determinar el comportamiento de piezas sometidas al viento y a la lluvia en aerosol indirecta.
Prueba de niebla	S1	La prueba es para determinar el comportamiento de las partes sometidas al viento y la lluvia o directa aerosol.
	S2	La prueba es para determinar el comportamiento de las piezas sometidas a agua pesada aerosol.
Prueba de inmersión	D1	La prueba es para determinar el comportamiento de las piezas sometidas a inmersión en agua ocasional.
	D2	La prueba es para determinar el Comportamiento de piezas continuamente sometidas a la inmersión en agua o de las partes diseñadas para ser completamente a prueba de agua.
	D3	La prueba para determinar el comportamiento de las piezas impermeables de aplicación especial.

Fuente: traducido de Standard JIS D 0203 (7)

3.3 Patente: configuración y método de aplicación de la prueba de detección de fugas en vehículos por medio de una cabina de simulación de lluvia.

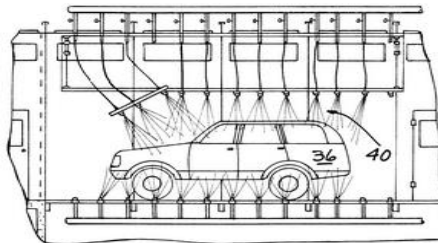
La aplicación de la prueba para detectar fugas o filtraciones de agua en cualquier parte del vehículo es realizada a automóviles prototipos para detectar problemas en el diseño y en producción de vehículos como medida de control de calidad. El método consiste en rociar con agua a alta presión todo el vehículo en su parte exterior y observar que en la parte interior del automotor no exista ninguna filtración. Este sistema está compuesto por: una cabina por la cual ingresa el vehículo y su función es mantener gran cantidad de agua, un conjunto de toberas que tienen una posición predeterminada para que rocíe toda el área del vehículo. En la Figura 9 ,Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se observa el método de aplicación de la prueba de lluvia a vehículos y el área en la que se distribuye el agua en el exterior del vehículo (8).

Figura 9. Aplicación de prueba de simulación de lluvia en una camioneta



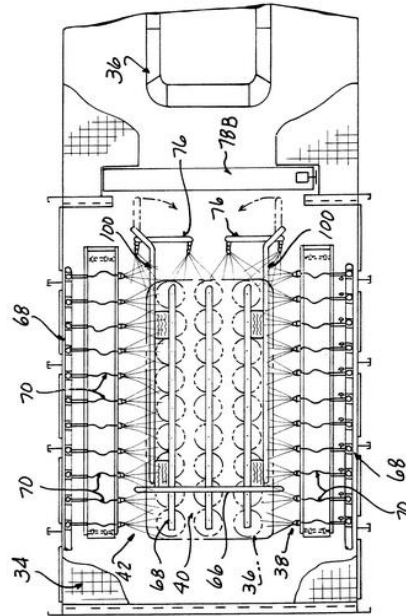
Fuente: *Method and apparatus for conducting body leak tests on automotive vehicles* (8).

Figura 10 Aplicación de prueba de simulación de lluvia en un automóvil



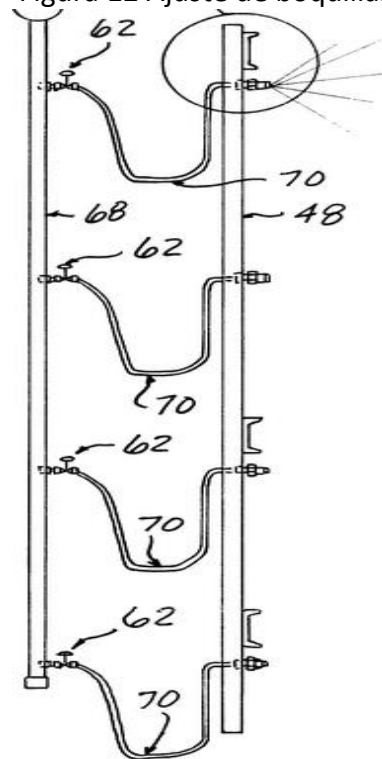
Fuente: *Method and apparatus for conducting body leak tests on automotive vehicles* (8).

Figura 11 Área de distribución de agua de las toberas



Fuente: *Method and apparatus for conducting body leak tests on automotive vehicles* (8).

Figura 12 Ajuste de boquillas



Fuente: *Method and apparatus for conducting body leak tests on automotive vehicles* (8).

3.4 Empresas que aplican la prueba de simulación de lluvia para la detección de fugas en los vehículos.

Para compañías productoras, diseñadoras y ensambladoras de vehículos es muy importante garantizar que su proceso de producción se realice de manera correcta para garantizar un buen desempeño del producto.

En la actualidad empresas como Chevrolet, Aymesa, Superpolo entre otras empresas del sector automotriz implementan en sus vehículos ya fabricados la prueba de detección de fugas por medio de una cabina de simulación de lluvia como medida y estándar de calidad a sus productos fabricados.

La empresa Chevrolet realiza esta prueba sometiendo cada vehículo a 825 galones de agua que atraviesan por 330 toberas en 8 minutos como se observa en la Figura 13 y Figura 14. Con esta prueba garantizan el sellado de las puertas, las ventanas y todas las partes expuestas a la lluvia (9).

Figura 13 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa Chevrolet



Fuente: Chevrolet (9)

Figura 14 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa Chevrolet



Fuente: Chevrolet (9)

También la compañía ensambladora de vehículos del Ecuador AYMESA S.A. realiza la prueba de simulación de lluvia al 100% de sus vehículos ensamblados para garantizar la calidad del producto. Este proceso es realizado por la empresa antes de que el vehículo sea entregado al cliente. En caso de existir una fuga o filtración de agua el automotor es sometido a un reproceso para corregir el error (10). La Figura 15 ilustra el proceso para realizar la prueba de impermeabilidad en AYMESA.

Figura 15 Prueba de impermeabilidad realizada por la empresa AYMESA



Fuente: AYMESA S.A. (10)

3.5 Tratamiento del agua utilizada en la cabina de simulación de lluvia

En Colombia el uso del agua está regulado por el ministerio del medio ambiente el cual deben garantizar el uso de este recurso hídrico. Estas regulaciones que establece el ministerio están sujetas a sanciones desde monetarias hasta sellamiento de la empresa o compañía que incumpla con los parámetros establecidos.

En Cundinamarca la entidad que regula e informa al ministerio de medio ambiente sobre las cantidades de agua potable que se utilizan en un periodo de tiempo, esta entidad es la CAR la cual está encargada de estimar los límites de uso de agua potable tanto para las residencias como para la industria.

Cuando se implementan sistemas que requieren de grandes cantidades de agua potable se deben implementar programas de uso eficiente y ahorro de agua (PUEAA) según la ley 373 de 1997 (11) donde se deben elaborar programas que indiquen las reducciones de pérdidas, reúso obligatorio del agua, consumos básicos y máximos, estudio hidrogeológicos, campañas educativas, tipo de sanciones.

4 OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Diseñar el sistema hidráulico para una cabina de simulación de lluvia (*rain test*) para detectar fugas de agua en carrocerías fabricadas en la empresa Carrocerías El Sol S.A.

4.2 ESPECÍFICOS

- Realizar el diseño conceptual del sistema hidráulico para generar un concepto de diseño factible que cumpla con los requerimientos del cliente.
- Realizar el diseño preliminar del sistema hidráulico para definir tanto la arquitectura y configuración de los módulos y componentes del sistema como la selección de materiales y el dimensionamiento de sus partes.
- Elaborar un diseño en detalle del sistema hidráulico.

5 JUSTIFICACIÓN

La producción de carrocerías ha aumentado en Colombia (12) en los últimos años, haciendo que los sistemas de calidad, confiabilidad y seguridad estén mejorando continuamente. En los sistemas de producción, las empresas fabricantes y diseñadoras de carrocerías de vehículos en Colombia deben tener control de calidad en cada uno de los procedimientos, con el fin de que el producto final tenga una garantía y cumpla estándares de alta calidad. Sin embargo, muchas empresas del sector carrocerero en Colombia no poseen un control de calidad para detectar fugas y garantizar la hermeticidad o impermeabilidad del vehículo y de la carrocería en condiciones de lluvia, haciendo que existan diferentes problemas como oxidación del vehículo en la parte interior, daños en los equipos que se encuentren en el interior, afectando al cliente y generando un inconformismo con el vehículo adquirido. Además lo anterior, genera una pérdida de dinero considerable a las empresas carroceras, puesto que estos automotores son regresados por garantía y en algunos casos hay sobrecostos por el envío de personal operativo para solucionar los problemas. Estos sobrecostos se deben por lo general a gastos de viaje, estadía, reprocesos, pérdida parcial o total de equipos y daños en el sistema eléctrico.

Este problema de impermeabilidad en condiciones de lluvia se está presentado con las carrocerías diseñadas y fabricadas en la empresa Carrocerías El Sol S.A. Siendo una de las pioneras en la fabricación de carrocerías para ambulancia, debe garantizar que el habitáculo² no tenga ningún tipo de fugas que afecten la salud de los pacientes, comprometiendo sus vidas. Además este problema no solo se presenta en las ambulancias ya que esta empresa también fabrica diferentes autos como unidades médicas de salud, unidades de mamografía, unidades odontológicas, entre otras. En todos estos casos es necesario un aislamiento total en condiciones de lluvia.

Por otro lado se realizan las sugerencias pertinentes en el proceso de fabricación de las carrocerías para disminuir los problemas de filtraciones ya que con el diseño y posterior fabricación de la cabina de simulación de lluvia solo se estaría detectando las filtraciones en las carrocerías como medida de control de calidad.

² Habitáculo: Es el espacio de un vehículo destinado a ser ocupado por el conductor y los viajeros

6 METODOLOGÍA Y PLAN DE TRABAJO

El desarrollo de este proyecto se basará en la metodología de diseño en ingeniería (13), (14).

Para el cumplimiento del objetivo específico “realizar el diseño conceptual del sistema hidráulico para generar un concepto de diseño factible que cumpla con los requerimientos del cliente”, se plantea la siguiente metodología:

1. Recopilar información y aplicar encuestas al personal operativo de la empresa carrocerías el sol, con el fin de establecer los requerimientos del cliente y conocer cuáles son los parámetros de ingeniería necesarios para el desarrollo del proyecto.
2. Por medio de la herramienta QFD³ desarrollar una planificación para satisfacer las necesidades del cliente en todo el desarrollo del producto. También a través de la casa de la calidad del QFD relacionar los requerimientos del cliente con los parámetros de ingeniería, evaluar las empresas competidoras con el producto en desarrollo y realizar una correlación entre los parámetros de ingeniería establecidos (15).
3. Elaborar una descomposición funcional del producto estableciendo los flujos de energía, de material y de señales para descomponer el problema general en pequeños problemas.
4. Realizar un análisis morfológico, con el fin de generar ideas a cada una de las funciones previamente identificadas con la descomposición funcional, posteriormente se procede a relacionar cada una de las ideas generadas a cada función formado conceptos de diseño.
5. Evaluar por medio de la matriz de decisión ponderada todos los conceptos de diseño generados en el análisis morfológico. Después de realizar la evaluación y obtener la calificación de los conceptos generados se determina cuál es el diseño conceptual que mejor cumple con los criterios establecidos en la casa de la calidad del QFD.

Para el desarrollo del objetivo “realizar el diseño preliminar del sistema hidráulico para definir tanto la arquitectura y configuración de los módulos y componentes del sistema

³ El QFD: Llamado así por sus siglas en inglés *Quality Function Deployment*. Es una metodología que traduce la voz del cliente en parámetros de diseño para que estos puedan desplegarse, de forma horizontal, dentro de los departamentos de planeación, ingeniería, manufactura, ensamble y servicio (15).

como la selección de materiales y el dimensionamiento de sus partes”, se plantea la siguiente metodología:

6. Establecer la arquitectura del producto determinando la disposición de los elementos físicos para cumplir con las funciones establecidas. Además determinar la arquitectura modular del producto.
7. Realizar la configuración del diseño con el fin de establecer la forma y las dimensiones generales de los módulos y componentes.
8. Establecer el diseño paramétrico para determinar los valores que deben tener las variables de diseño, teniendo en cuenta el rendimiento, el costo, la fabricación y el ensamble. Obteniendo con esto el diseño preliminar del sistema hidráulico.

Para el cumplimiento del objetivo “elaborar un diseño en detalle del sistema hidráulico” se realizarán las siguientes actividades:

9. Confirmar los detalles establecidos y suministrar información faltante para asegurar un diseño apropiado.
10. Elaborar planos de diseño del sistema hidráulico teniendo en cuenta cada uno de sus elementos.
11. Establecer la lista completa de los materiales de cada uno de los componentes individualmente.

7 DESARROLLO DE LA PASANTÍA

7.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Esta etapa de diseño contempla la recopilación de la información y realización de entrevistas por el grupo de ingeniería en la empresa Carrocerías El Sol S.A.S. A partir de esta información recopilada en la empresa se establecieron los requerimientos del cliente y los parámetros de ingeniería. Una vez establecidos los parámetros de ingeniería y los requerimientos del cliente se relacionaron por medio de la casa de la calidad del QFD, la cual nos permite identificar cuáles son los parámetros de ingeniería críticos para la calidad del producto y evaluar los productos competidores. Después se realizó la descomposición funcional del producto y posteriormente se realizó un análisis morfológico con el fin de generar alternativas de diseño factibles para la solución del problema de ingeniería. Estas alternativas de diseño se evaluaron por medio de una matriz de decisión ponderada. El resultado de esta matriz de decisión nos permitió seleccionar la mejor alternativa factible para el sistema hidráulico de la cabina de simulación de lluvia.

Se realizó una serie de entrevistas al personal administrativo y de producción de Carrocerías El Sol S.A.S, con el fin de obtener mayor información sobre los problemas de control de calidad en algunas de sus carrocerías evidenciado en procesos de garantías por filtraciones de agua. Los resultados de estas entrevistas indican que la empresa invierte aproximadamente \$20.000.000 de pesos anualmente en el envío de personal, reposición de equipos, reprocesos, atención por parte de talleres externos a la empresa e incluso en el traslado de los vehículos. Otro resultado relevante de las entrevistas es la perdida de licitaciones y contratos ya que la empresa no cuenta con todos los lineamientos especialmente la prueba de hermeticidad estipulada en la norma NTC 3729 tipología vehicular. Ambulancia de transporte.

A partir de los resultados de las entrevistas se realizó una reunión en la empresa carrocerías el sol para establecer requerimiento, que posteriormente se aplicaron en la casa de la calidad.

Los requerimientos del cliente identificados fueron los siguientes:

Turno de 8 horas en el día: el sistema debe estar diseñado para trabajar 8 horas continuas, ya que este es el turno en el que se trabaja actualmente en la planta.

Facilidad de mantenimiento: el sistema debe estar diseñado con elementos estándar, que se puedan conseguir de manera factible. También se debe asegurar que el mantenimiento y cambio de elementos sea puntual y de fácil acceso con el fin de evitar el desarme de todo el sistema.

Fácil manejo operacional del sistema: el sistema debe tener un fácil manejo para que cualquier operario pueda ser capacitado en el menor tiempo posible y no se requiera de un alto grado de aprendizaje

La prueba debe cubrir más del 75 % del área total de la carrocería: es importante que el sistema cubra más del 75% del área total de la carrocería con el fin de que toda la superficie esté en contacto con el agua y de esta forma verificar que no existan fugas en ninguna de sus partes.

Vida útil del dispositivo: el sistema debe ser diseñado con una vida útil de 5 años en el cual no se debe presentar ningún tipo de falla o cambio de cualquier elemento.

Bajo costo: el sistema debe ser diseñado con elementos estandarizados de forma tal que la relación costo-beneficio lleve a un proyecto con el mayor beneficio posible a un bajo costo, también el costo de los elementos o equipos debe ser moderado.

Resistencia al agua y a la humedad: cada uno de los componentes de todo el sistema debe ser resistente al agua debido a que estos estarán 100% en contacto con el agua.

Alto aprovechamiento del agua: el sistema debe contar con un proceso de reutilización del agua ya que este es un recurso natural y su uso está regido por la ley número 373 de 1997 para un uso eficiente y ahorro del mismo.

Aplicación de la prueba a cualquier carrocería: el sistema debe ser diseñado para que se pueda aplicar la prueba a cualquier carrocería de las fabricadas en la empresa.

Condiciones de la prueba según norma NTC 3729: el sistema debe estar diseñado para cumplir las especificaciones y parámetros estipulados en la norma NTC 3729 cuarta actualización.

La importancia que se estableció a cada uno de los requerimientos del cliente se encuentra en la Figura 16.

Figura 16 Importancia de los requerimientos del cliente

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (□)	
				Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")
1	3	9,6	8,0		Turno de 8 horas en el día
2	9	9,6	8,0		Facilidad del mantenimiento
3	9	10,8	9,0		Facil manejo operacional del sistema
4	9	9,6	8,0		La prueba debe cubrir mas del 75 % de la carrocería
5	9	10,8	9,0		Vida útil del dispositivo
6	9	9,6	8,0		Bajo costo
7	3	8,4	7,0		Resistencia al agua y a la humedad
8	9	8,4	7,0		Alto aprovechamiento del agua
9	9	10,8	9,0		Aplicación de la prueba a cualquier carrocería
10	9	12,0	10,0		Condiciones de la prueba según norma nto 3729

Fuente: Autor

Una vez establecidos los requerimientos del cliente se pueden plantear los parámetros de ingeniería. Estos parámetros deben ser en lo posible cuantificables y verificables.

Los parámetros de ingeniería que se establecieron son los siguientes:

Caudal: caudal que debe tener el fluido. También este parámetro tiene en cuenta el área transversal y la velocidad del fluido.

Restricción de dimensiones de la cabina: las dimensiones de la cabina deben tener un límite máximo y mínimo con el fin de que la prueba pueda ser aplicada a cualquier carrocería fabricada por la empresa carrocerías el sol S.A.S. el límite mínimo está regido por la norma NTC 3729 y el límite máximo de la cabina es de 80 m² ya que es el espacio destinado para la fabricación de la cabina

Porcentaje de área cubierta: se refiere al porcentaje del área de la carrocería que va a estar cubierto por el agua. Entre más área cubierta se logre los resultados de la prueba serán más confiables.

Tiempo de duración de la prueba: este parámetro está regido por la norma NTC 3729 y debe cumplir un tiempo mínimo de 2 minutos.

Uso de elementos estándar: este parámetro mide la cantidad de elementos estandarizados en el diseño. Entre mayor cantidad de elementos estándar su mantenimiento será más fácil de realizar. También el costo de elementos estandarizados es más bajo por su facilidad de adquisición comercial.

Presión: este parámetro se refiere a la presión del fluido a la salida de las boquillas.

Diámetro de la boquilla: este parámetro de diseño está regido por la norma NTC 3729 y debe tener un diámetro de 7 mm.

Número de operarios a cargo: cantidad de personas necesarias para poder operar la cabina. La empresa dispone de como máximo de 2 operarios para el uso completo del sistema.

Ángulo de apertura de la boquilla: este parámetro de diseño está regido por la norma NTC 3729 y debe tener un ángulo igual o mayor a 30°.

Cantidad de agua requerida: cantidad de agua [lt] que debe disponer el sistema para poder realizar la prueba. Este parámetro debe controlarse buscando que el agua recircule ya que este es un recurso hídrico y está regido por la ley número 373 de 1997, su mal uso puede generar sanciones económicas a la empresa.

En la Figura 17 se observan los parámetros y la dirección de mejora.

Figura 17 Parámetros de ingeniería y dirección de mejora

Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)	▲	X	▲	X	▲	▲	X	▼	X	▼
Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")										
Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")										
Caudal [m ³ /s]										
Restricción de dimensiones de la cabina [m ³]										
Porcentaje de área cubierta [%]										
Tiempo de duración de la prueba [min]										
Uso de componentes estándar										
Presión (MPa)										
Diámetro de la boquilla (mm)										
Número de operarios a cargo										
Ángulo de apertura [°]										
Cantidad de agua requerida [lt]										

Fuente: Autor

Después de plantear los requerimientos del cliente y los parámetros de ingeniería debidamente establecidos se procede a realizar una relación entre cada uno de ellos.

Estas relaciones de los parámetros de ingeniería y los requerimientos del cliente se observan en la Figura 19 teniendo en cuenta que los valores de ponderación que se muestran en la Figura 18.

Figura 18 Valor de las relaciones

	Strong Relationship	9
	Moderate Relationship	3
	Weak Relationship	1

Fuente: Autor

Figura 19 Relaciones establecidas entre requerimientos del cliente y parámetros de ingeniería

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	D demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)									
					▲	X	▲	X	▲	▲	X	▼	X	▼
				Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Caudal [m ³ /s]	Restricción de dimensiones de la cabina [m ³]	Porcentaje de área cubierta [%]	Tiempo de duración de la prueba [min]	Uso de componentes estándar	Presion (MPa)	Diámetro de la boquilla (mm)	Número de operarios a cargo	Ángulo de apertura [°]	Cantidad de agua requerida [lts]
1	3	9,6	8,0	Turno de 8 horas en el día				▲				○		
2	9	9,6	8,0	Facilidad del mantenimiento		▲			○					
3	9	10,8	9,0	Facil manejo operacional del sistema		▲	▲		○			○		▲
4	9	9,6	8,0	La prueba debe cubrir mas del 75 % de la carrocería	○	○	○	○		○	○		○	○
5	9	10,8	9,0	Vida útil del dispositivo				○						
6	9	9,6	8,0	Bajo costo	○	○			○	○		▲		○
7	3	8,4	7,0	Resistencia al agua y a la humedad				▲	▲					○
8	9	8,4	7,0	Alto aprovechamiento del agua	○		▲	▲		▲	▲		▲	○
9	9	10,8	9,0	Aplicación de la prueba a cualquier carrocería	▲	○	○						▲	▲
10	9	12,0	10,0	Condiciones de la prueba según norma nto 3729	○	○	▲	○		○	○		○	▲

Fuente: Autor

Para cada uno de los parámetros se establecen unos valores limites los cuales son las metas u objetivo de cada uno de los parámetros de ingeniería en el diseño. También la

herramienta QFD por medio de la casa de la calidad nos permite determinar la importancia de cada uno de los parámetros de ingeniería.

En la Tabla 2 se observa el valor límite o target de cada uno de los parámetros

Tabla 2 Valor límite o target

Target or Limit Value		220	75%	2			7	2	20	
Difficulty (0= Easy to Accomplish, 10= Extremely Difficult)	3	2	5	6	3	1	1	2	1	3
Max Relationship Value in Column	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Weight / Importance	318,1	269,9	150,6	261,4	221,7	290,4	203,6	136,1	214,5	250,6
Relative Weight	13,7	11,6	6,5	11,3	9,6	12,5	8,8	5,9	9,3	10,8

Fuente: Autor

En la Tabla 3 se encuentran los parámetros de ingeniería, ordenados de mayor a menor peso relativo, resultados de aplicar la casa de la calidad.

Tabla 3 Peso relativo de los parámetros de ingeniería

Parámetros de ingeniería	Peso relativo %
Caudal (m3/s)	13,7
Presión (MPa)	12,5
Restricción de dimensiones de la cabina (m3)	11,6
Tiempo de duración de la prueba [min]	11,3
Cantidad de agua requerida [lts]	10,8
Uso de componentes estándar	9,6
Angulo de apertura [°]	9,3
Diámetro de la boquilla (mm)	8,8
Porcentaje de área cubierta [%]	6,5
Número de operarios a cargo	5,9
TOTAL	100%

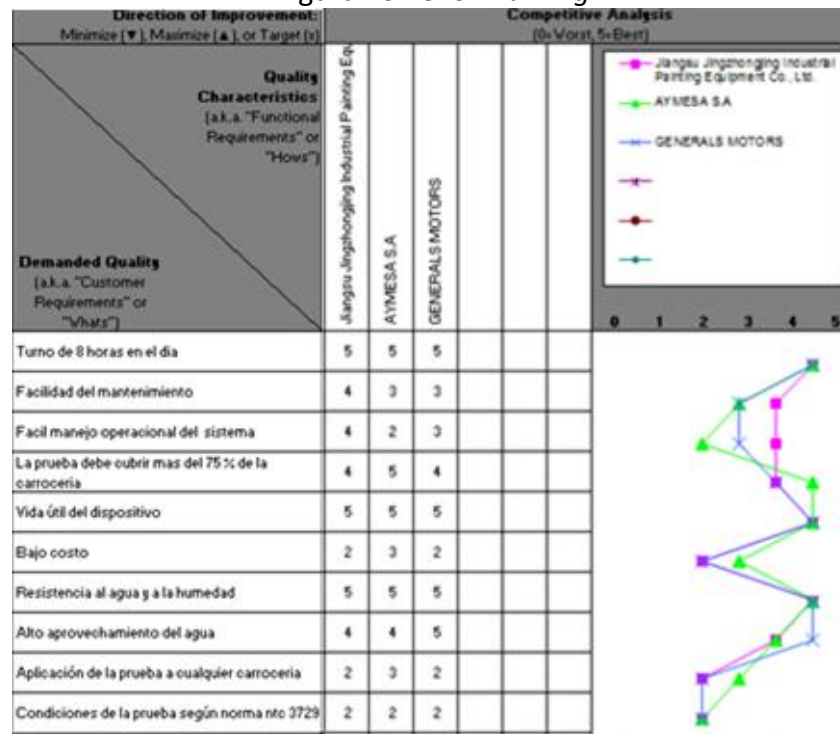
Fuente: Autor

A partir de la información de la Tabla 3 se tomarán los primeros parámetros como los más críticos para la calidad del sistema. Los parámetros de ingeniería más críticos para la calidad del producto se empelan como parte de los criterios de evaluación de los conceptos de diseño para así determinar cuál la mejor alternativa de diseño a ser

desarrollado. Como se observa en la tabla anterior, el parámetro de la presión es relevante para el diseño ya que de este depende que los chorros de agua impacten en el vehículo, también el caudal tiene un valor alto según la Tabla 3 puesto que si no se logra el caudal adecuado no se podría impactar con una cantidad de agua a una velocidad determinada. Las dimensiones de la cabina y el tiempo de duración de la prueba son importantes ya que según la norma NTC 3729 establece una distancia de los chorros y un tiempo determinado para realizar la prueba.

También por medio de la casa de la calidad se realiza un análisis del mercado sobre empresas que realizan este tipo de cabinas. Se cotizo el valor de una cabina en una empresa china que fabrica este tipo de producto continuamente, es la empresa *JIANGSU JINGZHONGJING INDUSTRIAL PAINTING EQUIPMENT CO., LTD.* Esta empresa envió el valor y las especificaciones de su producto. Además se realizó un análisis de las cabinas de simulación de lluvia que tiene la empresa ecuatoriana *AYMESA S.A* y la compañía *GENERALS MOTORS* para la verificación de filtraciones de agua, y de esta forma realizar una comparación con los requerimientos del cliente. En la Figura 20 se encuentra la evaluación de la competencia o *benchmarking*.

Figura 20 *Benchmarking*

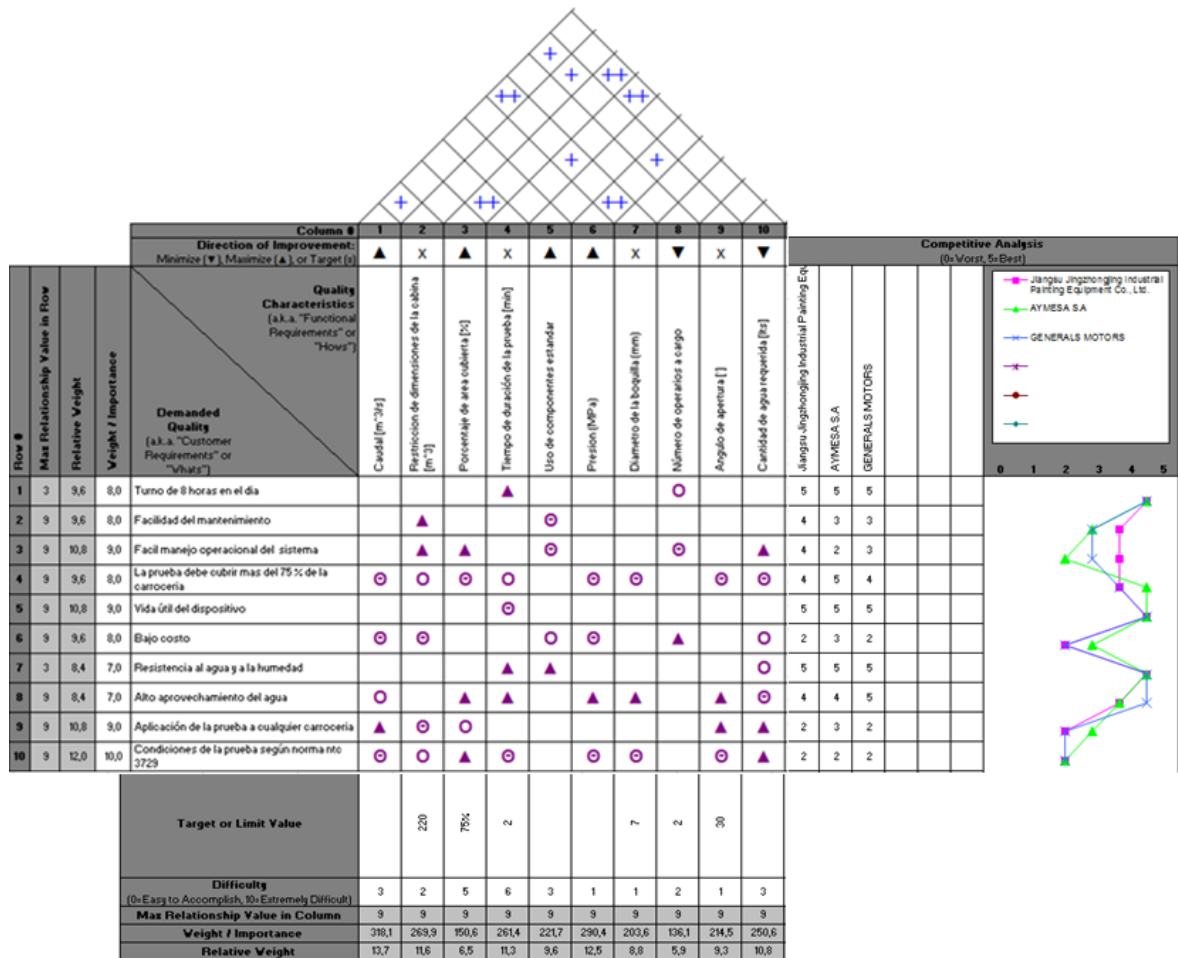


Fuente: Autor

Según la Figura 20 se puede observar que los requerimientos del cliente que los competidores tiene bajos son el costo, y las condiciones de la prueba según norma NTC 3729 estos son algunos de los requerimientos que el diseño debe cumplir. También el diseño debe mantener o mejorar los requerimientos que tuvieron un medio o alto valor.

En la Figura 21 se muestra la casa de la calidad del QFD completa.

Figura 21 Casa de la calidad QFD



Fuente: Autor

7.1.1 Descomposición funcional

Se realizó la descomposición funcional del sistema con el fin de identificar la función principal y subfunciones correspondientes que debe realizar el producto para poder definir alternativas que puedan conformar conceptos de diseño factibles.

La representación funcional analiza e ilustra el flujo de energía, material y señales que interactúan entre las diferentes funciones del sistema. En la Tabla 4 se observa la nomenclatura estándar para determinar cada uno flujos.

Tabla 4 Clases de flujos estándar

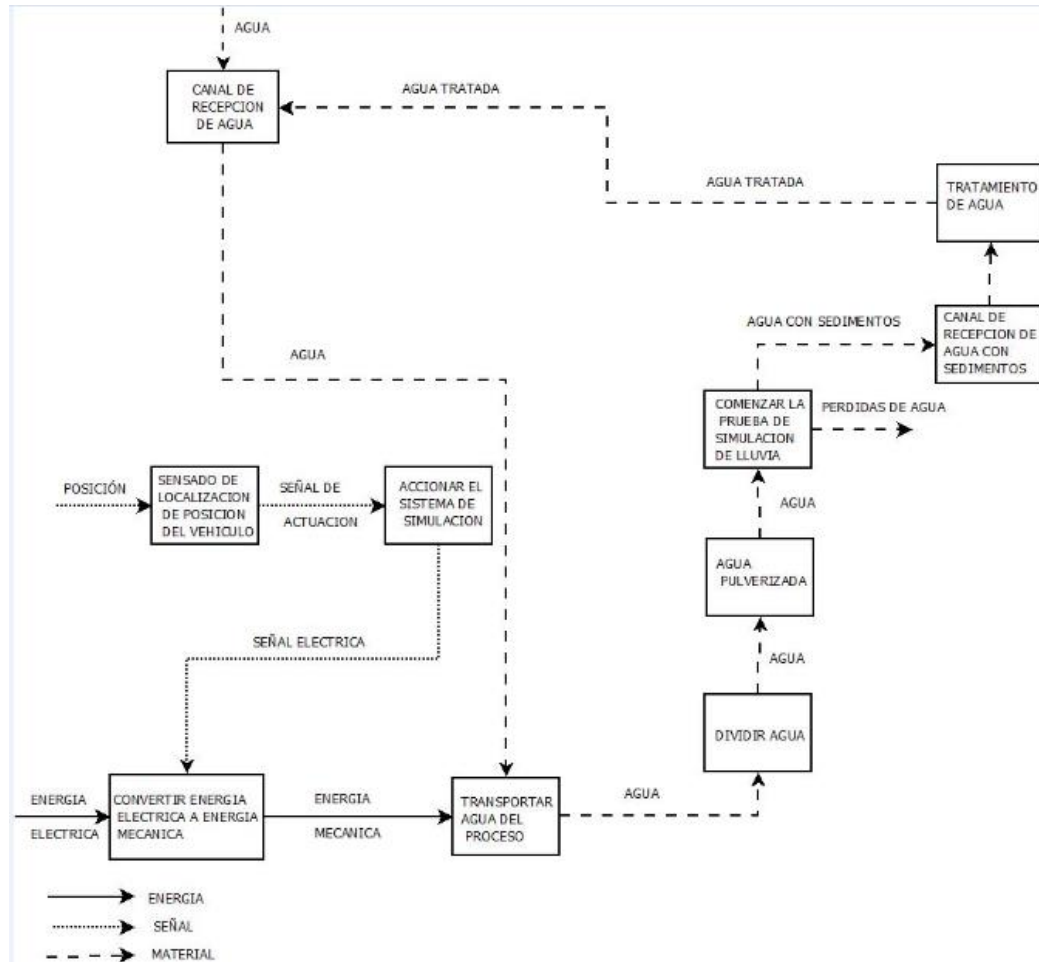
Clases de flujo estándar		
Energía	Material	Señal
Humana	Humana	Estado
Hidráulica	Solida	Acústico
Neumática	Gas	Olfativo
Mecánica	Liquida	Táctil
- Translacional		Visual
- Rotacional		
- Vibratoria		
Eléctrica		
Acústica		
Magnética		
Químico		

Fuente: traducido de *Engineering design* (15)

Según la clase de flujo se asigna un nombre a cada una de las funciones con el fin de representar los componentes y sistemas permitiendo que el problema de diseño tenga una amplia lista de posibilidades.

En la Figura 22 se plantea la descomposición funcional del sistema hidráulico donde se establece cada uno de las funciones del sistema de simulación de lluvia.

Figura 22 Descomposición funcional del sistema hidráulico del sistema de simulación de lluvia



Fuente: Autor

En la figura anterior se describe el proceso que se realiza en la prueba de simulación de lluvia. Este proceso inicia con la entrada de agua al canal de almacenamiento, paralelo a este proceso se debe tener un elemento que convierta energía eléctrica a energía mecánica y que este dispositivo pueda ser accionado mediante una señal eléctrica. Después de que el agua se encuentra almacenada en el canal y se ha enviado la señal de posición establecida, se procede a realizar el transporte del agua. Cuando el agua está siendo transportada se realiza una distribución en diferentes ramales en los cuales están conectados las boquillas que realizan la pulverización del agua sobre el vehículo. Posterior a este proceso se realiza una pulverización del agua sobre el vehículo con el fin de que toda la superficie esté en contacto directo con el agua. El agua que desciende después de cubrir el vehículo será almacenada en un canal, ya que esta agua estuvo en contacto directo con el vehículo y puede llevar sedimentos. Por esta razón se realiza un tratamiento al agua almacenada. Después de que el agua ha sido tratada se procede a realizar nuevamente todo el proceso.

7.1.2 Estudio Morfológico del sistema

A partir de la descomposición funcional planteada anteriormente se determinan elementos que cumplan con cada función, formando al final el mapa morfológico.

Este mapa morfológico permite realizar una serie de combinaciones de elementos los cuales al final resultan conformando cada una de las alternativas posibles de diseño para el sistema hidráulico para la cabina de simulación de lluvia.

Se realizaron todas las posibles combinaciones del mapa morfológico y se realizó un proceso de selección por factibilidad del diseño y se seleccionaron 3 posibles alternativas.

En la Tabla 5 se consignan las 3 combinaciones que definen cada alternativa de diseño factible para ser considerada.

Tabla 5 Estudio morfológico

ESTUDIO MORFOLOGICO			
	CONCEPTO 1	CONCEPTO 2	CONCEPTO 3
Canal de recepción de agua			
Impulso de agua			
Transporte de agua del proceso			
Localización de posición del vehículo			
Sistema de riego de agua al vehículo			
Configuración estructural de la cabina			
Canal de recepción de agua con sedimentos			
Limpieza del agua utilizada			
Impulso de agua recirculada			

	Alternativa 1
	Alternativa 2
	Alternativa 3

Fuente: Autor

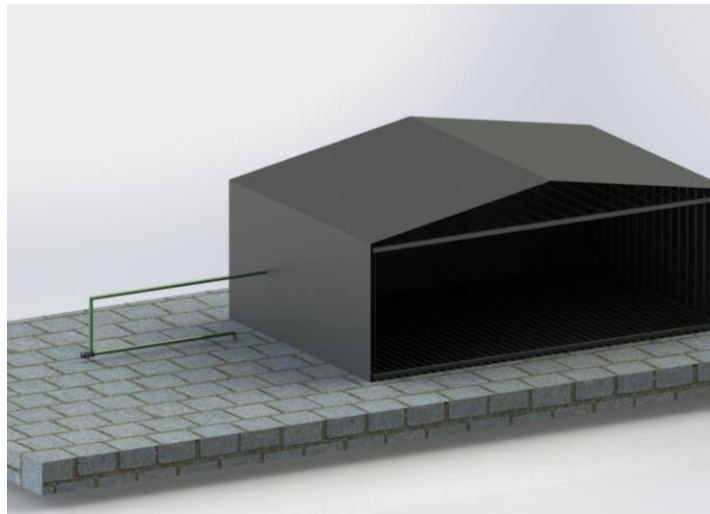
7.1.3 Generación de alternativas diseño

Una vez que se obtienen las posibles soluciones al diseño del sistema hidráulico de simulación de lluvia según el estudio morfológico, se procede a la realización de bocetos a cada una de las alternativas siguiendo la metodología de diseño en ingeniería. Cada una de estas alternativas se observa en las figuras 22 a 25.

Alternativa 1

En esta alternativa de diseño el vehículo ingresa a la cabina y por acción manual será accionado el sistema de riego de agua por todo el vehículo, las boquillas de esta cabina permanecen estáticas durante toda la prueba. El vehículo permanecerá estacionado durante la prueba y cuando finalice esta inspección el vehículo se retira de la cabina en reversa y se realiza su respectivo diagnóstico. El agua que se encuentra almacenada en el tanque subterráneo será impulsada por medio de una bomba centrífuga de flujo mixto y el agua será transportada por medio de tubería circular. Después de que la prueba a finalizado, el agua retornara al tanque subterráneo, el agua que se encuentre en este tanque será filtrada. La estructura de la cabina está diseñada en perfilería y en su parte superior llevaría una cubierta. El sistema de filtrado del agua después del proceso se realiza por medio de mallas de diferentes calibres. El boceto de la alternativa 1 se muestra en la Figura 23 .

Figura 23 Alternativa de diseño 1

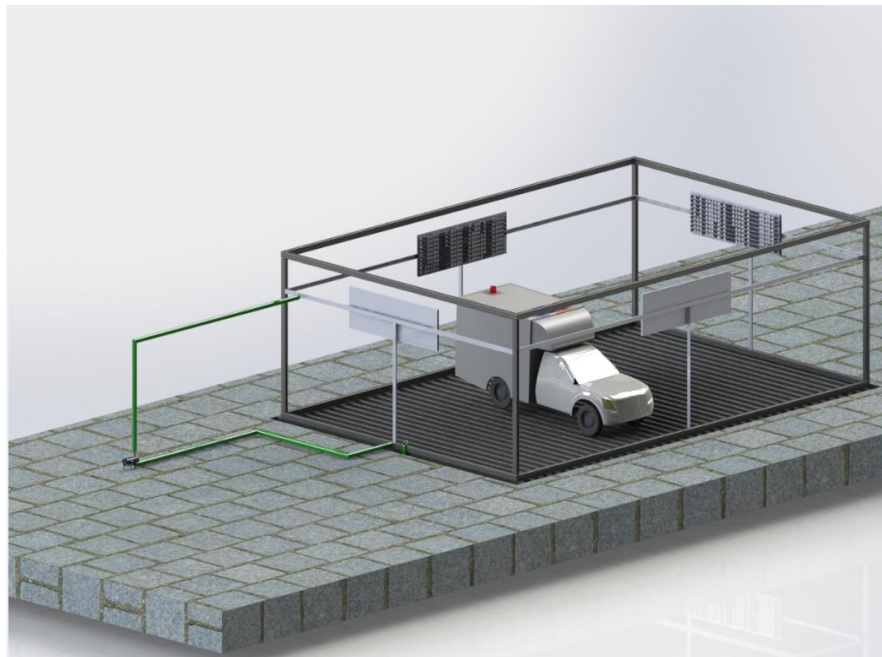


Fuente: Autor

Alternativa 2

En esta alternativa de diseño el vehículo ingresa a la cabina y permanecerá estacionado durante toda la prueba. Los rociadores se mueven mientras que el vehículo se encuentra estacionado. Después de que finalice la prueba, el vehículo se retira de la cabina en reversa. El agua que se encuentra almacenada en el tanque subterráneo será impulsada por medio de una bomba centrífuga de flujo mixto y el agua será transportada por medio de tubería circular. Después de que la prueba ha finalizado el agua retorna al tanque subterráneo. El agua que se encuentre en este tanque será filtrada. Esta cabina posee una estructura con perfilería pero no tiene ningún tipo de cubierta. El sistema de riego del agua por todo el vehículo se realiza por medio de sensores de movimiento que se activarán cuando el vehículo ingrese a la cabina. El sistema de filtrado del agua es por medio de un hidrociclón. La alternativa de diseño número 2 se observa en la Figura 24.

Figura 24 Alternativa de diseño 2

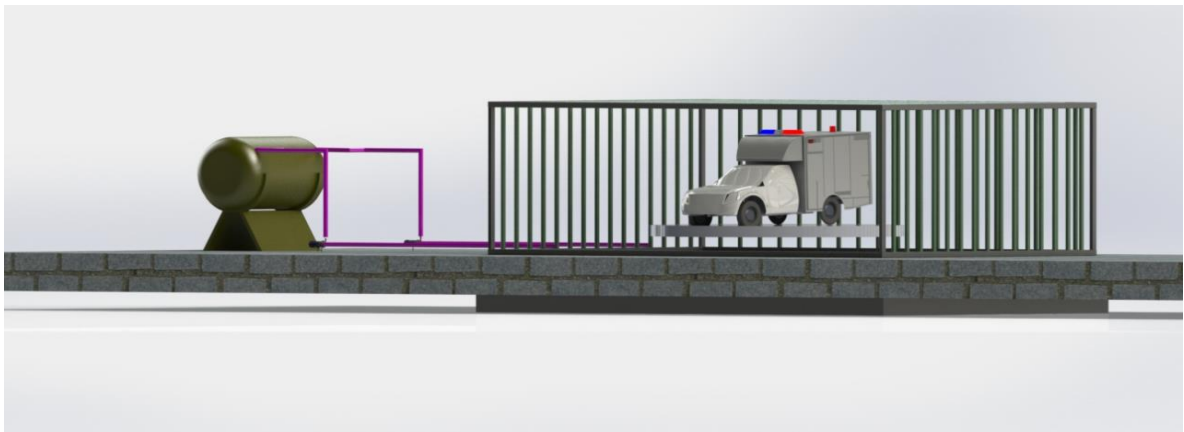


Fuente: Autor

Alternativa 3

En esta alternativa de diseño el vehículo ingresara a la cabina y rotara en una plataforma se habilitan únicamente los rociadores del techo y de un costado haciendo que todo el vehículo sea rociado con agua cuando gire. El agua que se encuentra almacenada en el tanque subterráneo será impulsada por medio de una bomba de flujo axial y el agua será transportada por medio de tubería circular. Después de que la prueba ha finalizado el agua retorna a este tanque subterráneo, El agua que se encuentre en este tanque será filtrada. Por otro lado la cabina está conformada solo por la tubería circular de los rociadores, es decir, no posee ningún tipo de perfilería y tampoco ningún tipo de cubierta. El sistema de filtración del agua que se desea recircular es por medio de un filtro de arena, el cual acumula en su interior las partículas, esta alternativa se observa en la Figura 25 .

Figura 25 Alternativa de diseño 3



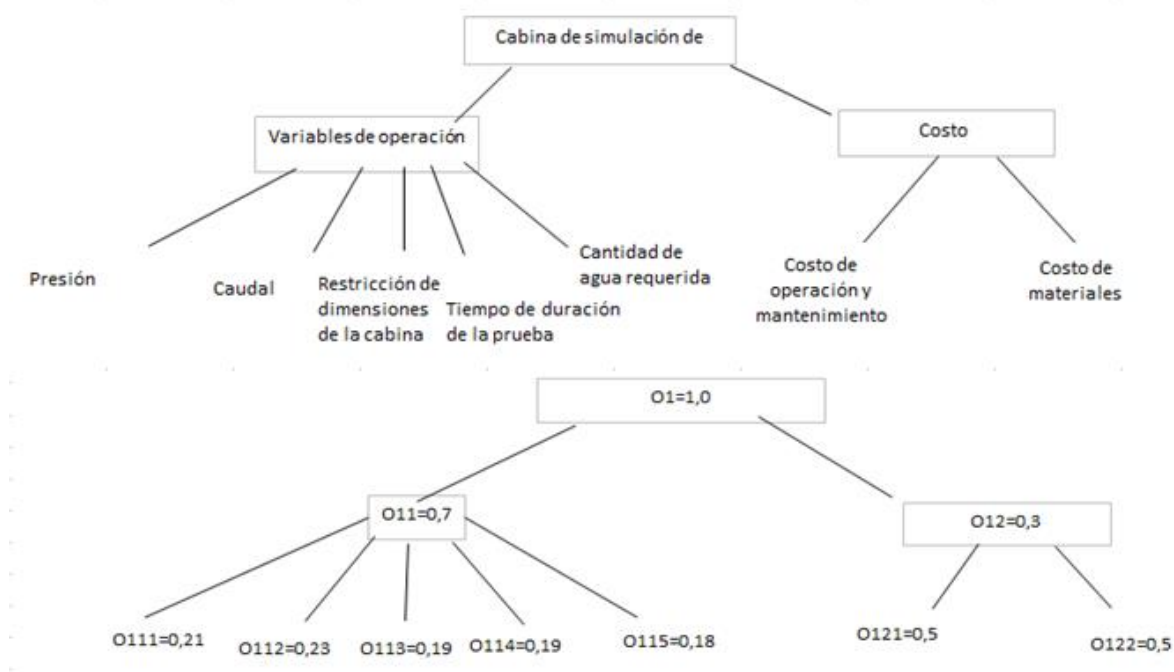
Fuente: Autor

7.1.4 Evaluación de las alternativas

Una vez establecidas cada una de las alternativas de diseño se procede a realizar la evaluación de las mismas. Esta evaluación se realiza mediante el método de matriz de decisión ponderada (15). La cual nos permite realizar una calificación cuantitativa de cada uno de los criterios seleccionados para su evaluación.

En la Figura 26 se observa la ramificación de cada uno de los criterios con los que cada una de las alternativas de diseño será evaluada.

Figura 26 Árbol de objetivos para la evaluación de las alternativas establecidas



Fuente: Autor

Después de establecer los criterios de evaluación y los porcentajes de cada uno de los criterios se realiza la calificación de cada una de las alternativas y los resultados se consignan en la Tabla 6.

Tabla 6 Resultados de la evaluación realizada por medio de la matriz de decisión ponderada

Criterio de diseño	Peso	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3		
		Magnitud	Puntaje	Valor	Magnitud	Puntaje	Valor	Magnitud	Puntaje	Valor
Presión	0,147	Excelente	9	1,32	Excelente	9	1,32	Excelente	9	1,32
Caudal	0,161	Buena	8	1,29	Buena	8	1,29	Buena	8	1,29
Restricción de dimensiones de la cabina	0,133	Buena	8	1,06	Buena	8	1,06	Buena	8	1,06
Tiempo de duración de la prueba	0,133	Excelente	10	1,33	Excelente	10	1,33	Excelente	10	1,33
Cantidad de agua requerida	0,126	Buena	8	1,01	Excelente	9	1,13	Excelente	10	1,26
Costo de operación y mantenimiento	0,150	Buena	8	1,2	Satisfactorio	3	0,45	Satisfactorio	3	0,45
Costo materiales	0,150	Buena	7	1,05	Satisfactorio	3	0,45	Satisfactorio	4	0,60
	1			8,26			7,04			7,32

Fuente: Autor

Según la tabla anterior se observa que la alternativa que obtuvo mejor calificación según los criterios de diseño establecidos por medio de la herramienta QFD es la numero 1, por consiguientes es aconsejable seleccionar esta alternativa ya que es la que mejor cumple con los parámetros de ingeniería y requerimientos del cliente críticos anteriormente planteados.

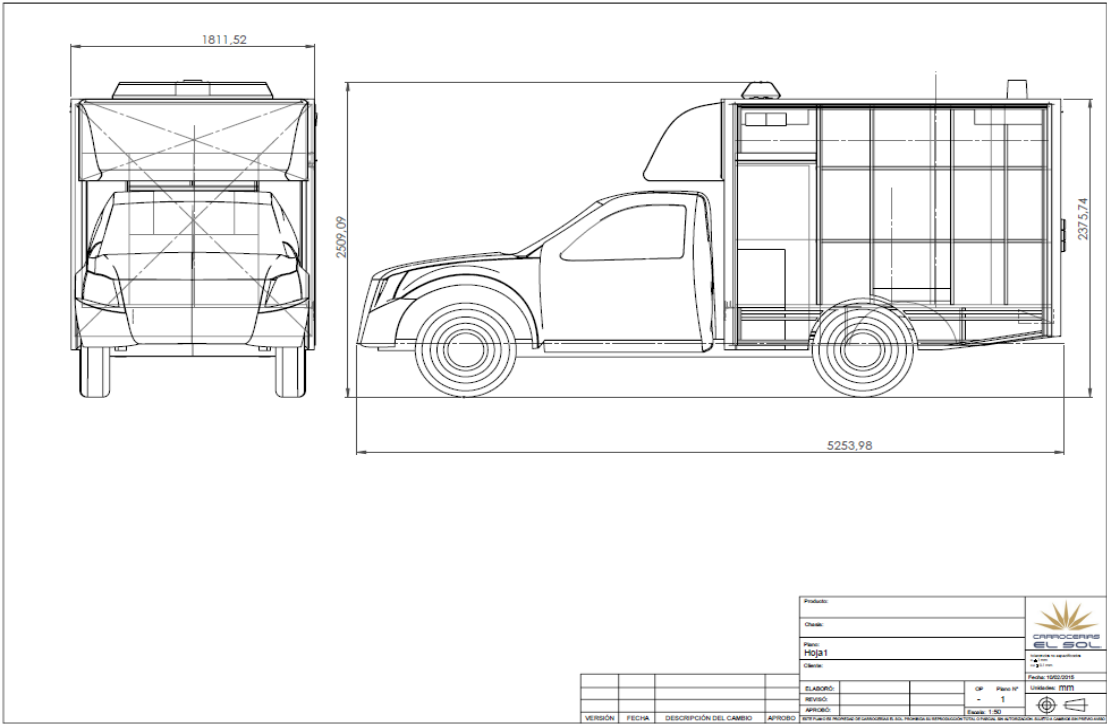
Por otro lado con la selección de esta alternativa se da por terminado la etapa de diseño conceptual.

7.2 DISEÑO PRELIMINAR

Esta etapa de diseño comprende la arquitectura del producto, también la configuración del diseño con el fin de establecer sus componentes, además realizar un diseño paramétrico con el fin de determinar valores que contemplen las variables de diseño teniendo en cuenta el costo, el rendimiento, la fabricación y el ensamble.

La Empresa Carrocerías El Sol S.A.S ha realizado un diseño preliminar de la estructura de la cabina teniendo en cuenta sus dimensiones y el tipo de carga a la cual estará sometida. Las dimensiones de esta cabina fueron establecidas con el fin de cumplir la norma NTC 3729 la cual indica que el ancho de la cabina debe ser de 4 metros, lo cual es suficiente ya que una ambulancia tiene las siguientes dimensiones que se observa en la Figura 27.

Figura 27 Plano de ambulancia fabricada en carrocerías el sol S.A.S

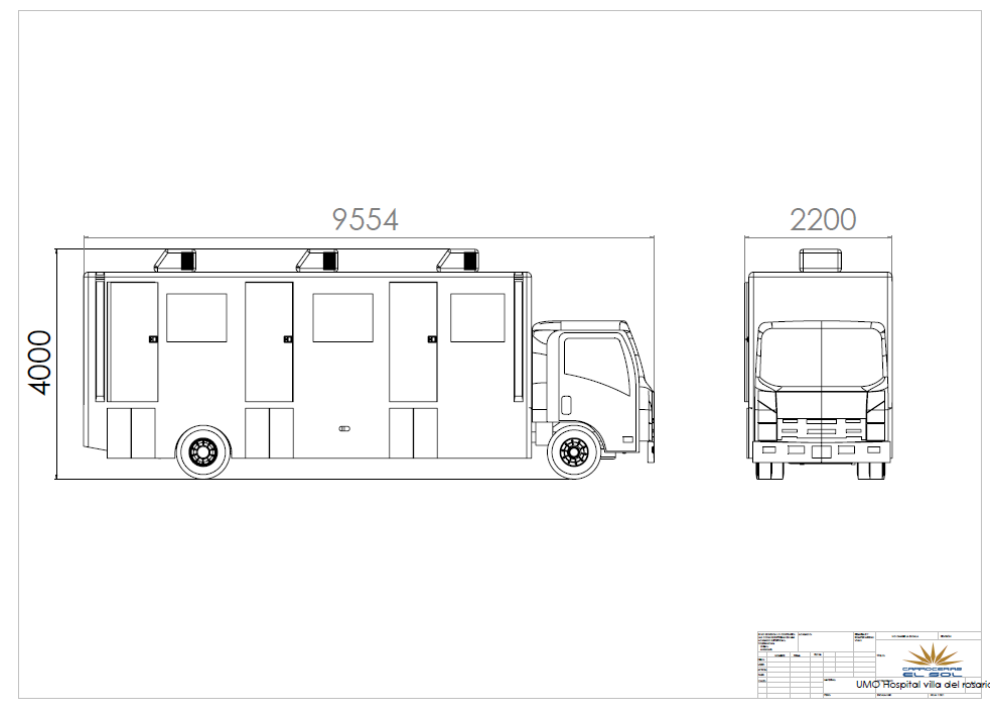


Fuente: carrocerías el sol S.A.S

Es importante indicar que el 95 % de las producción de la empresa Carrocerías El Sol S.A.S son ambulancias, el 5% restante son la realización de unidades especiales ya sean

unidades odontológicas, medicas, mamográficas entre otras. El diseño de esta cabina se realizó con base a la unidad de mayor tamaño como se muestra en la Figura 28.

Figura 28 Plano de unidad médica fabricada en Carrocerías El Sol S.A.S



Fuente: Carrocerías el sol S.A.S

Según las medidas de este tipo de unidad móvil se establecieron las dimensiones de la estructura de la cabina que se observan en la Tabla 7.

Tabla 7 Dimensiones de la cabina

Dimensiones	Medida (mm)
Alto	5000
Ancho	4000
Largo	11000

Fuente: Autor

A continuación se observa en la Figura 29 el diseño 3D de la estructura, la cual fue diseñada en acero estructural A500.

Figura 29 Diseño de la estructura



Fuente: Carrocerías el sol S.A.S

Esta estructura fue sometida a un análisis de esfuerzos bajo cargas estáticas realizado por medio de un *software cad solidworks simulation*. Este programa de simulación nos muestra un análisis estático detallado sobre el comportamiento de la estructura sometida a las cargas debidas a los pesos de la tubería con el agua en su interior y el peso de la cubierta de la cabina. Los resultados de este análisis se encuentran en el Anexo A.

Cubierta de la cabina

Para la cubierta de la cabina se consideraron diferentes posibilidades de materiales que cumplan con la misma función la cual es que no permita que ingrese o salga agua puesto que esto ayudaría a que se desperdicie la menor cantidad de agua posible. En la Tabla 8 se encuentra los materiales y los precios de cada uno.

Tabla 8 Materiales y precios de cubierta

Material	Medidas m	Precio por lamina	Precio para la cabina
Lámina galvanizada cal. 18	1,22x2,44	\$ 68.495,00	\$ 6.438.602,69
Lamina de acrílico cal. 2 mm	1,8x1,2	\$ 107.000,00	\$ 13.861.570,56
Carpa en poliéster	2,2X1,5	\$ 36.000,00	\$ 3.052.607,55

Fuente: Autor

Según la información que se observa en la Tabla 8, se puede determinar que de los tres materiales que se consideraron la carpa en lona es la opción más económica y cumple con las funciones de cubrir la cabina haciendo que en el proceso de inspección de impermeabilidad de los vehículos se tenga la menor cantidad de agua desperdiciada.

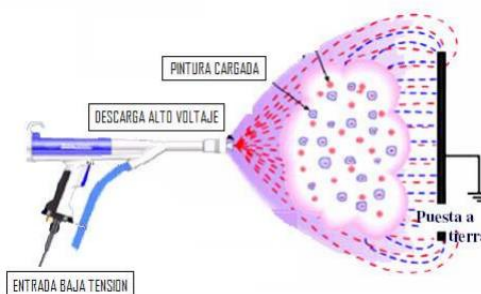
Protección anticorrosiva a la estructura

Ya que se encuentra establecido el material de la estructura que es el acero estructural A500, se debe tener en cuenta que este material estará en contacto directo con el agua y seguramente sufrirá de corrosión con el tiempo, por esta razón es necesario realizar un aislamiento o un recubrimiento que inmunice este material para que esto no suceda.

Existen varias alternativas de recubrimiento para este tipo de material, puede ser por medio de un galvanizado por inmersión o por electrodeposición y el proceso es realizar un recubrimiento de zinc fundido en la superficie del acero.

Otro tipo de recubrimiento para el acero es por medio de aplicación de pintura electroestática la cual es una mezcla homogénea compuesta por resinas sintéticas, endurecedores, aditivos y cargas que se aplican sobre la superficie del material como se muestra en la Figura 30 para evitar la oxidación (18).

Figura 30 Aplicación pintura electroestática



Fuente IGM (18).

Una vez analizado cada uno de estos materiales se puede determinar que el proceso de galvanizado es más eficiente, con mayor tiempo de duración y mejores propiedades ya que cada una de las piezas es sumergida sobre la solución de zinc pero para esta aplicación el proceso sería muy costoso comparado con el proceso de pintura puesto que la empresa Carrocerías El Sol S.A.S posee los equipos, el personal capacitado y el material necesarios para la aplicación de la pintura electroestática. Por esta razón la aplicación del proceso de pintura es la opción más viable por costo y por aplicación del proceso.

7.2.1 Arquitectura del producto

La arquitectura del producto está constituida por subconjuntos los cuales son tramos de tuberías, que pueden ser remplazados ante algún tipo de falla sin que sistema hidráulico presente ningún tipo de alteración en su funcionamiento. El diseño de la red hidráulica está formado por conexiones muy similares entre una y otra, es decir los tramos están conformados por elementos con proporciones y ubicaciones similares, por estas razones la arquitectura es modular seccional.

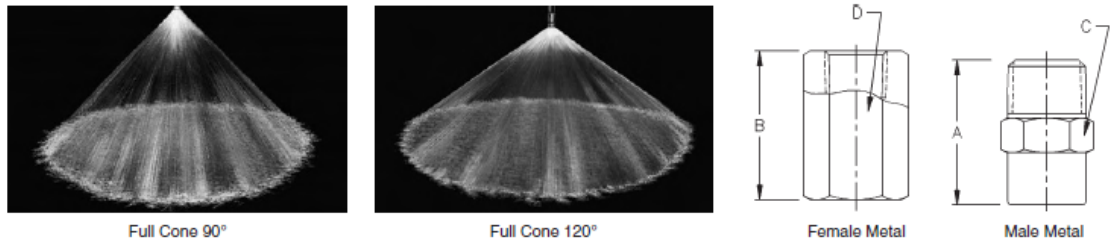
7.2.2 Configuración del diseño

Distribución de boquillas

Según la norma NTC 3729 que indica que las dimensiones del diámetro de la boquilla es de 7 mm y debe ser un chorro de agua que salga de la boquilla a un ángulo mínimo de 30 grados, se procede a realizar la investigación en empresas que fabriquen este tipo de boquilla.

Una de las empresas que fabrica este tipo de boquillas es la empresa ACODINSA la cual envió un catálogo con las especificaciones de sus productos como se muestra en la Figura 31.

Figura 31 Especificaciones de la boquilla



Dimensions are approximate. Check with BETE for critical dimension applications.

WL Flow Rates and Dimensions																			
Full Cone, 30°, 60°, 90° and 120° Spray Angles																			
Male or Female Pipe Size	Nozzle Number	K Factor	GALLONS PER MINUTE @ PSI										Approx. Orifice Dia. (in.)	Dimensions for Metal Only (in.)				Wt. (oz.) Metal Plas	
			10 PSI	20 PSI	30 PSI	40 PSI	60 PSI	80 PSI	100 PSI	150 PSI	200 PSI	400 PSI		A	B	C	D		
1/8	WL 1/4	0.044	0.13	0.18	0.22	0.25	0.30	0.35	0.38	0.47	0.53	0.74	0.043						
	WL 1/2	0.088	0.26	0.36	0.44	0.50	0.60	0.69	0.77	0.93	1.07	1.48	0.055	0.88	1.13	0.44	0.56	1.00 0.25	
	WL 3/4	0.132	0.39	0.54	0.66	0.75	0.91	1.04	1.15	1.40	1.60	2.21	0.072						
1/4	WL 1	0.177	0.52	0.72	0.87	1.00	1.21	1.39	1.54	1.86	2.13	2.95	0.082	1.06	1.38	0.56	0.69	1.50 0.38	
	WL 1 1/2	0.265	0.78	1.08	1.31	1.50	1.81	2.08	2.31	2.79	3.20	4.43	0.109						
3/8	WL 2	0.353	1.04	1.44	1.75	2.00	2.42	2.77	3.08	3.72	4.26	5.90	0.125						
	WL 3	0.530	1.56	2.17	2.62	3.00	3.63	4.16	4.61	5.58	6.39	8.85	0.156	1.25	1.50	0.69	0.88	2.00 0.50	
	WL 4	0.706	2.08	2.89	3.49	4.00	4.84	5.54	6.15	7.44	8.52	11.8	0.188						
1/2	WL 5	0.883	2.61	3.61	4.37	5.00	6.05	6.93	7.69	9.31	10.6	14.8	0.203						
	WL 6	1.06	3.13	4.33	5.24	6.00	7.26	8.31	9.23	11.2	12.8	17.7	0.219	1.50	2.00	0.88	1.13	3.00 1.00	
	WL 7	1.24	3.65	5.05	6.11	7.00	8.47	9.70	10.8	13.0	14.9	20.7	0.228						
3/4	WL 8	1.41	4.17	5.78	6.99	8.00	9.68	11.1	12.3	14.9	17.0	23.6	0.234						
	WL 10	1.77	5.21	7.22	8.74	10.0	12.1	13.8	15.4	18.6	21.3	29.5	0.281	1.75	2.13	1.13	1.38	6.00 1.50	
	WL 12	2.12	6.25	8.66	10.5	12.0	14.5	16.6	18.5	22.3	25.6	35.4	0.312						
1	WL 15	2.65	7.82	10.8	13.1	15.0	18.1	20.8	23.1	27.9	32.0	44.3	0.328	2.19	2.38	1.38	1.63	14.0 3.50	
	WL 20	3.53	10.4	14.4	17.5	20.0	24.2	27.7	30.8	37.2	42.6	59.0	0.375						

$$\text{Flow Rate (GPM)} = K (PSI)^{0.47}$$

Standard Materials: Brass, 303 Stainless Steel, 316 Stainless Steel, PVC, Polypropylene, and PTFE (1/8" PTFE and Polypropylene not available in 120°).

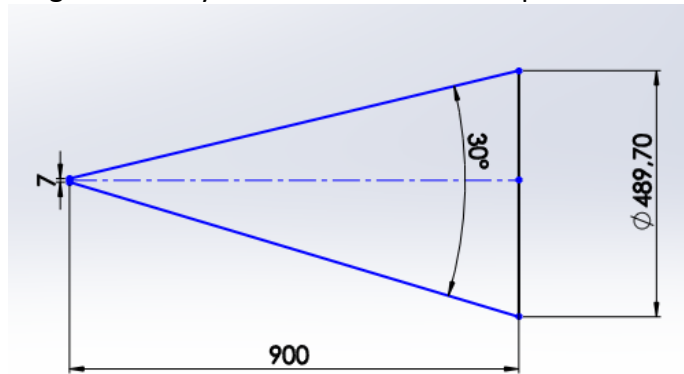
Spray angle performance varies with pressure. Contact BETE for specific data on critical applications.

Fuente: ACODINSA

Según la figura anterior se puede determinar que la boquilla que cumple con las especificaciones de la norma NTC 3729 es la referencia WL10. Este tipo de boquilla puede ser solicitada en ángulos de 30°, 60°, 90° y 120°. El fabricante de estas boquillas indicó que para una distancia de aproximadamente 1 m entre la boquilla y la superficie que será impactada, la presión para la boquillas de 30° es de 20 Psi, mientras que para el ángulo de 60° la presión es de 40 psi y para los ángulos de 90° y 120° según pruebas y la experiencia en este tipo de productos no aconseja este tipo de ángulo a la distancia de 1 m. Esto último puesto que se trata de agua pulverizada puede que no alcance a impactar la superficie de la carrocería en la posición horizontal.

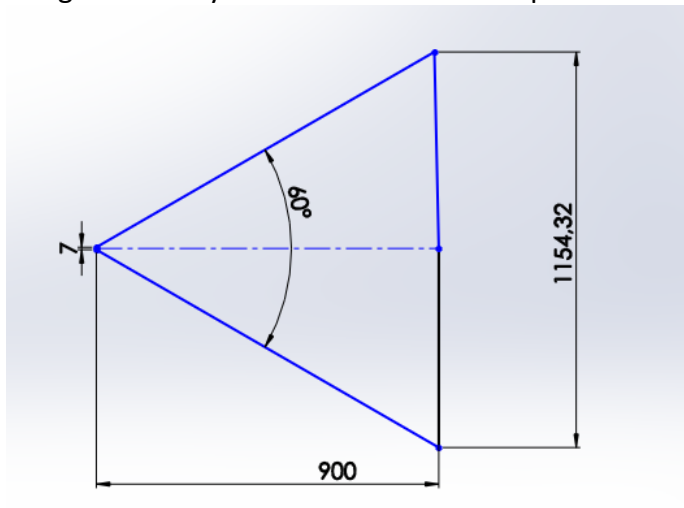
Con esta información suministrada por el proveedor se da inicio a la distribución de las boquillas en la cabina de simulación de lluvia para que la mayor parte de la superficie sea rociada y la prueba pueda ser más acertada. Se realiza la proyección del chorro de 30° y de 60 ° a una distancia de 90 cm desde la boquilla hasta la superficie de la carrocería. Con esto se determina el área proyectada de cada boquilla como se muestra en la Figura 32 y Figura 33.

Figura 32 Proyección de chorro de boquilla de 30°



Fuente: Autor

Figura 33 Proyección de chorro de boquilla a 60°



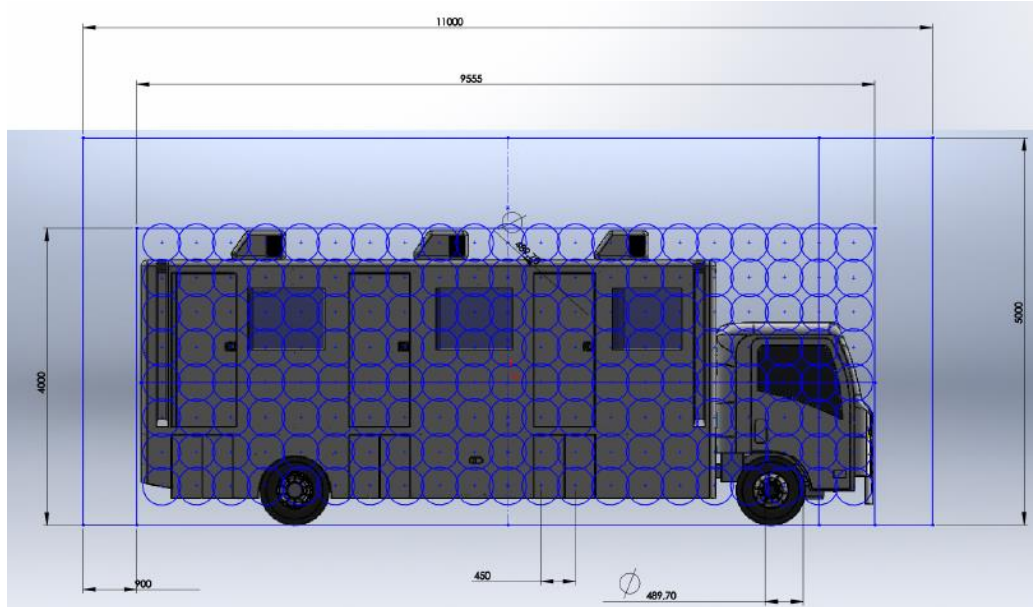
Fuente: Autor

Después de determinar las proyecciones de las boquillas con sus ángulos respectivos se realiza la distribución de las boquillas en la cabina de simulación lluvia.

A continuación se muestra en la Figura 34, Figura 35 Fuente: Autor

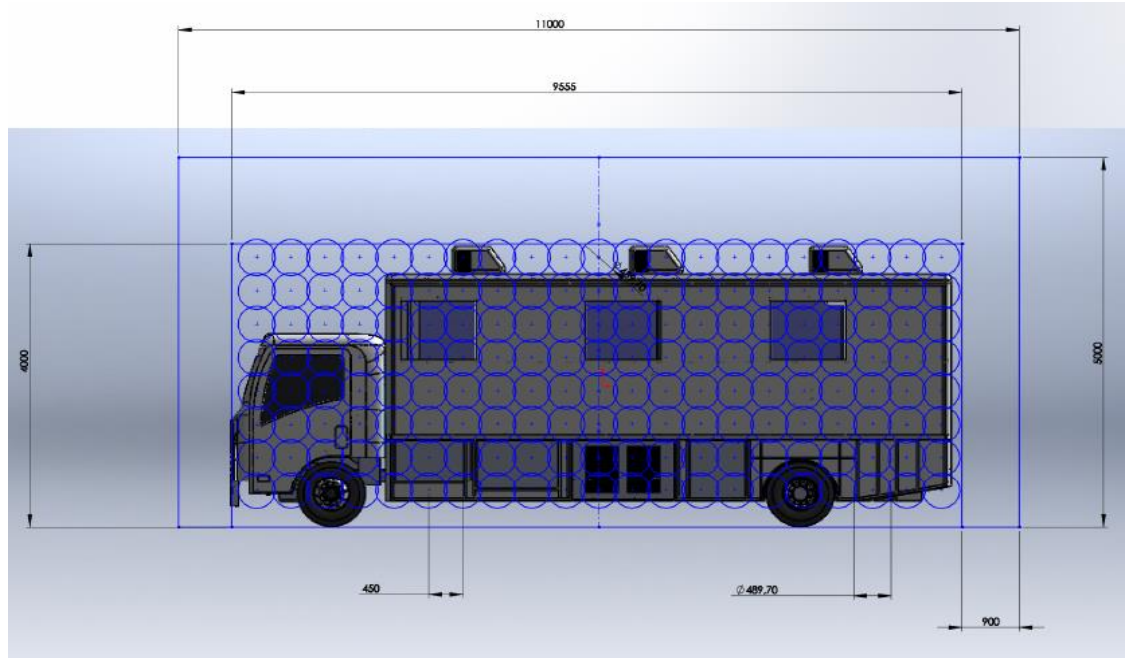
Figura 35, Figura 36 y Figura 37 el área que será rociada por el agua proveniente de las boquillas a 30°.

Figura 34 Distribución de boquilla de 30° lateral derecho de la cabina



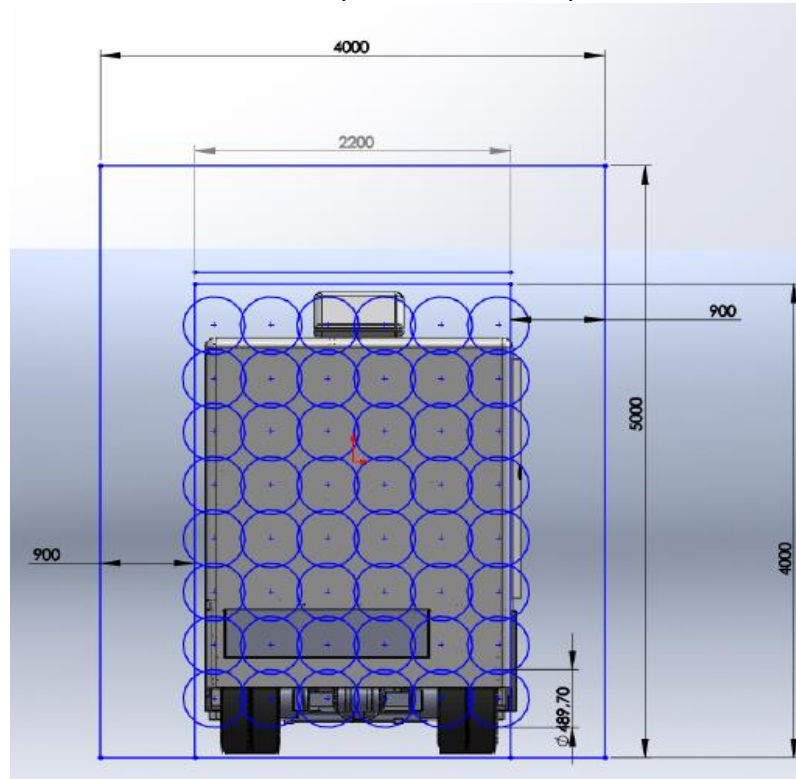
Fuente: Autor

Figura 35 Distribución de boquilla de 30° lateral izquierdo de la cabina



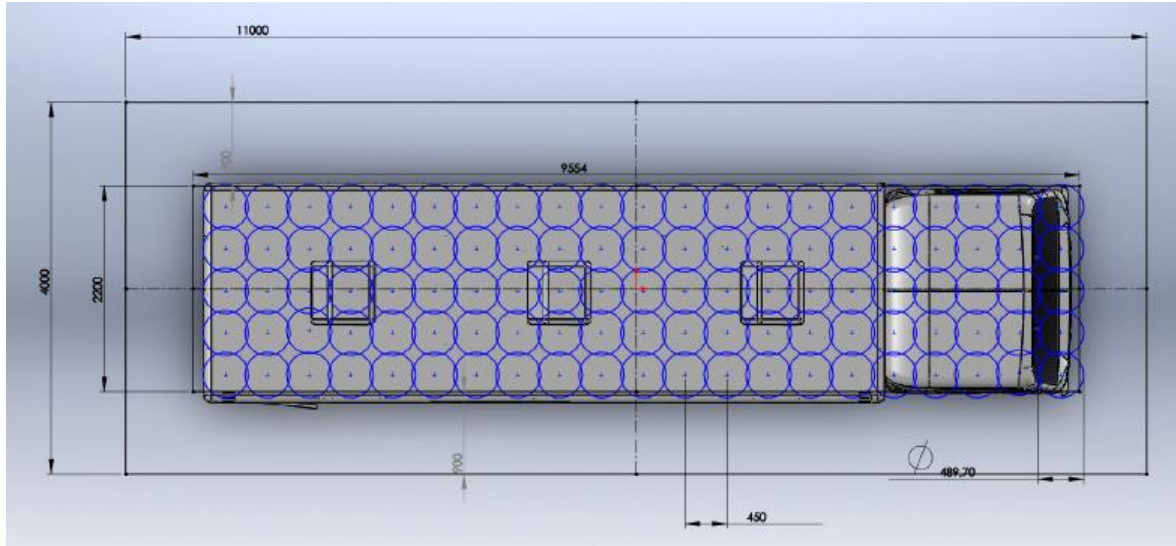
Fuente: Autor

Figura 36 Distribución de boquilla de 30° vista posterior de la cabina



Fuente: Autor

Figura 37 Distribución de boquilla de 30° vista de techo de la cabina

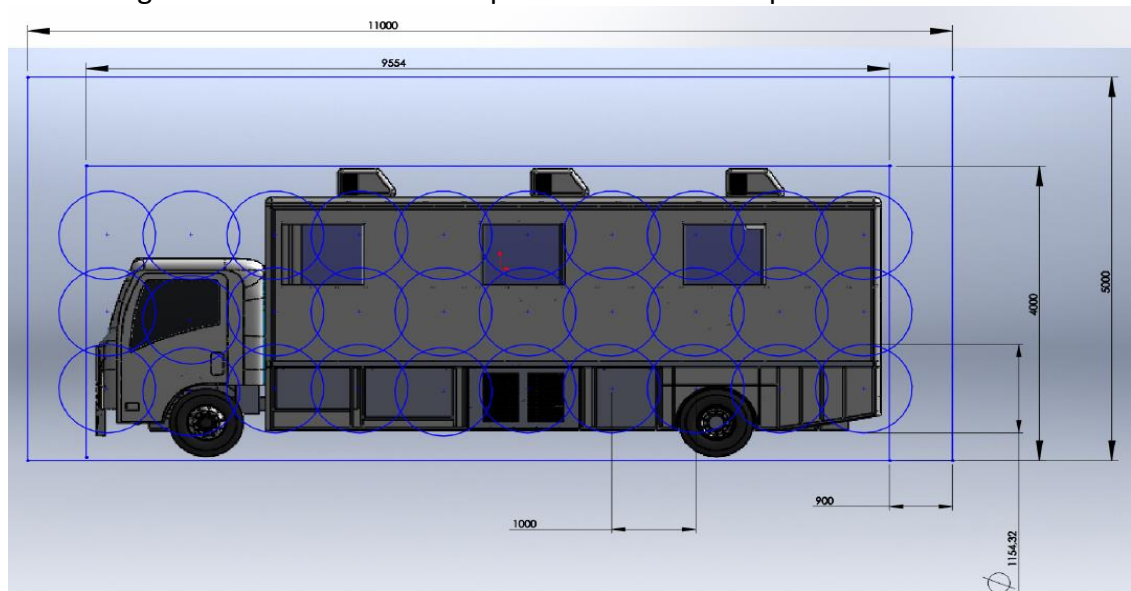


Fuente: Autor

También se realiza la distribución de boquillas a 60°, con el fin de determinar la cantidad de boquillas necesarias para que la mayor parte del vehículo este en contacto directo con el agua.

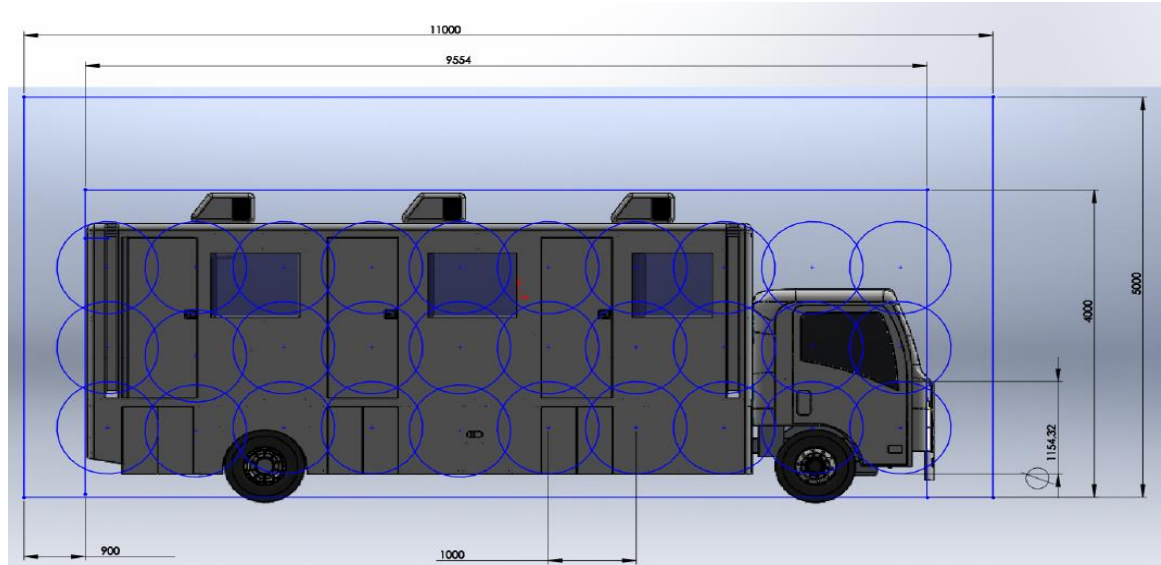
En la Figura 38, Figura 39, Figura 40, Figura 41 se muestra la distribución de boquillas con ángulo de salida de 60° en la cabina de simulación de lluvia.

Figura 38 Distribución de boquilla de 60° lateral izquierdo de la cabina



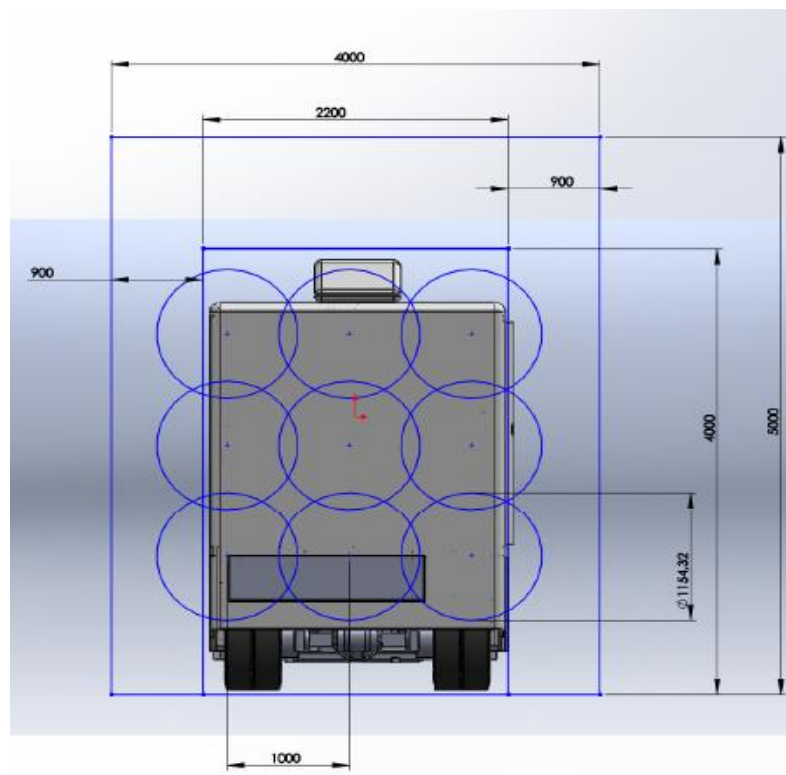
Fuente: Autor

Figura 39 Distribución de boquilla de 60° lateral derecho de la cabina



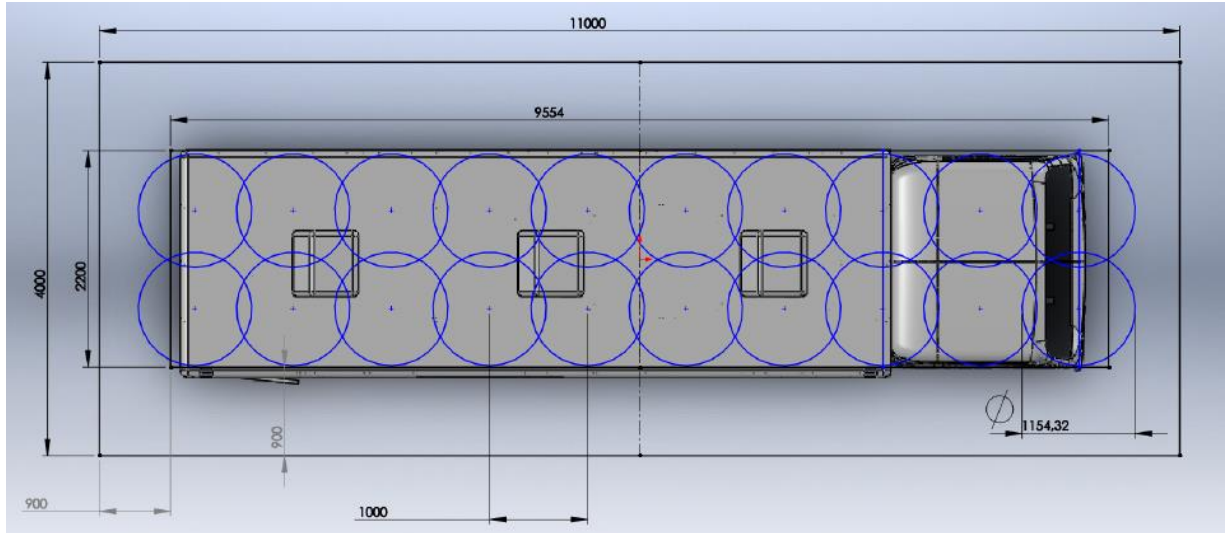
Fuente: Autor

Figura 40 Distribución de boquilla de 60° vista posterior de la cabina



Fuente: Autor

Figura 41 Distribución de boquilla de 60° vista de techo de la cabina



Fuente: Autor

Una vez establecida la distribución de boquillas de 30° y 60° se determinara la cantidad de boquillas necesarias para la cabina de simulación de lluvia según las figuras anteriores. En la Tabla 9 y Tabla 10 se puede observar la cantidad de boquillas que se requieren para los ángulos 30° y 60°.

Tabla 9 Cantidad de boquillas de 30° en la cabina de simulación de lluvia

Descripción	Cantidad
Boquilla 30° lateral derecho	168
Boquilla 30° lateral izquierda	168
Boquilla 30° techo	42
Boquilla 30° posterior	105
Total de boquillas 30°	483

Fuente: Autor

Tabla 10 Cantidad de boquilla de 60° en la cabina de simulación de lluvia

Descripción	Cantidad
Boquilla 60° lateral derecho	30
Boquilla 60° lateral izquierda	30
Boquilla 60° techo	20
Boquilla 60° posterior	9
Total de boquillas 60°	89

Fuente: Autor

Como se observa en las tablas anteriores se puede determinar que la cantidad de boquillas de 30° requeridas es muy alta, lo cual implica que el caudal a suministrar debe ser muy elevado y el costo de las boquillas en conjunto es muy alto. Por otro lado la cantidad de boquillas de 60° comparada con las boquillas de 30° es menor y se disminuirá el caudal y el costo de la boquilla ya que son menos. Por estas razones se selecciona la boquilla de 60°.

El porcentaje de área cubierta de la boquilla a 60° se encuentra en la Tabla 11.

Tabla 11 Porcentaje de área cubierta por boquillas a 60°

Parte de la unidad fabricada en carrocerías el SOL	Área (m ²)
Lateral derecho	38,216
Lateral izquierda	38,216
Techo	21,0188
Posterior	8,8
Frontal	8,8
Total	115,0508
Área total cubierta por boquilla de 60°	93,0875
% cubierto de la carrocería	81%

Fuente: Autor

Dimensionamiento del sistema hidráulico

Una vez establecida la distribución de boquillas en la cabina de simulación de lluvia se realizó la configuración y el cálculo hidráulico tanto de la tubería como el de la bomba, con el fin de transportar el agua hacia cada una de las boquillas.

En la Figura 42 se observa el diagrama de flujo donde se describen los pasos a realizar con el fin de determinar los diámetros, las perdidas por fricción de los diferentes tramos de tubería y la selección de la bomba

Figura 42 Diagrama de flujo de para el diseño paramétrico del sistema hidráulico



Fuente: Autor

Como primera medida se realiza la selección del material de la tubería. En la Tabla 12 se encuentra la comparación de cada uno de los materiales que comercialmente se utilizan para el transporte de agua.

Tabla 12 Comparación de materiales para la tubería hidráulica.

N°	Descripción	Acero galvanizado	PVC	Acero inoxidable
1	Precio estimado tubería 1 " por metro lineal (\$)	\$ 10.246,00	\$ 4.799,00	\$ 27.492,00

Fuente: Autor

Según la información que se observa en la tabla anterior se puede deducir que el material que mejor se ajusta a las condiciones y al presupuesto de diseño hidráulico es el PVC ya que se puede a un precio bajo en comparación con el acero galvanizado y el acero inoxidable. También las boquillas están fabricadas en PVC lo cual genera una compatibilidad entre la tubería y las boquillas ya que serían del mismo material. Por estas razones el material PVC se utilizara como medio de transporte del agua en el sistema hidráulico de la cabina de simulación de lluvia. La rugosidad de este material se observa en la Tabla 13.

Tabla 13 Rugosidad de diferentes materiales

MATERIAL	Ks (mm)
VIDRIO	0,0003
PVC, CPVC	0,0015
ASBESTO CEMENTO	0,03
GRP	0,03
ACERO	0,046
HIERRO FORJADO	0,06
CCP	0,12
HIERRO FUNDIDO ASFALTADO	0,12
HIERRO GALVANIZADO	0,15
ARCILLA VITRIFICADA	0,15
HIERRO FUNDIDO	0,15
HIERRO DUCTIL	0,25
MADERA CEPILLADA	0,18-0,9
CONCRETO	0,3-3
ACERO BRIDADO	0,9-9

Fuente: Autor

Una vez establecido el material, procede al cálculo de tuberías primarias y secundarias propuesta en el libro “hidráulica de tuberías” (19). Definiendo las tuberías primarias y secundarias de la siguiente manera.

Tubería primaria

- Tubería que llega a la estación de riego
- Tubería que llega al inicio de los módulos de riego
- Tubería que sigue la ruta crítica del sistema de riego

Tubería secundaria

- Tubería que parte de la tubería primaria y llega los submodulos de riego
- Tubería que parte de los módulos de riego (controlados por los reguladores de caudal) y llega a los sub módulos de riego (controlados por los reguladores de presión).

A continuación se plantean los pasos propuestos en el libro para el diseño de tuberías primarias y secundarias.

1. Determinar el caudal de diseño teniendo en cuenta el número de submodulos que es necesario regar simultáneamente.
2. Determinar la ruta crítica teniendo en cuenta el conjunto de tuberías primaria-secundaria que más pérdidas menores y la altura topográfica que es necesario vencer. Con esta ruta crítica⁴ se procede a hacer el diseño de las tuberías.
3. Una vez escogida la ruta crítica, llevar acabo el diseño de las tuberías principales y secundarias como una red abierta.
4. Una vez diseñadas las tuberías que conforman la ruta crítica, diseñar las tuberías que llegan a los demás módulos de riego, partiendo de la tubería principal ya diseñada. Como en esta etapa ya se conocen la bomba (con su curva Q versus H) y el diámetro principal.

Según la metodología mencionada anteriormente se realiza como primera medida la estimación del caudal que se requiere para la prueba de simulación de lluvia. En la Figura 31 se observa el caudal de la boquilla seleccionada que es 10 galones por minuto a la presión de 40 psi y en la Tabla 10 Cantidad de boquilla de 60° en la cabina de simulación

⁴ La ruta crítica: Es la ruta entre la estación de riego y el módulo de riego que produzca la mayor pérdida de energía hidráulica (pérdidas por fricción más pérdidas menores). Esta ruta crítica se utiliza para el diseño de las bombas, la tubería principal y la tubería secundaria última. Todas las demás tuberías del sistema de riego dependen de ese primer diseño, basado en la ruta crítica.

de lluvia se encuentra la cantidad de boquillas a 60° a la salida. Con estos datos podemos determinar que el caudal necesario es:

$$Q_T = Q_b * C_b \quad (1)$$

Q_T = caudal total del sistema

Q_b = caudal por boquilla

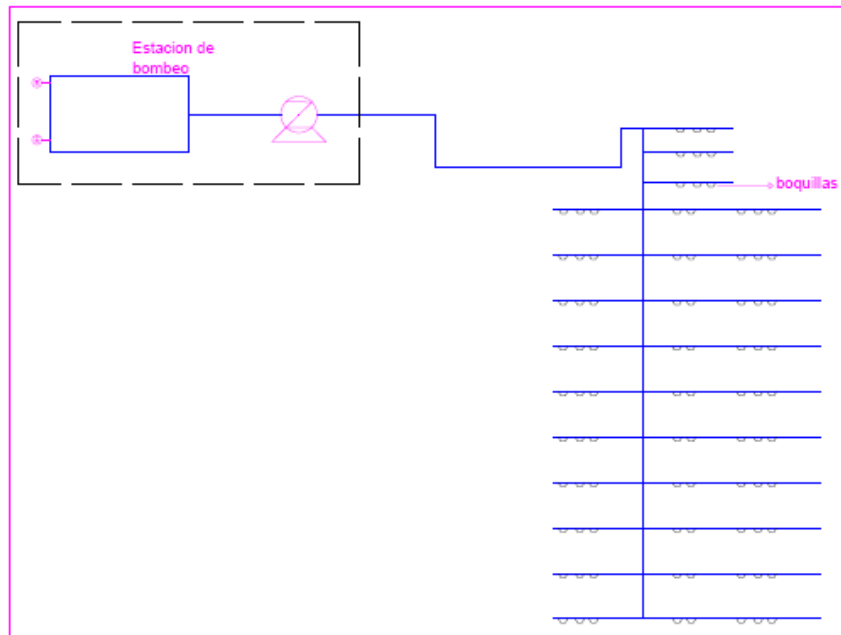
C_b = cantidad de boquilla

$$Q_T = 10 \frac{gal}{min} * 89 = 890 \frac{gal}{min}$$

Una vez establecido el caudal se procede a determinar la ruta crítica. Para la obtención de esta trayectoria es necesario determinar la distribución de la red hidráulica, es decir, la distribución de la tubería.

En la Figura 43 se observa el plano 2D de la distribución de la tubería que se determinó teniendo en cuenta el espacio que posee la empresa para la estación de bombeo, la cual debe ir detrás de la cabina. También esta distribución de la tubería no presenta interferencia con las distancias establecidas en la Figura 38, Figura 39, Figura 40 y Figura 41. Por estas razones no se realizó la distribución de tubería simétricamente en la cabina.

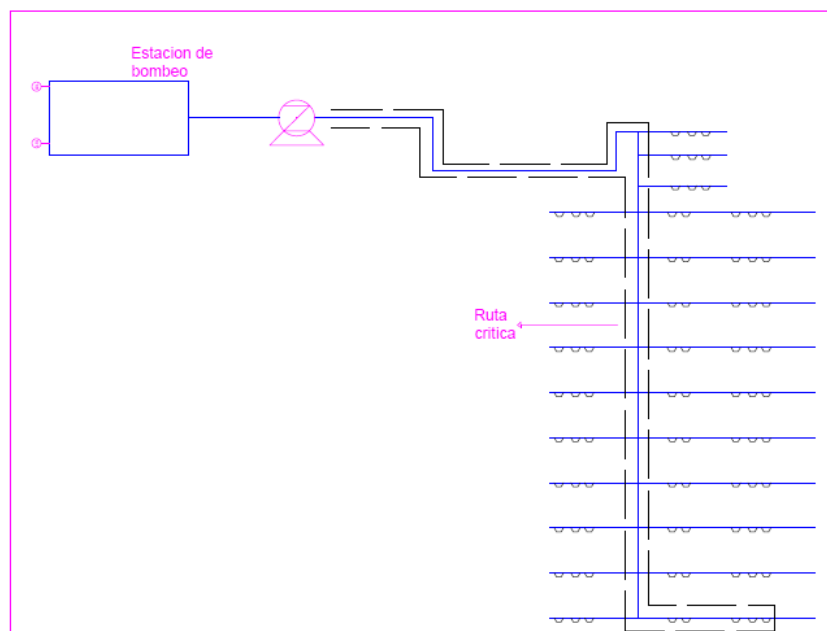
Figura 43 Plano general de red de distribución de tubería



Fuente: Autor

La ruta crítica de la red hidráulica se observa en la Figura 44 teniendo en cuenta que es la ruta crítica de la red hidráulica de la cabina de simulación de lluvia de la estación de bombeo y la altura a vencer por la bomba.

Figura 44 Ruta crítica de la red hidráulica de la cabina de simulación de lluvia



Fuente: Autor

El diámetro principal de la tubería es de 3" y los diámetros secundarios son de 1 1/2" respectivamente, estos diámetros fueron seleccionados debido a la restricción de la boquilla puesto que su entrada macho es de 3/4 y la reducción comercial más amplia es de 1 1/2" y entre más grande es el diámetro menor es la pérdida por fricción. También se determinó que el diámetro de la tubería principal debe ser 3" puesto que la reducción más amplia que comercialmente se consigue es de 3" a 1 1/2".

En la Tabla 14 se consignan los valores conocidos en el diseño de la red hidráulica.

Tabla 14 Datos conocidos de la red hidráulica.

Datos conocidos	
Material	PVC
Densidad del fluido (kg/m ³)	998,29
Viscosidad (kg/m*s)	1,00E-03
Rugosidad (€)(m)	0,0000015
Gravedad (m/s ²)	9,81
Caudales Q (m ³ /s)	0,056159
Caudal por boquilla (m ³ /s)	6,31E-04
Numero de boquillas	89
Presión en la boquilla (psi)	40

Fuente: Autor

En la red hidráulica se realiza una división del fluido mediante tramos ya que es una red ramificada y se debe tener en cuenta cada una de los segmentos para analizarlos individualmente determinado los siguientes parámetros:

- Caudal que atraviesa por cada tramo.
- Si el flujo del agua es laminar o turbulento.
- Las pérdidas por fricción.
- Las pérdidas menores (perdidas por accesorios).
- Conservación de masa.

Para determinar si el flujo es laminar o turbulento se debe determinar el valor del Reynolds, si este valor es menor o igual a 2300 el flujo es laminar, pero si este valor es mayor el flujo es turbulento, para determinar el valor adimensional de Reynolds se una la siguiente ecuación.

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D\mu} \quad (2)$$

Dónde:

Q =caudal (m³/s)

ρ = densidad (kg/m³)

D= diámetro (m)

μ =viscosidad (kg/m*s)

Dependiendo de si el flujo es laminar o turbulento se calculan las perdidas por fricción utilizando la ecuación de Darcy-Weisbach.

Si el flujo es laminar se determinan las pérdidas por fricción de la siguiente manera:

$$H_F = \frac{128\mu L Q}{\rho D^4 g \pi} \quad (3)$$

El cálculo de las perdidas por fricción de flujo turbulento se determina de la siguiente forma:

$$H_F = \frac{8fLQ^2}{D^5 g \pi^2} \quad (4)$$

El valor F (factor de fricción) se puede obtener mediante el diagrama de Moody o utilizando la ecuación de Haaland ya que el factor de fricción no se encuentran de forma implícita.

$$\frac{1}{f^{\frac{1}{2}}} = -1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re_d} + \frac{\left(\frac{K_s}{D}\right)^{1.11}}{3.7} \right) \quad (5)$$

Despejando el factor de fricción ese tiene:

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log \left(\frac{6.9}{Re_d} + \frac{\left(\frac{K_s}{D}\right)^{1.11}}{3.7} \right)} \right)^2 \quad (6)$$

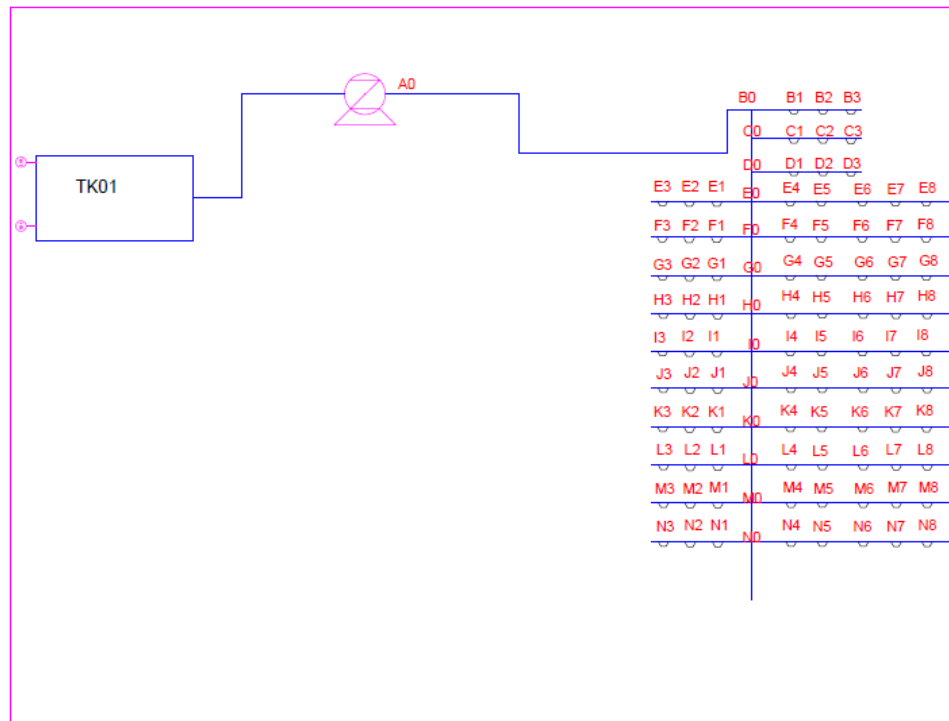
De esta forma se determina el valor del factor de fricción para tuberías circulares. Las pérdidas menores o pérdidas por accesorios se determinan mediante la siguiente ecuación:

$$H_m = K_{acc} * \frac{v^2}{2g} = \frac{8K_{acc}Q^2}{D^4g\pi^2} \quad (7)$$

Donde K_{acc} es la constante de pérdida del accesorio y se obtiene por medio de tablas. Este valor es empírico y se ha determinado mediante pruebas en laboratorio.

A partir de los valores conocidos y aplicando las ecuaciones planteadas anteriormente, se realiza una memoria de cálculos, donde se evidencian los resultados de cada uno de los tramos de la Red hidráulica, los resultados de esta memoria de cálculos se encuentran en el Anexo B. En la Figura 45 se observa los tramos de la red hidráulica.

Figura 45 División en tramos de la red hidráulica

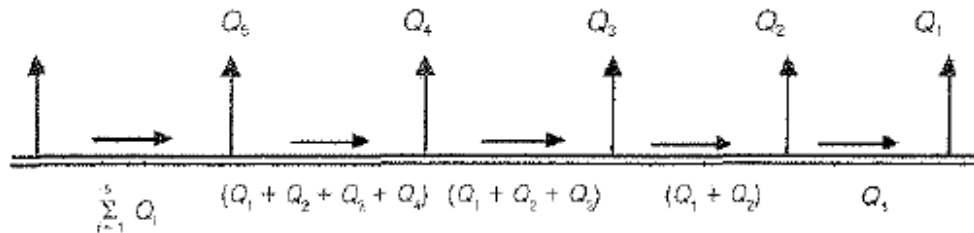


Fuente: Autor

Según la división que se observa en la figura anterior se realizó el cálculo y los resultados se muestran en el Anexo B

El procedimiento para la obtención de los valores establecidos en la memoria de cálculos se observa a continuación. Este procedimiento se realizará entre los tramos B0 y B3. Siendo una red ramificada se debe tener la conservación de la masa, que para este caso es el caudal el cual es dividido como se muestra en la Figura 46.

Figura 46 Conservación y distribución del caudal



Fuente: hidráulica de tuberías (19).

Los valores conocidos son los que se estipulan en la Tabla 14. Primero se realiza el cálculo del Reynolds, dependiendo de este valor se realiza el cálculo de las pérdidas por fricción y el cálculos de las pérdidas por accesorios, después se realiza una sumatoria de cada una de estas pérdidas con el fin de obtener la pérdida total en el tramo B0 hasta el tramo B3.

- Cálculos del tramo B0-B1

El tramo B0-B1 es una sección de la tubería secundaria la cual tiene el diámetro de 1 1/2" y el caudal que atraviesa este tramos es de 0.0019 m³/s, ya que por este tramo pasa el caudal de 3 boquillas. El caudal que cruza por cada boquilla es de 0,000631 m³/s.

El valor del número de Reynolds en el tramo B0-B1 es

$$Re = \frac{4Q\rho}{\pi D\mu}$$

$$Re = \frac{4 * 0.0019 \frac{m^3}{s} * 998,29 \frac{kg}{m^3}}{\pi * 0.0381m * 0.001 \frac{kg}{m * s}}$$

$$Re = 62963,889$$

Como este valor es mayor a 2500 el flujo es turbulento y las pérdidas por fricción se calculan con la ecuación (4).

$$H_F = \frac{8fLQ^2}{D^5 g \pi^2}$$

Donde el factor de fricción se calcula con la ecuación (5)

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log\left(\frac{6.9}{Re_d} + \frac{\left(\frac{K_s}{D}\right)^{1.11}}{3.7}\right)} \right)^2$$

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log\left(\frac{6.9}{62963.889} + \frac{\left(\frac{0,0000015m}{0.0381m}\right)^{1.11}}{3.7}\right)} \right)^2$$

Este valor del factor de fricción en el tramo B0-B1 es igual a

$$f = 0,019797$$

El valor de las pérdidas por fricción en el tramo B0-B1 es igual a

$$H_F = \frac{8 * 0.019797 * 1m * \left(0.0019 \frac{m^3}{s}\right)^2}{0.0381m^5 * 9.81 \frac{m}{s^2} \pi^2}$$

$$H_F = 0.0730m$$

Las pérdidas por accesorios en este tramo B0-B1 se calculan según la ecuación (7).

$$H_m = \frac{8 \sum K_{acc} Q^2}{D^4 g \pi^2}$$

Las pérdidas de cada accesorio se muestran en la Tabla 15 (19).

Tabla 15 Pérdidas por accesorios en el tramo B0-B1

Tramo de Tubería	Accesorio	Cantidad	k
B0-B1	Reducción	1	0,16
	Válvula de regulación	1	0,35
	Boquilla	1	0,48

Fuente: Autor

El valor de las perdidas menores en el tramo B0-B1 es:

$$H_m = \frac{8 * \left(0.0019 \frac{m^3}{s}\right)^2}{0.0381m^4 * 9.81 \frac{m}{s^2} * \pi^2} * (0.16 + 0.35 + 0.48)$$

$$H_m = 0,0618m$$

Una vez calculado las perdidas por fricción y las perdidas menores se realiza la suma de estos 2 valores que son las pérdidas totales por fricción en el tramo B0-B1.

$$H_{FT \text{ tramo } B0-B1} = H_F + H_m$$

$$H_{FT \text{ tramo } B0-B1} = 0,1348 m$$

- Cálculo tramo B1-B2

El tramo B1-B2 es una sección de la tubería secundaria la cual tiene el diámetro de 1 1/2" y el caudal que atraviesa este tramo es de 0.0013 m³/s, ya que por este tramo pasa el caudal de 2 boquillas. El caudal que cruza por cada boquilla es de 0,000631 m³/s.

El valor del número de Reynolds en el tramo B1-B2 es

$$Re = \frac{4 * 0.0013 \frac{m^3}{s} * 998,29 \frac{kg}{m^3}}{\pi * 0.0381m * 0.001 \frac{kg}{m * s}}$$

$$Re = 41975,926$$

Como el valor del Reynolds es mayor a 2500 el flujo se considera turbulento. Por esta razón se aplica la ecuación (4).

$$H_F = \frac{8fLQ^2}{D^5 g \pi^2}$$

El valor del coeficiente de fricción en el tramo B1-B2 es

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log \left(\frac{6.9}{41975,926} + \frac{\left(\frac{0,0000015m}{0.0381m} \right)^{1.11}}{3.7} \right)} \right)^2$$

$$f = 0,0216$$

El valor de las pérdidas por fricción en el tramo B1-B2 es igual a

$$H_F = \frac{8 * 0.0216 * 1m * \left(0.0013 \frac{m^3}{s} \right)^2}{0.0381m^5 * 9.81 \frac{m}{s^2} \pi^2}$$

$$H_F = 0,0355m$$

Las pérdidas menores en este tramo B1-B2 se calculan según la ecuación (7).

$$H_m = \frac{8 \sum K_{acc} Q^2}{D^4 g \pi^2}$$

Las pérdidas de cada accesorio se observan en la Tabla 16.

Tabla 16 Pérdidas por accesorios en el tramo B1-B2

Tramo de Tubería	Accesorio	Cantidad	k
B1-B2	Boquilla	1	0,48

Fuente: Autor

El valor de las perdidas menores en el tramo B1-B2 es:

$$H_m = \frac{8 * 0,48 * \left(0,0013 \frac{m^3}{s}\right)^2}{0,0381m^4 * 9,81 \frac{m}{s^2} * \pi^2}$$

$$H_m = 0,03m$$

Una vez establecidos los valores de las perdidas por fricción y las perdidas menores se realiza la suma de estos 2 valores que son las pérdidas totales por fricción en el tramo B1-B2.

$$H_{FT \text{ tramo B1-B2}} = H_F + H_m$$

$$H_{FT \text{ tramo B1-B2}} = 0,0655 \text{ m}$$

- Cálculo del tramo B2-B3

El tramo B2-B3 es una sección de la tubería secundaria la cual tiene el diámetro de 1 1/2" y el caudal que atraviesa este tramo es de 0.0006 m³/s, ya que por este tramo pasa el caudal de 1 boquillas. El caudal que cruza por cada boquilla es de 0,000631 m³/s.

El valor del número de Reynolds en el tramo B2-B3 es:

$$Re = \frac{4 * 0,0006 \frac{m^3}{s} * 998,29 \frac{kg}{m^3}}{\pi * 0,0381m * 0,001 \frac{kg}{m * s}}$$

$$Re = 20987,963$$

Como el valor del Reynolds es mayor a 2500 el flujo se considera turbulento. Por esta razón se aplica la ecuación (4).

$$H_F = \frac{8fLQ^2}{D^5 g \pi^2}$$

El valor del coeficiente de fricción en el tramo B2-B3 es:

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log\left(\frac{6.9}{20987,963} + \frac{\left(\frac{0,0000015m}{0.0381m}\right)^{1.11}}{3.7}\right)} \right)^2$$

$$f = 0,0255$$

El valor de las pérdidas por fricción en el tramo B2-B3 es igual a

$$H_F = \frac{8 * 0.0255 * 1m * \left(0.0006 \frac{m^3}{s}\right)^2}{0.0381m^5 * 9.81 \frac{m}{s^2} \pi^2}$$

$$H_F = 0,0104m$$

Las pérdidas menores en este tramo B2-B3 se calculan según la ecuación (7).

$$H_m = \frac{8 \sum K_{acc} Q^2}{D^4 g \pi^2}$$

Las pérdidas de cada accesorio se observan en la Tabla 17.

Tabla 17 Pérdidas por accesorios en el tramo B2-B3

Tramo de Tubería	Accesorio	Cantidad	k
B2-B3	Boquilla	1	0,48

Fuente: Autor

El valor de las perdidas menores en el tramo B2-B3 es:

$$H_m = \frac{8 * 0,48 * \left(0.0006 \frac{m^3}{s}\right)^2}{0.0381m^4 * 9.81 \frac{m}{s^2} \pi^2}$$

$$H_m = 0,0075m$$

Una vez calculado las perdidas por fricción y las perdidas menores se realiza la suma de estos 2 resultados que son las pérdidas totales por fricción en el tramo B2-B3.

$$H_{FT \text{ tramo } B2-B3} = H_F + H_m$$

$$H_{FT \text{ tramo } B2-B3} = 0,0179m$$

Después de realizar el cálculo de las pérdidas por fricción en cada uno de los tramos de la red hidráulica como se realizó en cálculo en el tramo B0-B3, se realiza este procedimiento en cada uno de los tramos de la red hidráulica, y finalmente se realiza la suma de todas las pérdidas totales de cada tramo y se aplica la ecuación de energía.

Los resultados obtenidos que se evidencian en el anexo B se contemplan los diámetros y accesorios comerciales de la tubería en PVC ya que esta es una restricción tanto para el diseño como para su futura fabricación.

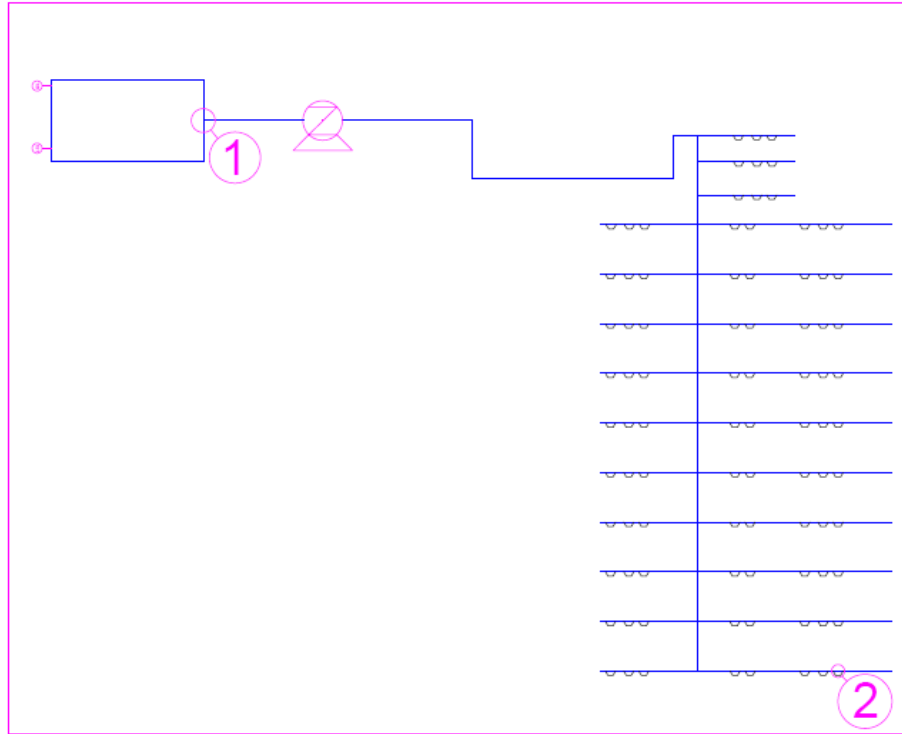
Una vez finalizada la memoria de cálculos que se evidencia en el anexo B se realiza la sumatoria de las pérdidas por fricción y las pérdidas menores y los resultados obtenidos de las pérdidas por fricción total es:

$$H_{FT} = H_m + H_F \quad (9)$$

$$H_{FT} = 44.6164 m$$

Una vez obtenido todos los valores de la red hidráulica se calcula la altura dinámica de la bomba mediante la ecuación (11) la cual se aplica entre los puntos 1 y 2 más alejados siendo los extremos de la ruta crítica como se muestra en la Figura 47.

Figura 47 Puntos de análisis para calcular la cabeza dinámica de la bomba



Fuente: Autor

$$\left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) + h_B - (H_f + H_m) = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) \quad (10)$$

Despejando la altura dinámica de la bomba de la ecuación (10) ese tiene:

$$h_B = \left(\frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) + (H_f + H_m) - \left(\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) \quad (11)$$

A partir de la ecuación 12 se simplifican algunos términos puesto que la velocidad a la entrada y a la salida son muy pequeñas por esta razón son aproximadamente cero.

El punto de referencia es z_1 por esta razón es cero.

La presión de entrada y de salida es la misma ya que el chorro sale a la presión atmosférica por esta razón los términos $\frac{p_1}{\gamma}$ y $\frac{p_2}{\gamma}$ son iguales. Con estas simplificaciones la ecuación se reduce a:

$$h_B = z_2 + H_{FT} \quad (12)$$

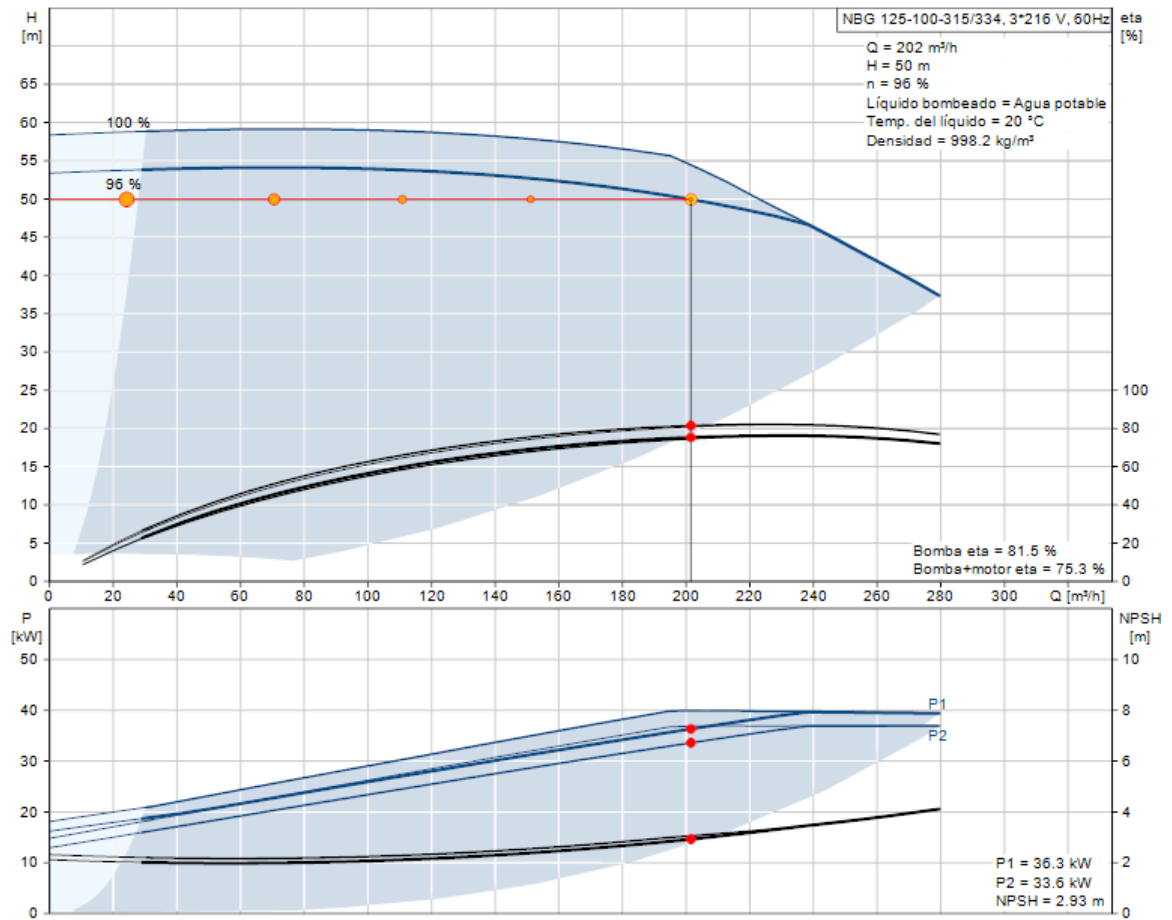
$$h_B = 5m + 44.6 m$$

Se realiza la aproximación al entero mayor para redondear el valor.

$$h_B = 50 m$$

Una vez obtenido el valor de la cabeza dinámica (H_B) se realiza la selección de la bomba. Para realizar esta selección se debe considerar aspectos como el tipo de fluido, el caudal y la cabeza dinámica, la presión del sistema y el tipo de aplicación. Para Las condiciones del sistema hidráulico de la cabina de simulación de lluvia el fluido es agua y es necesaria una presión. Para este tipo de aplicaciones se requerirá una bomba centrífuga. Uno de los proveedores más grande del país y con gran variedad de bombas centrífugas para aplicaciones industriales es la empresa GRUNDFOS. Por esta razón se realiza la selección con el catálogo de esta empresa. El catálogo de esta compañía es virtual y se realiza la selección por medio de la plataforma, indicando los valores de caudal, tensión eléctrica, cabeza dinámica, alta eficiencia, bajo consumo, número de bombas, entre otros valores. La curva característica de la bomba seleccionada que cumple con los parámetros del sistema hidráulico se observa en la Figura 48.

Figura 48 Curva característica de la bomba



Fuente: GRUNDFOS

Después de seleccionar la bomba se realiza la verificación de que la bomba en su funcionamiento no Cavite lo cual puede generar un desgaste a excesivo en corto tiempo de la bomba.

En las especificaciones técnicas de la bomba indica el NPSHr el cual debe ser menor o igual al NPSHd.

$$NPSHd \geq NPSHr$$

El cálculo del NPSHd se realiza mediante la siguiente ecuación

$$NPSHd = \frac{P_o}{\gamma} - H_a - K_{ASP} Q^2 - \frac{P_V}{\gamma} \quad (13)$$

NPSH_d : carga positiva neta de succión disponible.

Po: Presión del reservorio (absoluta).

γ : Peso específico del líquido.

Ha: Altura del tubo de aspiración.

K_{ASP} : Coeficiente de pérdidas del tubo de aspiración.

Donde el coeficiente de pérdidas del tubo de aspiración se calculó.

$$K_{ASP} = \left(\sum \frac{8F_i L_i}{\pi^2 D^5 g} + \sum \frac{8K_{ACCI}}{\pi^2 D^4 g} \right) \quad (14)$$

El valor del número de Reynolds es

$$Re = \frac{4 * \frac{0,056m^3}{s} * \frac{998,29kg}{m^3}}{\pi * 0,1016m * 0.001kg/m * s}$$

$$Re = 700585.523$$

El valor del coeficiente de fricción es:

$$f = \left(\frac{1}{-1.8 \log \left(\frac{6.9}{934114.03} + \frac{\left(\frac{0,0000015m}{0.1016m} \right)^{1.11}}{3.7} \right)} \right)^2$$

$$f = 0,012$$

En la Tabla 18 valor de las constantes de pérdidas en la tubería de aspiración:

Tabla 18 Pérdidas por accesorios en la tubería de aspiración

Accesorio	Cantidad	k
Válvulas de retención	1	0,5
Codos regulares 90°	1	0,35

Fuente: Autor

$$K_{ASP} = \left(\frac{8 * 0.012 * 2.5m}{\pi^2 * 0.1016m^5 * 9.8 \frac{m}{s^2}} + \frac{8 * (0.5 + 0.3)}{\pi^2 * 0.1016m^4 * 9.8 \frac{m}{s^2}} \right)$$

El valor del NPSHr indicado por el fabricante es de 2,93m.

El valor del NPSHd es:

$$NPSHd = \frac{74660,54 \text{ } pa}{9800 \text{ } N/m^3} - 1.3m - 888,995 \frac{s}{m^5} * 0,0561 \frac{m^3}{s} - \frac{2339.7 \text{ } pa}{9800 \text{ } N/m^3}$$

$$NPSHd = 3,2818m$$

Si se realiza la comparación del con NPSHd el NPSHr.

$$NPSHd \geq NPSHr$$

$$3.2818m \geq 2.93m$$

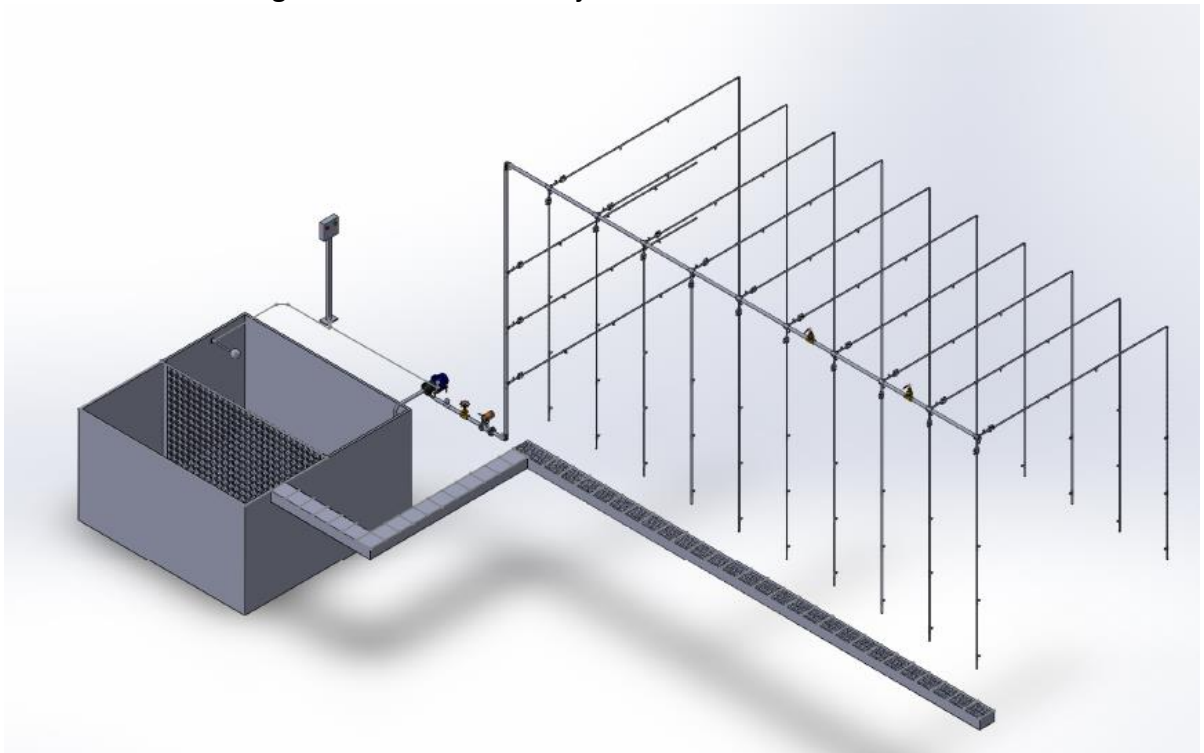
Según esta comparación la bomba no cavita en su punto máximo de funcionamiento puesto que este valor es mayor.

7.3 DISEÑO EN DETALLE

Esta es la última fase del diseño, donde se unen todos los componentes en su totalidad, realizando los planos de diseño del conjunto que se muestran en el Anexo F, se realiza la especificación de diseño del producto (PDS) y los materiales que se utilizan para su futura fabricación.

Una vez establecidas cada una de las partes de la red hidráulica, en la Figura 49 se ilustra en conjunto el sistema hidráulico de la cabina de simulación de lluvia en su totalidad. Se observan la estación de bombeo, regulación de caudal y regulación de presión.

Figura 49 CAD 3D del conjunto del sistema hidráulico



Fuente: Autor

Una vez realizado la selección de materiales, la memoria de cálculos y demás actividades se procede a realizar la especificación de diseño del producto (PDS) que se encuentra en la Tabla 19.

Tabla 19 Especificaciones de diseño del producto (PDS)

Identificación del producto	
Técnico de la cabina	
Presión de salida de boquillas	40 psi
Cantidad de boquilla	89
Angulo de chorro a la salida de la boquilla	60°
Tiempo de duración de la prueba	2 min
Capacidad del almacenamiento del tanque	1946.88 galones
Temperatura ambiental máxima de trabajo de la bomba:	60 °C
Presión de trabajo máxima de la bomba:	16 bar
Referencia de la bomba:	NBG 125-100-315/334 AS-J2-A-BQQE
Velocidad para datos de bomba:	1785 rpm
Caudal de la bomba real calculado:	202 m³/h
Altura resultante de la bomba:	50 m
Diámetro real del impulsor:	334 mm
Impulsor nominal:	315 mm
Impulsor máx.:	334 mm
Diámetro del eje de la bomba:	42 mm
Motor N°:	98665026
Tipo lubricante:	Grasa
Materiales de elementos de la cabina	
Tubería	PVC
Cuerpo hidráulico de la bomba:	Fundición
Cuerpo hidráulico de la bomba:	ASTM A48-40 B
Impulsor de la bomba:	Fundición
Impulsor de la bomba:	ASTM A48-30 B
Líquido de trabajo	
Líquido bombeado:	Agua potable
Rango de temperatura del líquido:	-25 -- 110 °C
Temp. líquido:	20 °C
densidad del líquido:	998.2 kg/m³
Viscosidad cinemática:	1 mm²/s
Datos eléctricos de la bomba	
Tipo de motor:	MMG225S
Número de polos:	4
Potencia nominal - P2:	37 kW
Frecuencia de alimentación:	60 Hz
Tensión nominal:	3 x 200-220DD/400-440D V
Corriente nominal:	130-120/64,5-60,0 A
Ciclo de vida del sistema	
Vida útil del sistema	10 años
Requiere capacitación para su operación	si
Cantidad de operarios	2
Mantenimiento preventivo	6 meses
Descripción física	
Alto de la cabina	5 metros
Largo de la cabina	11 metros
Ancho de la cabina	4 metros

Fuente: Autor

Dimensionamiento del tanque subterráneo

El dimensionamiento del tanque subterráneo de almacenamiento de agua principal debe ser diseñado con aproximadamente 1809,6 galones de agua con el fin de garantizar que el suministro de agua sea el suficiente durante la prueba de 2 min. En la Tabla 20 se encuentra estipulado los valores que se calcularon para el dimensionamiento del tanque.

Tabla 20 Cantidad de agua

Descripción	Cantidad de agua (m ³)
Tubería de 1 ½"	0,12
Tubería de 3"	0,1
Agua necesaria para la prueba de 2 min	6,74
Cantidad de agua necesaria para toda la prueba	6,96

Fuente: Autor

Una vez establecida la cantidad de agua necesaria para que el suministro de agua para la prueba de simulación de lluvia, se establecen las medidas del tanque subterráneo el cual contiene 1946.88 galones. En la Tabla 21 se encuentran las dimensiones del tanque subterráneo.

Tabla 21 dimensionamiento del tanque subterráneo

Dimensiones	Medidas en (m)
Largo	2,4
Ancho	2,4
Alto	1,3
Capacidad total de almacenamiento de agua	7,488(m ³)

Este tanque está diseñado para su fabricación por medio de una obra civil la cual se realizara en la parte posterior de la cabina con el fin de que quede lo más cercano a la bomba para disminuir las pérdidas por fricción en la tubería.

Una vez finalizado el diseño del sistema hidráulico para una cabina de simulación de lluvia, en la Tabla 22 realizara una verificación del cumplimiento de los requerimientos del cliente los cuales se establecieron en el diseño conceptual.

Tabla 22 verificación de requerimiento del cliente.

Requerimientos del cliente	Verificación
Turno de 8 horas	El sistema está en capacidad de realizar pruebas simultaneas y puede ser operado durante la jornada de trabajo de 8 horas
Facilidad de mantenimiento	El sistema está constituido por subconjuntos los cuales son tramos de tuberías los cuales pueden ser reemplazados si se presenta algún tipo de falla sin que el sistema presente algún tipo de alteración en su funcionamiento
Fácil manejo del sistema	El sistema está diseñado para ser accionado a través de un pulsador el cual energiza la bomba siempre y cuando el tanque este con la suficiente agua ya que de no ser así el sistema no tendrá paso de corriente, también posee una parada de emergencia en caso de algún precedente detener la prueba. Este sistema puede ser operado por cualquier persona de la planta.
La prueba debe cubrir más del 75 % de la carrocería	La proyección de agua pulverizada del sistema cubre aproximadamente el 81% de la carrocería lo cual puede ser una prueba en la cual se puede detectar gran cantidad de filtraciones.
Vida útil del dispositivo	La vida útil del sistema se estimó en cuanto al componente más costoso del sistema que es la bomba la cual el fabricante indica que su tiempo de vida útil dependiendo de sus condiciones de instalación es de 10 y 20 años. La vida útil del PVC varía entre 15 y 100 años. Por estas razones se estimó el tiempo de vida útil de 10 años cumpliendo con el requerimiento que exigía 5 años.
Bajo costo	El sistema fue diseñado con los materiales de menor precio como el PVC, carpa en poliéster, recubrimientos en pintura, entre otros materiales que cuales fueron comparados con otros materiales y su costo es bajo y cumplen la misma función
Resistencia al agua y a la humedad	El sistema está diseñado con elementos resistentes a la humedad y el agua. Los elementos que se corroen fácilmente se les realizan un proceso de recubrimiento para poder cumplir con este requerimiento.
Alto aprovechamiento del agua	El sistema está diseñado para recircular el agua utilizada en cada una de las pruebas, el agua será filtrada y nuevamente se reutilizara.
Aplicación de la prueba a cualquier carrocería	El sistema está diseñado para que cualquier carrocería fabricada pueda ingresar a la cabina y sea posible realizar la prueba. Este sistema posee válvulas las cuales dependiendo del tamaño del vehículo sean accionadas.
Condiciones de la prueba según norma NTC 3729	El sistema está diseñado bajo la norma NTC 3729 con todos los parámetros estipulados en esta norma

Fuente: Autor

8 BENEFICIO ECONÓMICO

El costo del sistema hidráulico esperado en una futura fabricación es de \$ 51.489.722,75 de pesos. Si comparamos este precio con el producto competidor de la compañía china, la diferencia es de \$ 48.110.277,25 de pesos. Esta diferencia de precios es bastante alta debido a que no se tiene en cuenta el costo asociado a la fabricación de la estructura la cual se espera que no supere el valor de \$20.000.000,00 de pesos. Siendo la diferencia total aproximada de precios de \$28.110.277,25de pesos.

El valor del producto competidor puede aumentar ya que no incluye el costo asociado al transporte ni la instalación ya que esta empresa se encuentra en china. Unos de los beneficios son el mantenimiento y los costos asociados a imprevistos puesto que la fabricación de la cabina de simulación de lluvia seria realizada por la misma empresa. Además esta cabina de simulación de lluvia tendrá las condiciones que se especifican en la norma NTC 3729. En la Tabla 23 se encuentra los costos aproximados para la futura fabricación.

Tabla 23 Gastos del proyecto

N°	DESCRIPCION	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
1	TUBO PVC 3"	21,86	\$ 14.166,67	\$ 309.683,41
2	TUBO PVC 1 1/2"	108,9	\$ 5.333,33	\$ 580.799,64
3	TUBO PVC 4"	2,5	\$ 17.210,00	\$ 43.025,00
4	TAPON 3" PVC	1	\$ 8.000,00	\$ 8.000,00
5	TAPON 1 1/2" PVC	23	\$ 5.000,00	\$ 115.000,00
6	TEE REDUCIDA 1 1/2" - 3/4" PVC	89	\$ 4.500,00	\$ 400.500,00
7	INJERTO DOBLE EN PVC 3"	10	\$ 25.000,00	\$ 250.000,00
8	REDUCCION 3" - 1 1/2"	23	\$ 7.000,00	\$ 161.000,00
9	MANOMETRO	2	\$ 15.000,00	\$ 30.000,00
10	VALVULA REGULADORA 1 1/2" PVC	23	\$ 30.000,00	\$ 690.000,00
11	CODO 90° 1 1/2" PVC	10	\$ 4.000,00	\$ 40.000,00
12	CODO 90° 3" PVC	2	\$ 24.000,00	\$ 48.000,00
13	BOQUILLA	89	\$ 88.700,00	\$ 7.894.300,00
14	BOMBA	1	\$ 2.500.000,00	\$ 2.500.000,00
15	VALVULA CHEQUE 4"	1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
16	VALVULA REGULADORA 3" PVC	3	\$ 65.000,00	\$ 195.000,00
17	MEDIDOR DE FLUJO	1	\$ 60.000,00	\$ 60.000,00
18	BULTO DE CEMENTO 30 kg	3	\$ 40.000,00	\$ 120.000,00
19	ARENA 40 kg	2	\$ 14.000,00	\$ 28.000,00
20	MALLA EN ACERO INOXIDABLE	1	\$ 45.000,00	\$ 45.000,00
21	PINTURA A LA ESTRUCTURA	-	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
22	OBRA CIVIL	1	\$ 5.000.000,00	\$ 5.000.000,00
23	OMEGAS EN ALUMINIO	100	\$ 2.000,00	\$ 200.000,00
24	CABLE ENCAUCHETADO 3X12x100m	1	\$ 25.000,00	\$ 25.000,00
25	FLOTADOR ELECTRONICO	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
26	CONTACTOR	1	\$ 150.000,00	\$ 150.000,00
27	CAJA DE TACOS	1	\$ 50.000,00	\$ 50.000,00
28	ADECUACION DEL TERRENO	1	\$ 1.000.000,00	\$ 1.000.000,00
29	BREAKER	1	\$ 20.000,00	\$ 20.000,00
30	PULSADOR	2	\$ 10.000,00	\$ 20.000,00
31	BOMBILLOS TESTIGOS	2	\$ 5.000,00	\$ 10.000,00
32	REJILLA DE CANALETA DE RECIRCULACION DE AGUA	1	\$ 500.000,00	\$ 500.000,00
33	TAPA DE TANQUE EN ACERO INOXIDABLE	1	\$ 40.000,00	\$ 40.000,00
34	RELE TERMICO	1	\$ 250.000,00	\$ 250.000,00
35	CARPA	1	\$ 3.025.607,55	\$ 3.025.607,55
36	SOLDADURA PARA PVC * GALON	1	\$ 200.000,00	\$ 200.000,00
37	MANO DE OBRA	-	\$ 24.518.915,59	\$ 24.518.915,59
			Subtotal	\$ 49.037.831,19
IMPREVISTOS 5%		-		\$ 2.451.891,56
			Total	\$ 51.489.722,75

Fuente: Autor

9 RESULTADOS OBTENIDOS

- 1- Se cumplieron con los objetivos propuestos por parte de la empresa, lo cual llevo a la vinculación directa con la compañía después de las actividades realizadas como pasantía.
- 2- Se realizaron los cálculos necesarios con el fin elaborar el diseño del sistema de simulación de lluvia bajo norma NTC 3729 Tipología vehicular. ambulancias de transporte terrestre. Se espera la fabricación del sistema a mediano plazo. cumplirá con la norma colombiana y también ayudaría como mejora al sistema de control de calidad final de la carrocería por parte de la empresa Carrocerías El Sol S.A.S.
- 3- Se cumplieron los objetivos estipulados por el área de ingeniería de la empresa Carrocerías El Sol S.A.S:
 - Elaboración del diseño hidráulico para la detección de fugas de agua en las carrocerías fabricadas.
 - Construcción de conformadores o matrices para estandarizar el proceso de fabricación de las estructuras de la carrocería de ambulancias.
 - Controlar y minimizar el consumo de material y reducción de peso en la fabricación de la estructura de la carrocería de ambulancias.
 - Generación de planos de fabricación de estructuras dependiendo el tipo de chasis en el cual unida la carrocería.
 - Mejora de los puestos de trabajo ayudando a agilizar el proceso de fabricación, y mejorar la ergonomía de los empleados.
 - Implementar el sistema de fabricación en línea de la estructura de la carrocería aumentando la producción y controlando cada una de las partes de la estructura.

10 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se recomienda que las pruebas de simulación de lluvia se realicen a las carrocerías terminadas en su 100% y antes de ser entregadas al cliente ya que cualquier elemento adicionado después de realizada la prueba puede alterar la carrocería y puede generar una filtración.
- El diseño de selección de la tubería cumple funciones similares al diseño en sistemas hidráulicos de cultivos o sistemas de riego. lo que permite realizar el dimensionamiento de tuberías para cabinas de simulación de lluvia, basada en sistemas de riego o redes ramificadas por su similitud.
- Se recomienda en el diseño de sistemas hidráulicos utilizar la mayor cantidad de elementos estandarizados. No considerar este aspecto puede generar sobrecostos en sistemas de este tipo ya que se puede llegar a no tener disponibilidad de algunos elementos o su adquisición puede ser de alto costo.

11 BIBLIOGRAFÍA

1. **GOMES, Carlos.** *Global Auto Report: Recent Global sales Developments*. [En línea] 2014. [Citado el: 01 de Octubre de 2014] disponible en: (http://www.gbm.scotiabank.com/English/bns_econ/bns_auto.pdf)
2. **INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.** Tipología vehicular. Ambulancias de transporte terrestre. NTC 3729. 4° actualización. Bogotá D.C. ICONTEC, 2007.
3. **GARCÍA CASTRO, José María.** *Carrocería. Grado medio*. Madrid: delibros S.A. 1995. ISBN 84-89167-09-5.
4. **GONZÁLEZ, Miguel Ángel. MAS, Juan José. VIDAL, Francisco Javier.** *La carrocería y sus elementos (Sistemas de seguridad y confortabilidad)*. Editex, 2011. ISBN: 978-84-9701-215-7.
5. **JAQUE PUCA. Darwin, MORALES LLUMÁN. Ángel,** Propuesta de reorganización técnica-económica de los procesos de producción para las carrocerías: interprovincial y bus-tipo en la empresa varma s.a. de la ciudad de Ambato. Riobamba, 2010, 144p. Ingeniero industrial. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de mecánica.
6. **BERMÚDEZ MEJÍA, Carlos Alberto.** *curso básico de estructuras metálicas*. Colombia Manizales, 2005 ISBN: 958-9322-89-1
7. **TÉCNICA INDUSTRIAL.** [en línea] 2012. [citado el: 1 de octubre de 2014.] <http://www.tecnicaindustrial.es/tifrontal/a-4117-Control-calidad-peque%C3%B1a-empresa-fabricacion-metalica-sector-automovil.aspx>
8. **JAPANESE INDUSTRIAL STANDARD.** Method of moisture, rain and spray test for automobile parts. Japon. JIS D 0203, 1994.
9. **MENOVICK. George, MURNER. John,** *Method and apparatus for conducting body leak tests on automotive vehicles*. Estados Unidos: 2002. US 6354139B1.
10. **GENERALS MOTORS. Chevrolet.** [En línea] 2012. [Citado el: 15 de septiembre de 2014.] disponible en: http://media.gm.com/media/us/en/chevrolet/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Jun/0606_cruze.html
11. **MANGUI T. Marco.** Automatización del proceso de prueba de agua para vehículos mediante un plc en AYMESA s.a. Latacunga, 2012, 165p. Electrónica mención instrumentación y aviónica. Instituto tecnológico superior aeronáutico.
12. **EL CONGRESO DE COLOMBIA.** programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Colombia Diario Oficial No. 43.058 de 11 de junio de 1997.
13. **ARIAS JIMÉNEZ. Ferney.** La industria crece 1,9%, pero no jalona el empleo. En: *elcolombiano*. Medellín: (16 de septiembre de 2014), P.1c

14. **ULLMAN, David G.** *The Mechanical Desing Process*. 4° edicion. United States : McGraw-Hill, 2010. ISBN: 978-0-07-297574-1.
15. **DIETER, George E. SCHMIDT, Linda C.** *Engineering design*. 5° Edición. United States McGraw-Hill, 2012. ISBN: 978-0-07-283703-9.
16. **TAMAYO E, Francisco. GONZÁLEZ B, Verónica.** “¿Qué es el QFD? Descifrando el despliegue de la función de calidad. Asociacion latinoamericana de QFD”. [en línea] 2005. [citado el: 11 de octubre de 2014.] disponible en: <http://www.qfdlat.com/Imagenes/QFD.pdf>.
17. **ACESCO, Acerías de colombiana.** Manual técnico del Acero Galvanizado. Enero 2000. Vol. 1. P 1-25.
18. **IGM,** pintura electroestática. Febrero 2009. Vol. 1. P 1-7.
19. **SALDARRIAGA, Juan.** Hidraulica De Tuberias. 1° Edición. Bogotá D.C. Alfaomega, 2007 ISBN: 978-958-682-680-8.

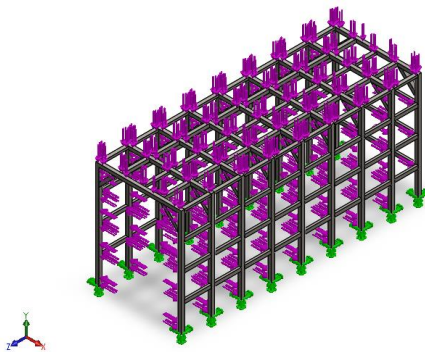
12 ANEXOS

ANEXO A

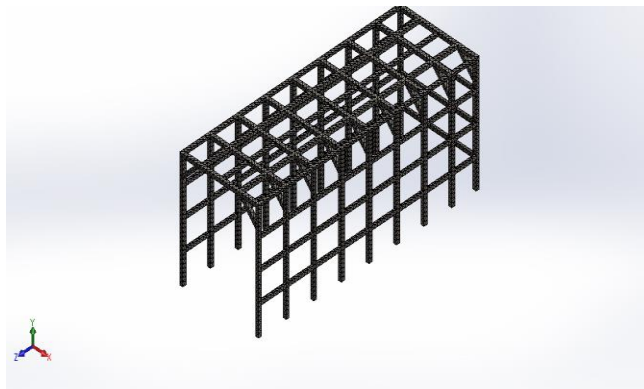
ANÁLISIS DE ESFUERZOS BAJO CARGAS ESTÁTICAS DISEÑADA POR CARROCERÍAS EL SOL

A continuación se observa las figuras y resultados del análisis de esfuerzos bajo cargas estáticas que genera solidworks por medio del *software cad solidworks simulation*.

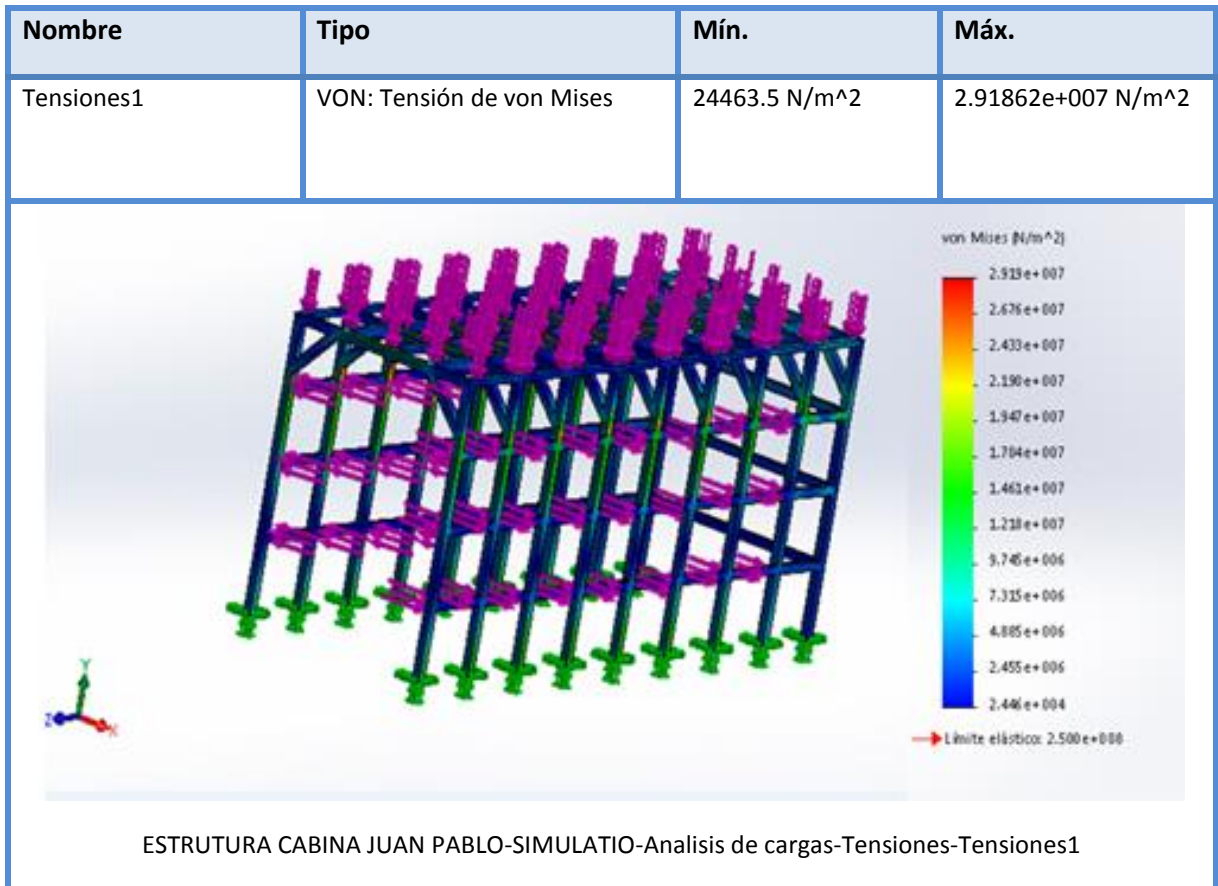
Según los resultados que se obtienen del análisis el cual se realizó indicando las fuerzas del peso de la carpa, la tubería, los accesorios y las fuerzas de empuje de los chorro, se puede asegurar que la estructura soportara estas cargas a las cuales estará sometido si presentar ningún tipo de deformación visible. En la siguiente figura se observan la distribución de las cargas a las cuales fue sometida la estructura diseñada en la empresa carrocerías el sol



Se realiza el en mallado de la estructura para realizar el analisis estatico.



Los resultados del analisis de tension realziado por medio del software, bajo el criterio de von mises.



El esfuerzo máximo de tensión de von mises fue de 2.91862×10^7 pa y el limites elástico del acero A500 es de 2.5×10^8 pa. Con estos valores se calcula el factor de seguridad de la siguiente forma:

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$N = \frac{250000000pa}{29186200pa}$$

$$N = 8.57$$

Este factor de seguridad es mayor que 1 lo cual indica que la estructura soportaras las cargas a la cuales estará sometido.

ANEXO B

MEMORIA DE CÁLCULOS

A continuación se muestra la memoria de cálculos del sistema hidráulico con cada uno de los tramos que se observan en la Figura 45.

	Caudales Q (m ³ /s)	Diámetro (m)	Reynolds	Factor de fricción f	Longitud (m)	Perdidas por fricción H _f (m)	Perdida por accesorio H _m (m)
Tramo A0-B0	0,0562	0,0762	933964,354	0,0121	4	4,8984	0,5297
Tramo B0-B1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,0618
Tramo B1-B2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo B2-B3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo B0-C0	0,0543	0,0762	902482,409	0,0121	1	1,1491	2,5981
Tramo C0-C1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo C1-C2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo C2-C3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo C0-D0	0,0524	0,0762	871000,465	0,0122	1	1,0759	2,4200
Tramo D0-D1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo D1-D2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo D2-D3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo D0-E0	0,0505	0,0762	839518,52	0,0123	2,9	2,9145	0,7756
Tramo E0-E1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	1,4951
Tramo E1-E2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo E2-E3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo E0-E4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo E4-E5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo E5-E6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo E6-E7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo E7-E8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo E0-F0	0,0454	0,0762	755566,668	0,0125	1	0,8270	1,8211
Tramo F0-F1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo F1-F2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo F2-F3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo F0-F4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo F4-F5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo F5-F6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo F6-F7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo F7-F8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo F0-G0	0,0404	0,0762	671614,816	0,0127	1	0,6653	1,4389

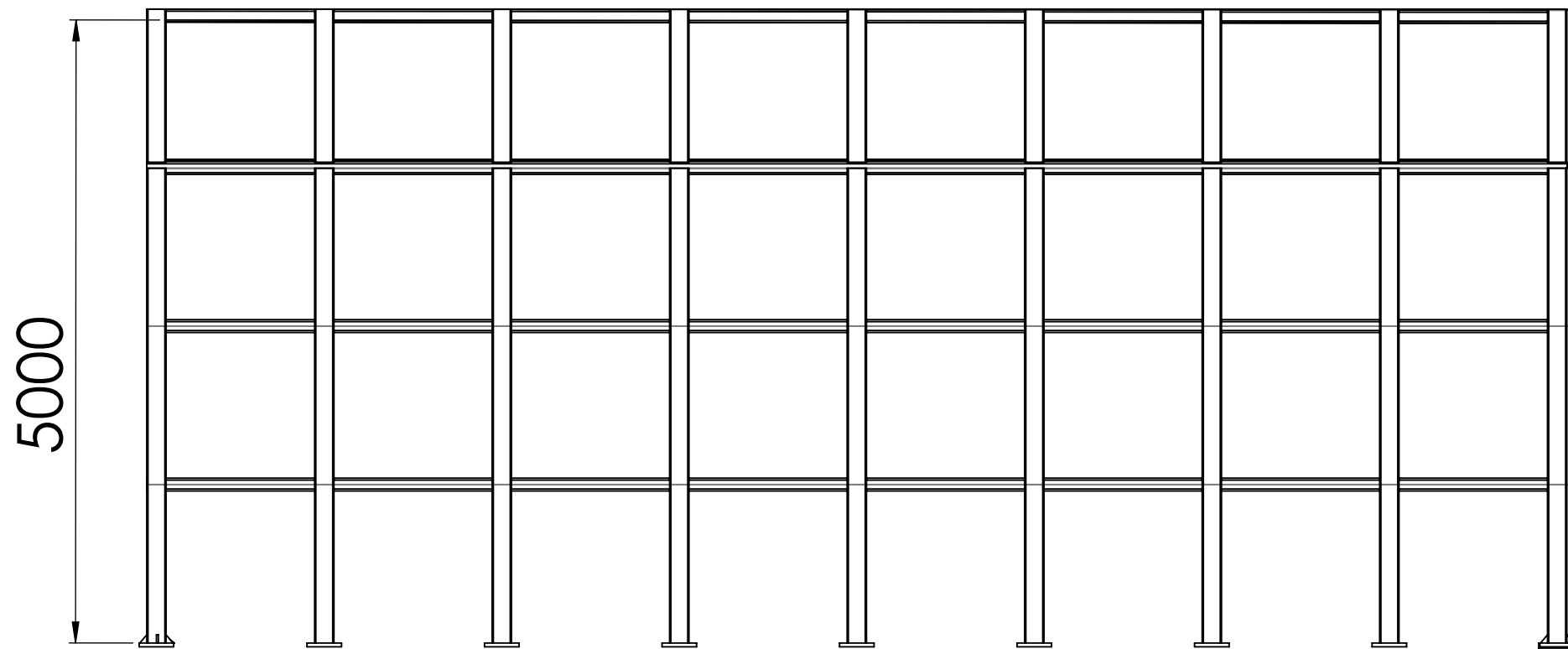
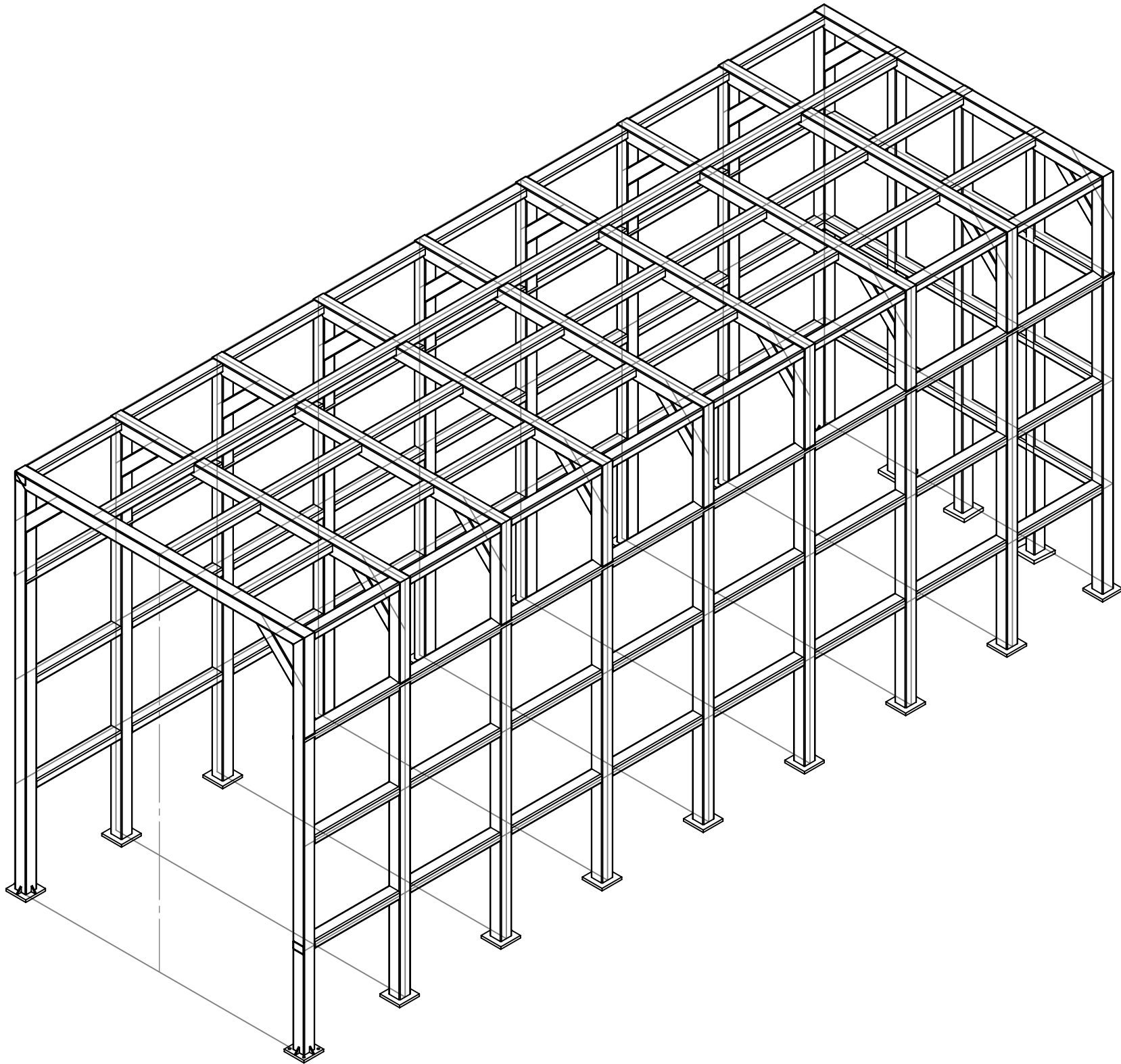
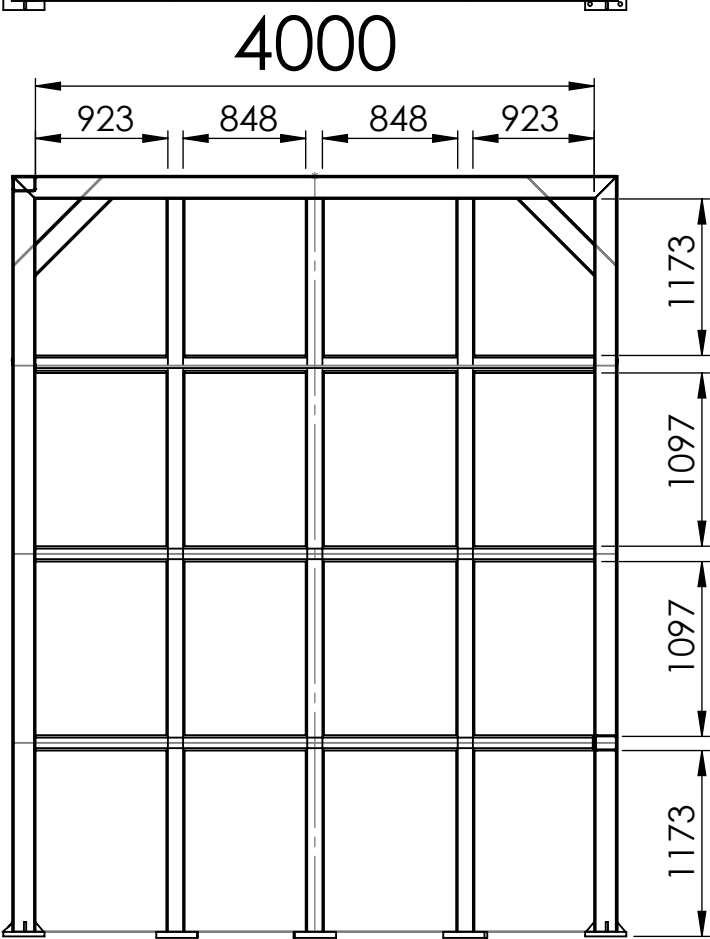
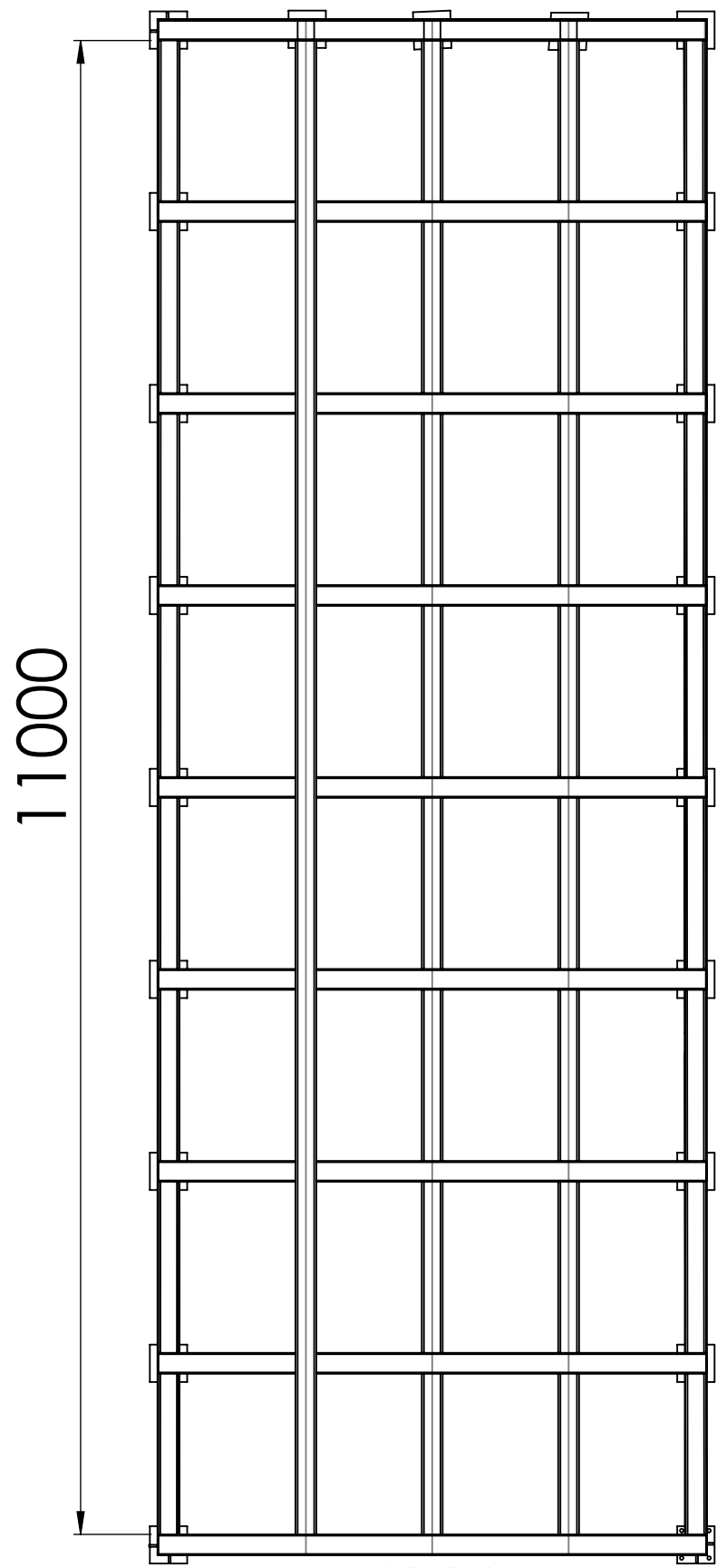
Tramo G0-G1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo G1-G2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo G2-G3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo G0-G4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo G4-G5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo G5-G6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo G6-G7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo G7-G8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo G0-H0	0,0353	0,0762	587662,964	0,0130	1	0,5202	1,1016
Tramo H0-H1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo H1-H2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo H2-H3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo H0-H4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo H4-H5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo H5-H6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo H6-H7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo H7-H8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo H0-I0	0,0303	0,0762	503711,112	0,0133	1	0,3918	0,8094
Tramo I0-I1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo I1-I2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo I2-I3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo I0-I4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo I4-I5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo I5-I6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo I6-I7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo I7-I8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo I0-J0	0,0252	0,0762	419759,26	0,0137	1	0,2804	0,5621
Tramo J0-J1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo J1-J2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo J2-J3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo J0-J4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo J4-J5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo J5-J6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1180
Tramo J6-J7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo J7-J8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo J0-K0	0,0202	0,0762	335807,408	0,0142	1	0,1865	0,3597
Tramo K0-K1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo K1-K2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo K2-K3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo K0-K4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864

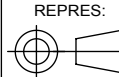
Tramo K4-K5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo K5-K6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo K6-K7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo K7-K8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo K0-L0	0,0151	0,0762	251855,556	0,0150	1	0,1104	0,2023
Tramo L0-L1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo L1-L2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo L2-L3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo L0-L4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo L4-L5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo L5-L6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo L6-L7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo L7-L8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo L0-M0	0,0101	0,0762	167903,704	0,0161	1	0,0529	0,0899
Tramo M0-M1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo M1-M2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo M2-M3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo M0-M4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo M4-M5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo M5-M6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo M6-M7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo M7-M8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo M0-N0	0,0050	0,0762	83951,852	0,0186	1	0,0152	0,0225
Tramo N0-N1	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	1	0,0730	0,1391
Tramo N1-N2	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo N2-N3	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075
Tramo N0-N4	0,0032	0,0381	104939,815	0,0178	1,5	0,2737	0,3864
Tramo N4-N5	0,0025	0,0381	83951,852	0,0186	1	0,1222	0,1199
Tramo N5-N6	0,0019	0,0381	62963,889	0,0198	3,5	0,2555	0,1300
Tramo N6-N7	0,0013	0,0381	41975,926	0,0216	1	0,0355	0,0300
Tramo N7-N8	0,0006	0,0381	20987,963	0,0255	1	0,0104	0,0075

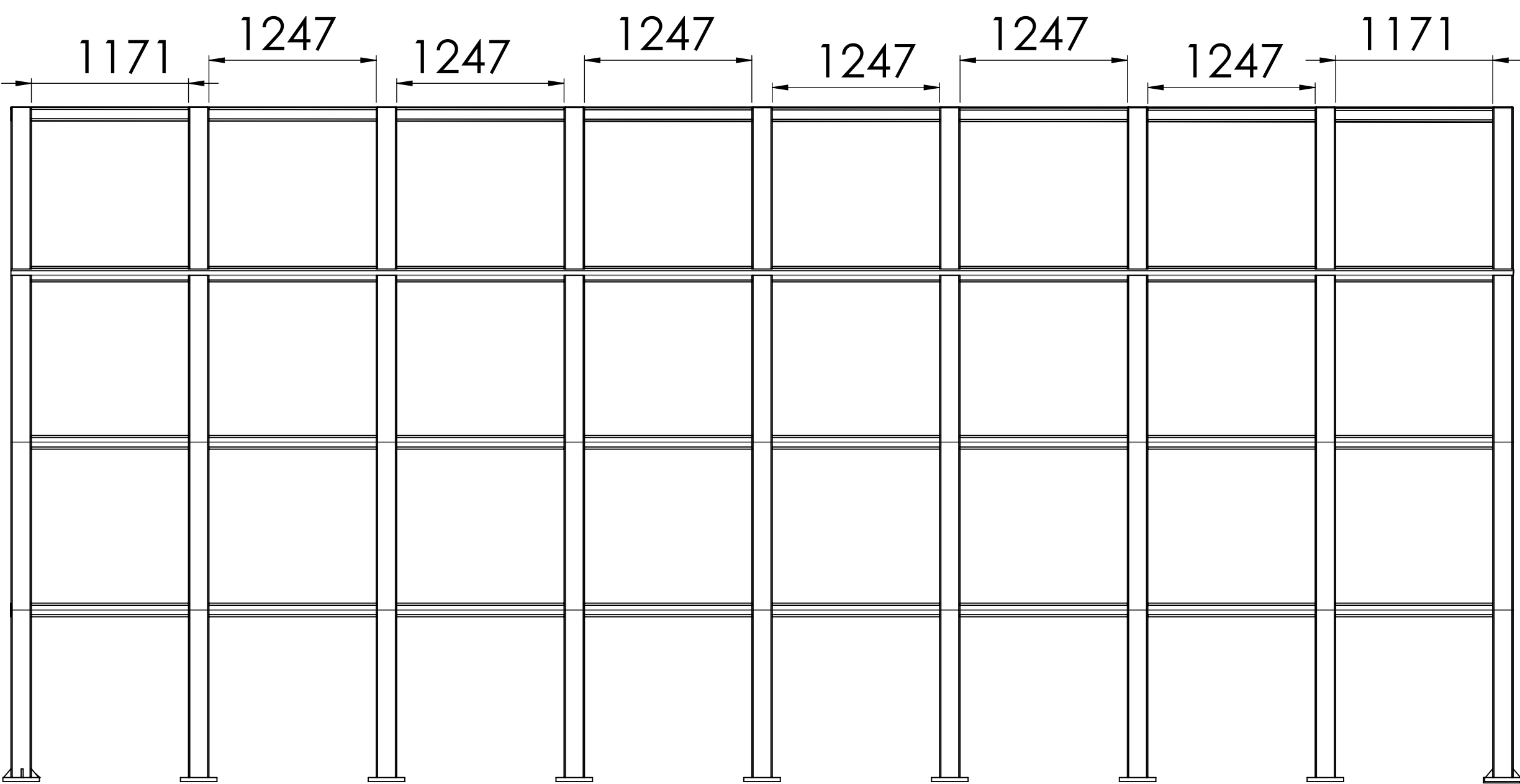
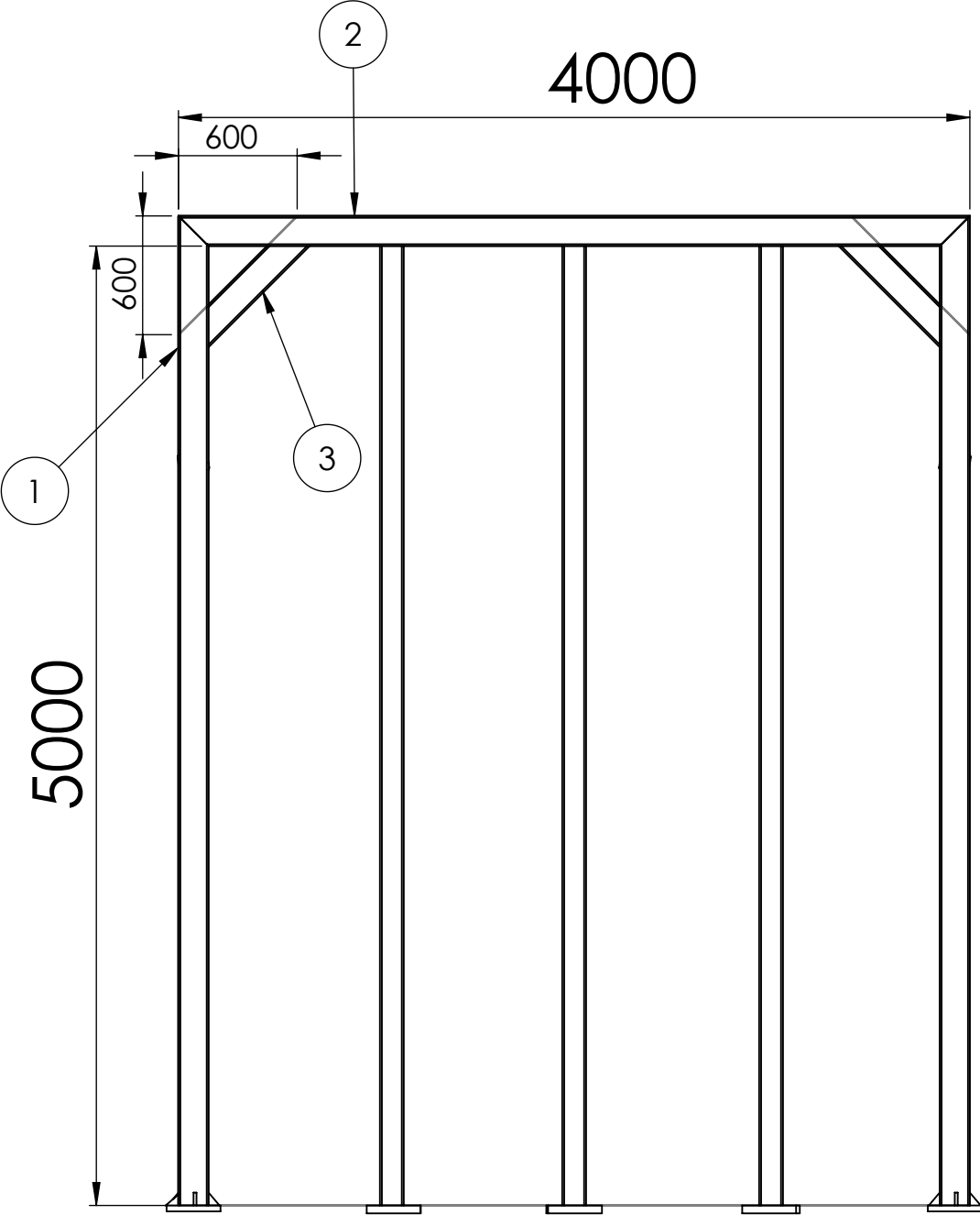
ANEXOS C

PLANOS DE LA ESTRUCTURA DISEÑADA POR CARROCERÍAS EL SOL S.A.S.

A continuación se muestra los planos de la estructura de la cabina de simulación de lluvia realizados por la empresa carrocerías el sol.



EMPRESA: CARROCERIAS EL SOL S.A.S 				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano		DISPOSITIVO: PLANOS ESTRUCTURA PARA CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO:	
COD PROYECTO:				Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0,1 angular: +/- 1 °			
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A500		TITULO: ENSAMBLE	
DIBUJO:	ANDERSON C.		01/07/2015	PESO: N/A			
VERIF:	JOSE F. LUGO		05/07/2015				
APROB:				A2	ESCALA:	REPRES:	No DE DIBUJO 1
FABRICO:					1:1		
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			



	Nombre	Longitud	Material	Cantidad
1	TUBO CUADRADO 6"	5 Metros	Acero estructural A500	9
2	TUBO CUADRADO 6"	4 Metros	Acero estructural A500	18
3	TUTUBO CUADRADO 6"	848mm	Acero estructural A500	18

EMPRESA:

CARROCERIAS EL SOL S.A.S

COD PROYECTO:

NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJO: ANDERSON C.		01/07/2015
VERIF: JOSE F. LUGO		05/07/2015
APROB:		
FABRICO:		

Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano

Si no se indica lo contrario:
- Las cotas se expresan en mm
- Acabado superficial: ACABADO_SUP
- Tolerancias:
 lineal: +/- 0.1
 angular: +/- 1 °

MATERIAL:

ACERO ESTRUCTURAL
A500

PESO: N/A

ESCALA: 1:1

REPRES:

DISPOSITIVO:

PLANOS ESTRUCTURA PARA CABINA
DE SIMULACION DE LLUVIA

CURSO:

TITULO:

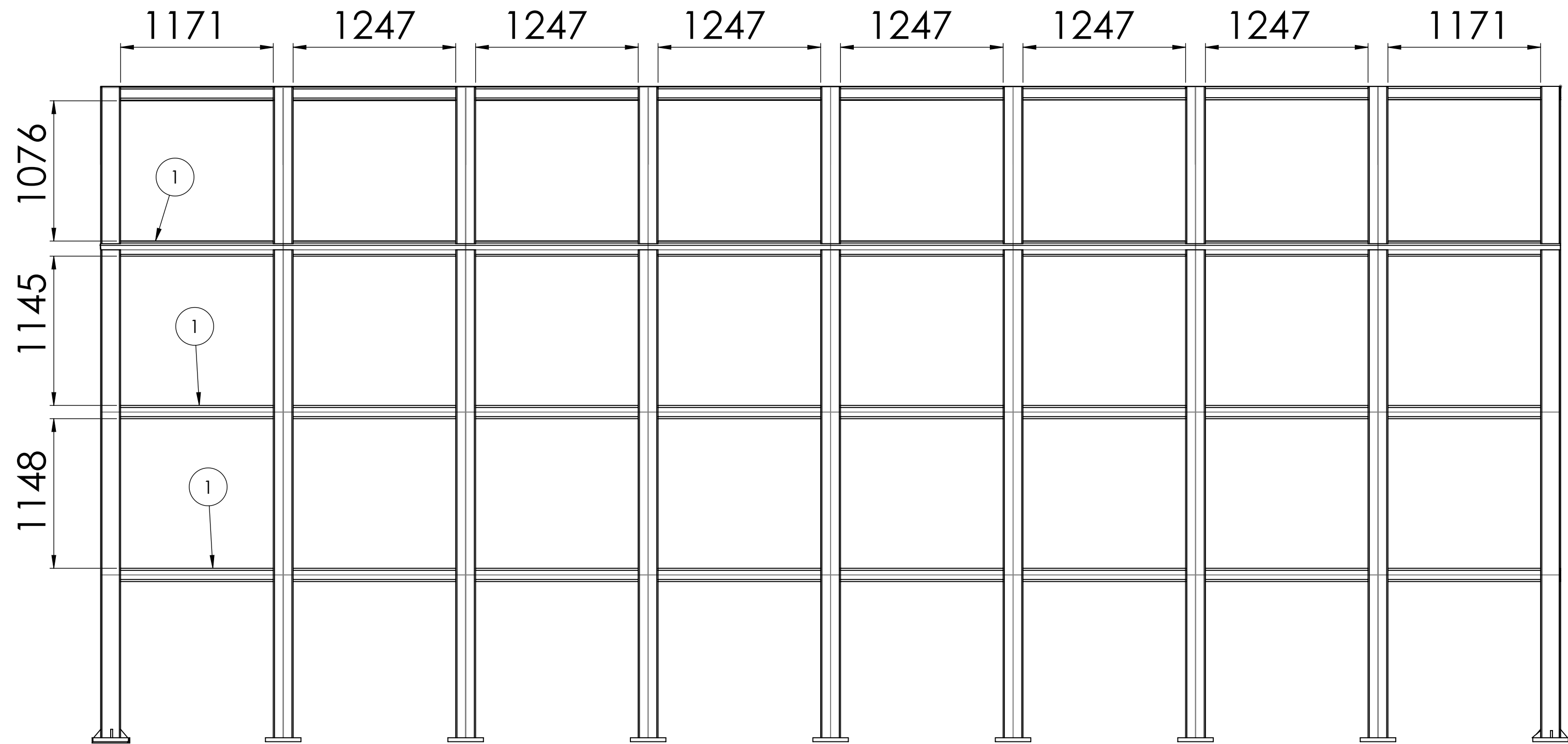
ENSAMBLE

No DE DIBUJO

2

La información contenida en este documento es propiedad de la
Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o
totalmente sin su autorización.

Hoja 1 de 1



	Nombre	Longitud	Material	Cantidad
1	Tubo rectangular 4 x 6"	1171.40 mm	Acero estructural A500	6
1	Tubo rectangular 4 x 6"	1247.60 mm	Acero estructural A500	18

EMPRESA:

CARROCERIAS EL SOL S.A.S



COD PROYECTO:

Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano

Si no se indica lo contrario:
- Las cotas se expresan en mm
- Acabado superficial: ACABADO_SUP
- Tolerancias:
 lineal: +/- 0.1
 angular: +/- 1°

DISPOSITIVO:

PLANOS ESTRUCTURA PARA CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA

CURSO:

TITULO:

ENSAMBLE

No DE DIBUJO

3

DIBUJO:

ANDERSON C.

FIRMA:

FECHA:

01/07/2015

VERIF:

JOSE F. LUGO

05/07/2015

APROB:

FABRICO:

MATERIAL:

ACERO ESTRUCTURAL A500

PESO:

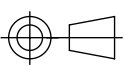
N/A

ESCALA:

A2

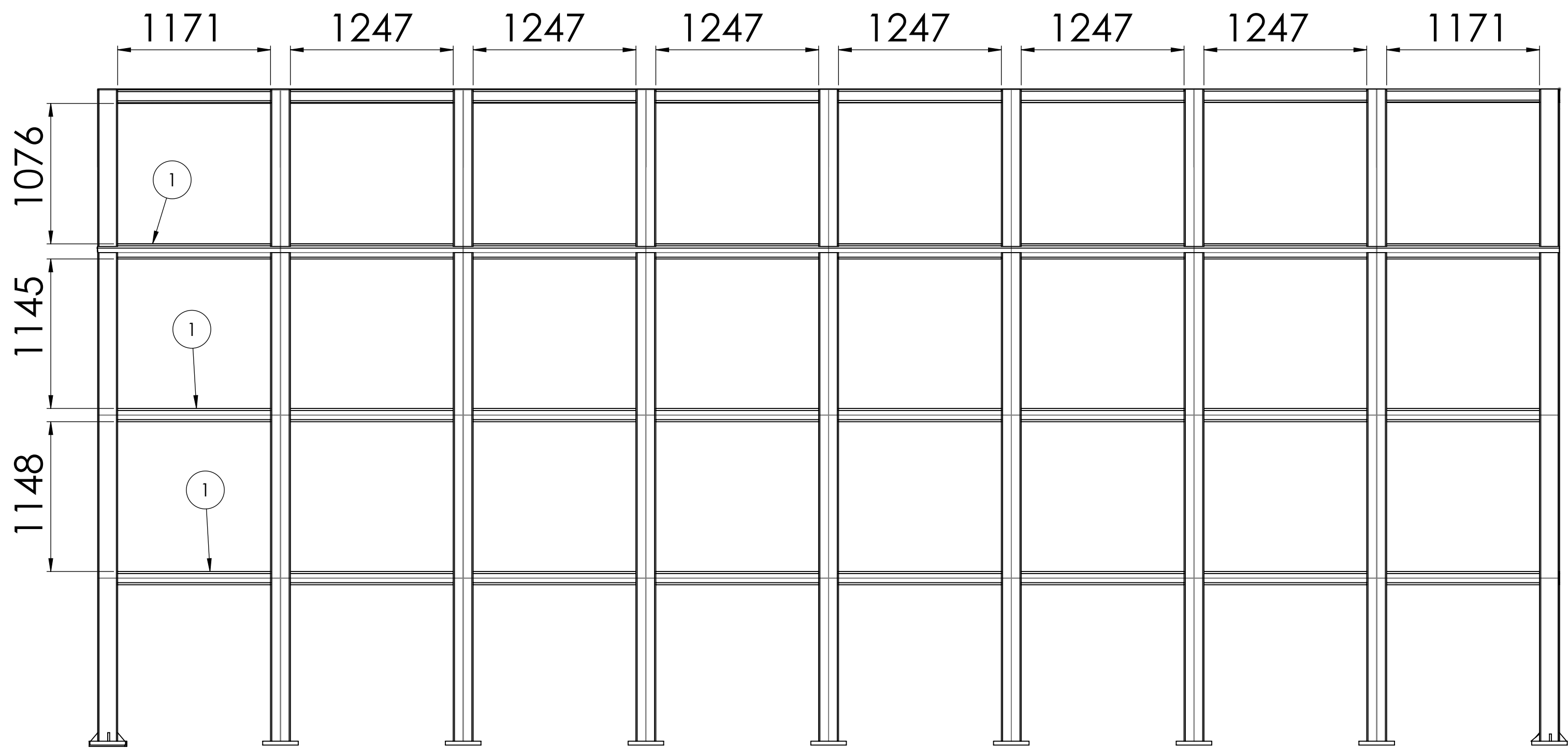
1:1

REPRES:



La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización

Hoja 1 de 1



	Nombre	Longitud	Material	Cantidad
1	Tubo rectangular 4 x 6"	1171.40 mm	Acero estructural A500	6
1	Tubo rectangular 4 x 6"	1247.60 mm	Acero estructural A500	18

EMPRESA:

CARROCERIAS EL SOL S.A.S



COD PROYECTO:

Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano

Si no se indica lo contrario:

- Las cotas se expresan en mm
- Acabado superficial: ACABADO_SUP
- Tolerancias:
 - lineal: +/- 0.1
 - angular: +/- 1 °

DISPOSITIVO:

PLANOS ESTRUCTURA PARA CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA

CURSO:

NOMBRE

FIRMA

FECHA

DIBUJO:

ANDERSON C.

01/07/2015

VERIF:

JOSE F. LUGO

05/07/2015

APROB:

FABRICO:

MATERIAL:

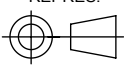
ACERO ESTRUCTURAL A500

PESO: N/A

ESCALA:

1:1

REPRES:



TITULO:

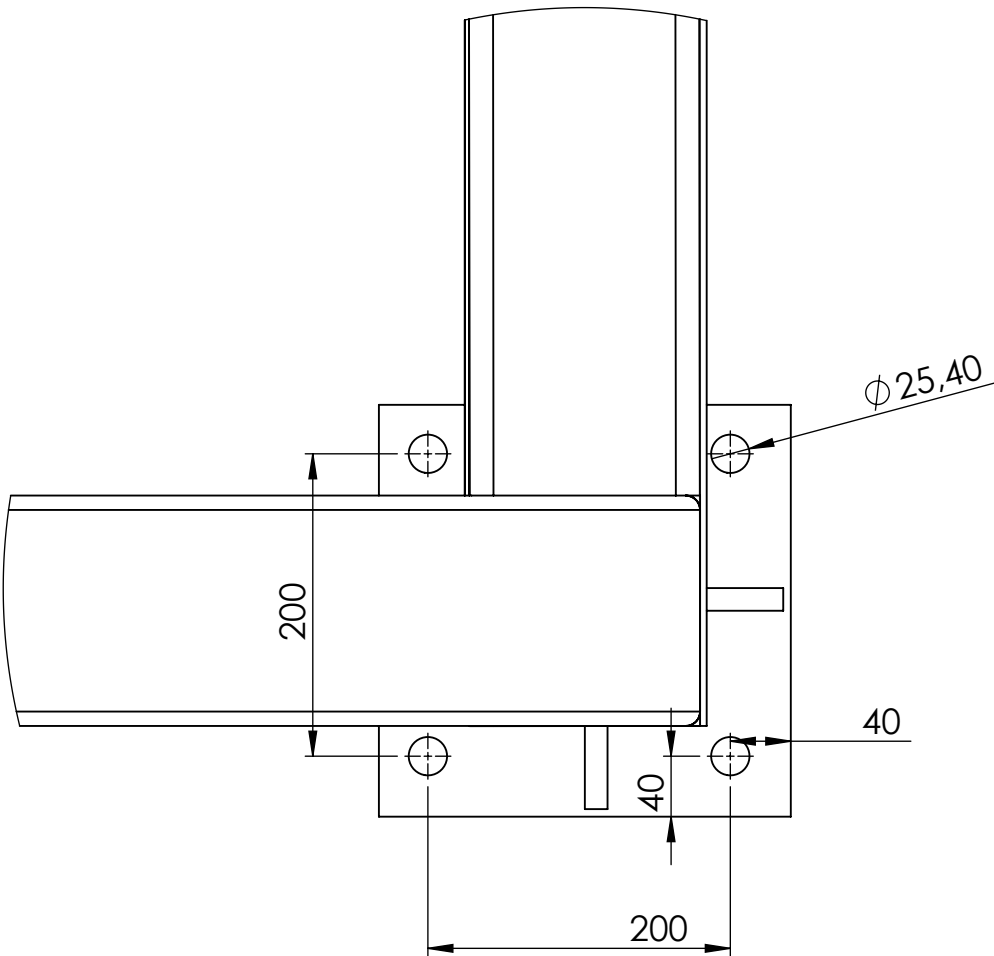
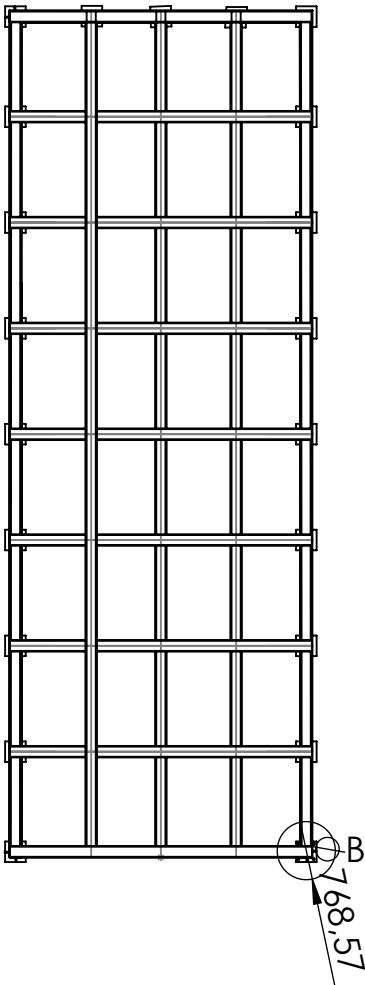
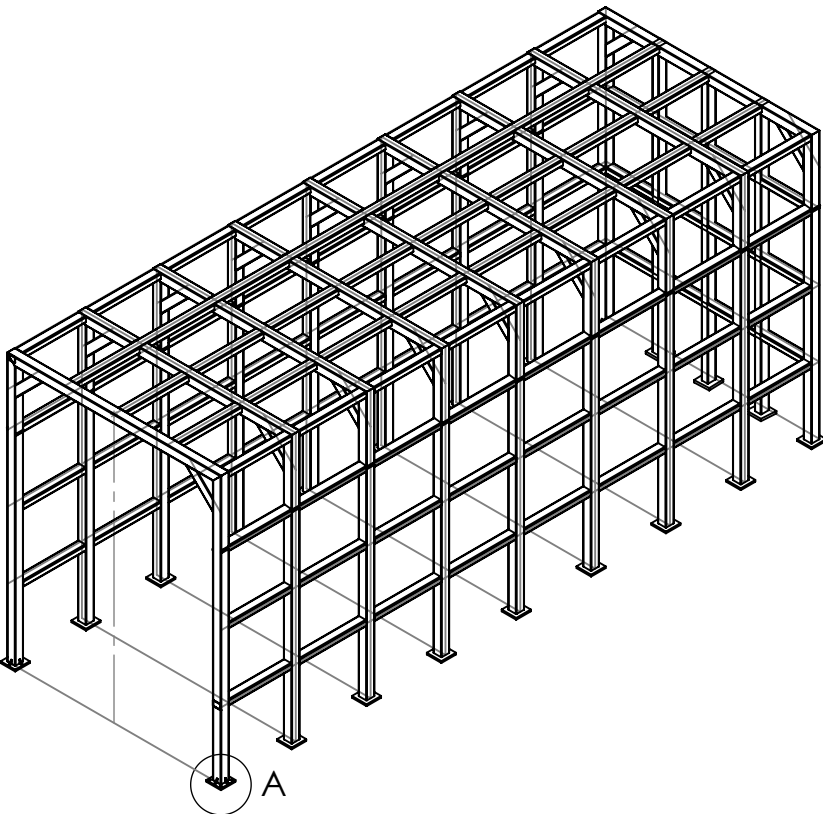
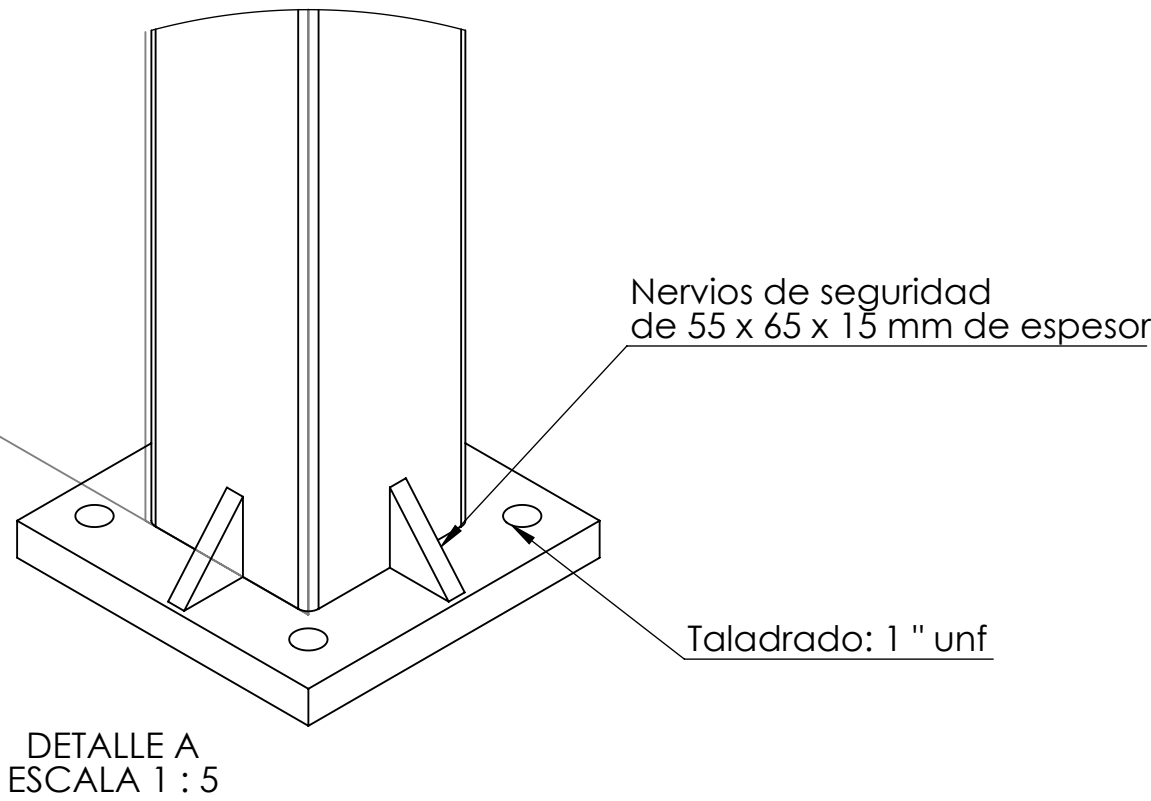
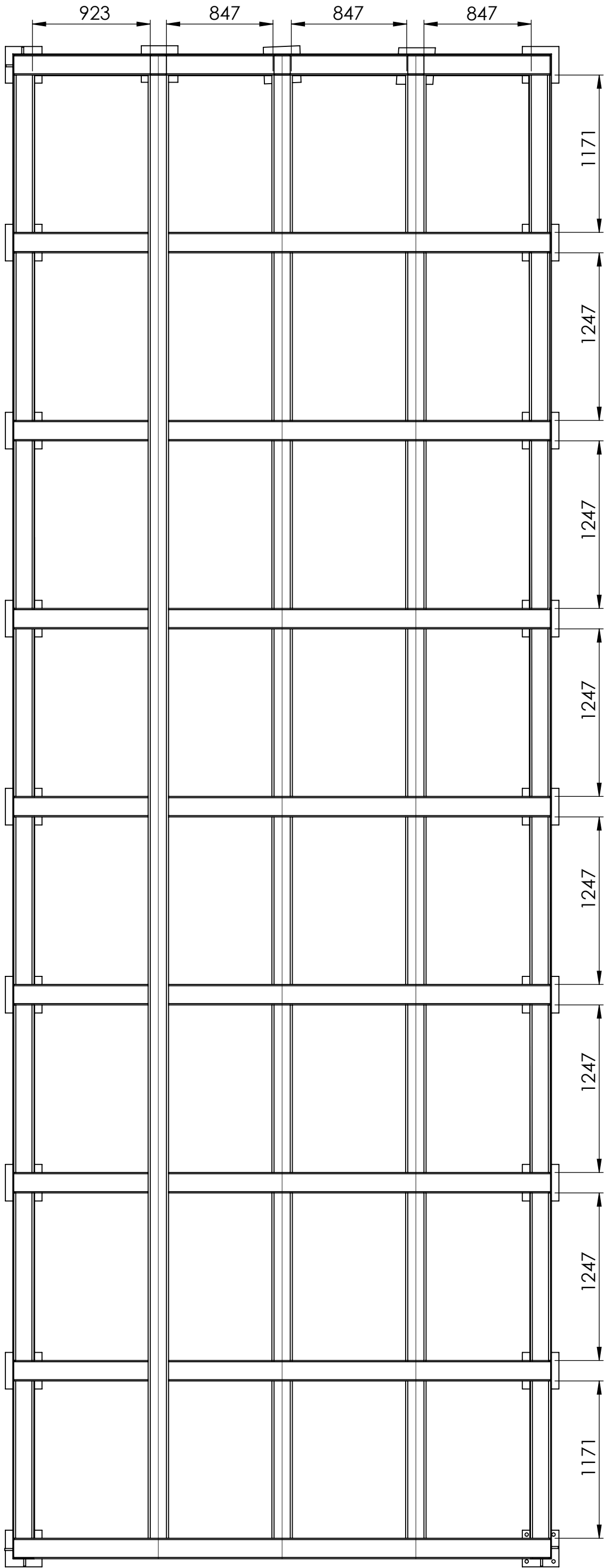
ENSAMBLE

No DE DIBUJO

4

La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización

Hoja 1 de 1



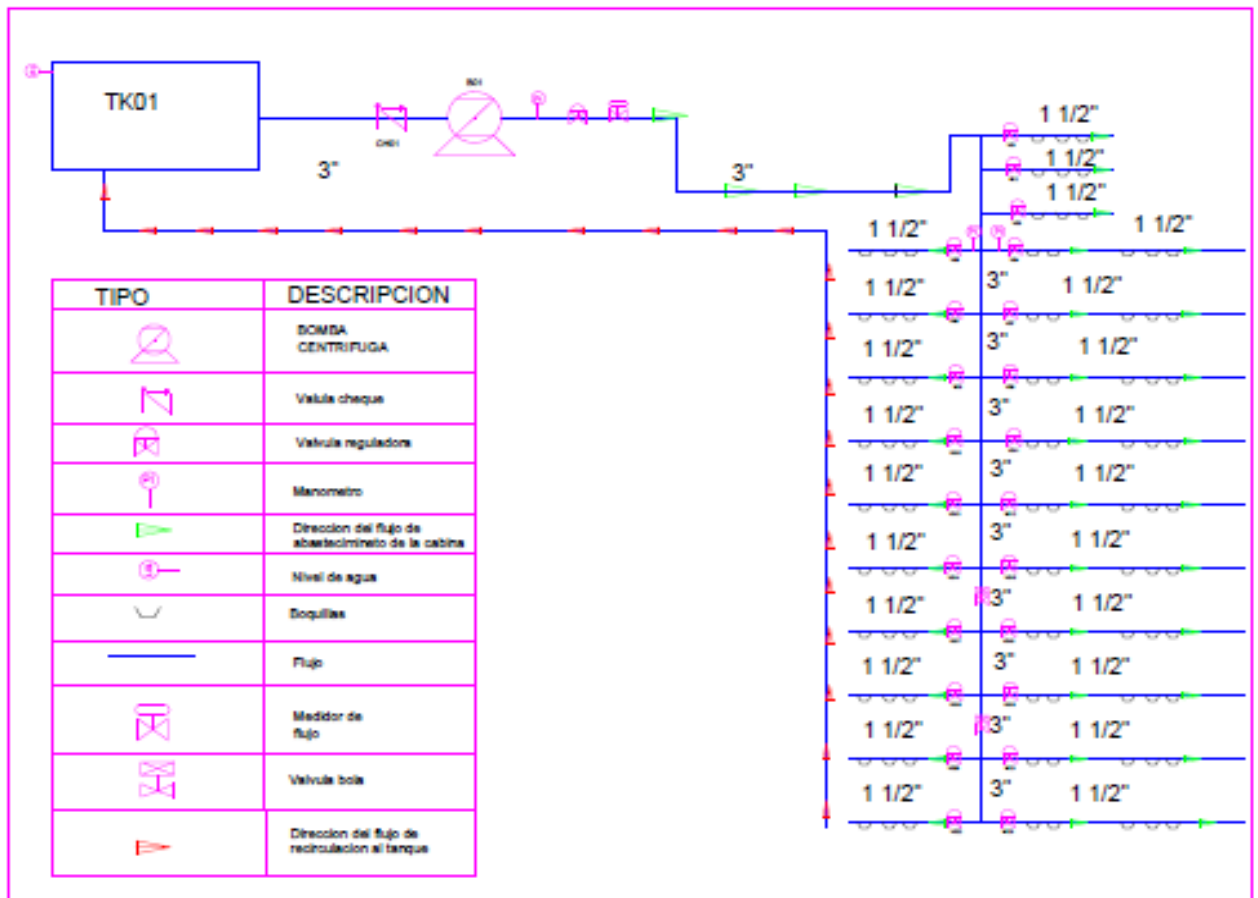
DETALLE B
ESCALA 1 : 5

EMPRESA: CARROCERIAS EL SOL S.A.S 				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano		DISPOSITIVO: PLANOS ESTRUCTURA PARA CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA	
Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP Tolerancias: lineal: +/- 0,1 angular: +/- 1 °				CURSO:		TITULO: ENSAMBLE	
COD PROYECTO:				MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL A500		No DE DIBUJO 5	
DIBUJO:	ANDERSON C.	FIRMA:	01/07/2015	PESO: N/A		ESCALA: 1:1	
VERIF:	JOSE F. LUGO	FIRMA:	05/07/2015	REPRES:		No DE DIBUJO	
APROB:		FIRMA:		A2		Hoja 1 de 1	
FABRICO:		FIRMA:					
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización.							

ANEXO D

PI&D DEL SISTEMA HIDRÁULICO

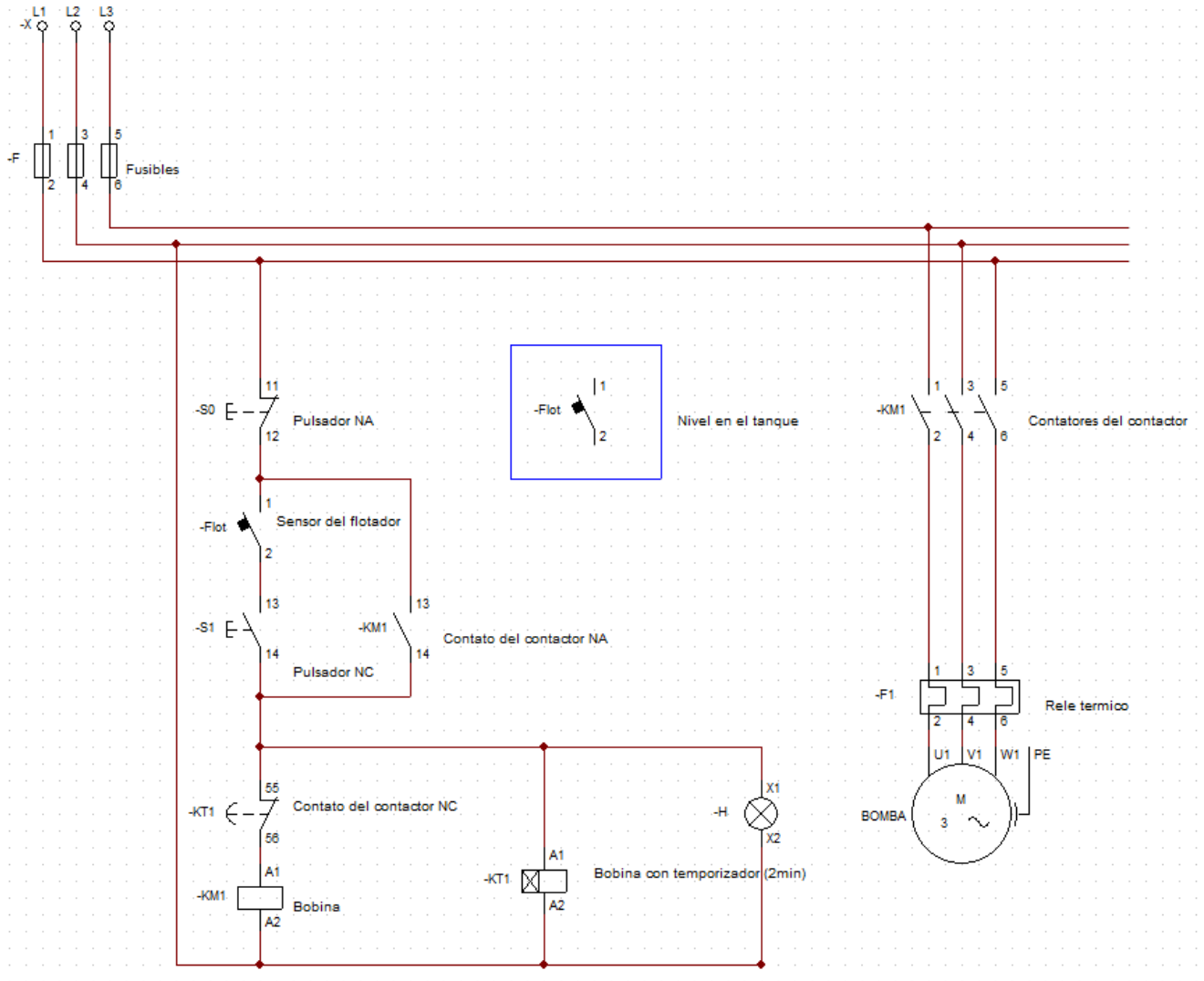
A continuación se observa el plano hidráulico de la cabina de simulación de lluvia con todos sus componentes y las direcciones del flujo.



ANEXO E

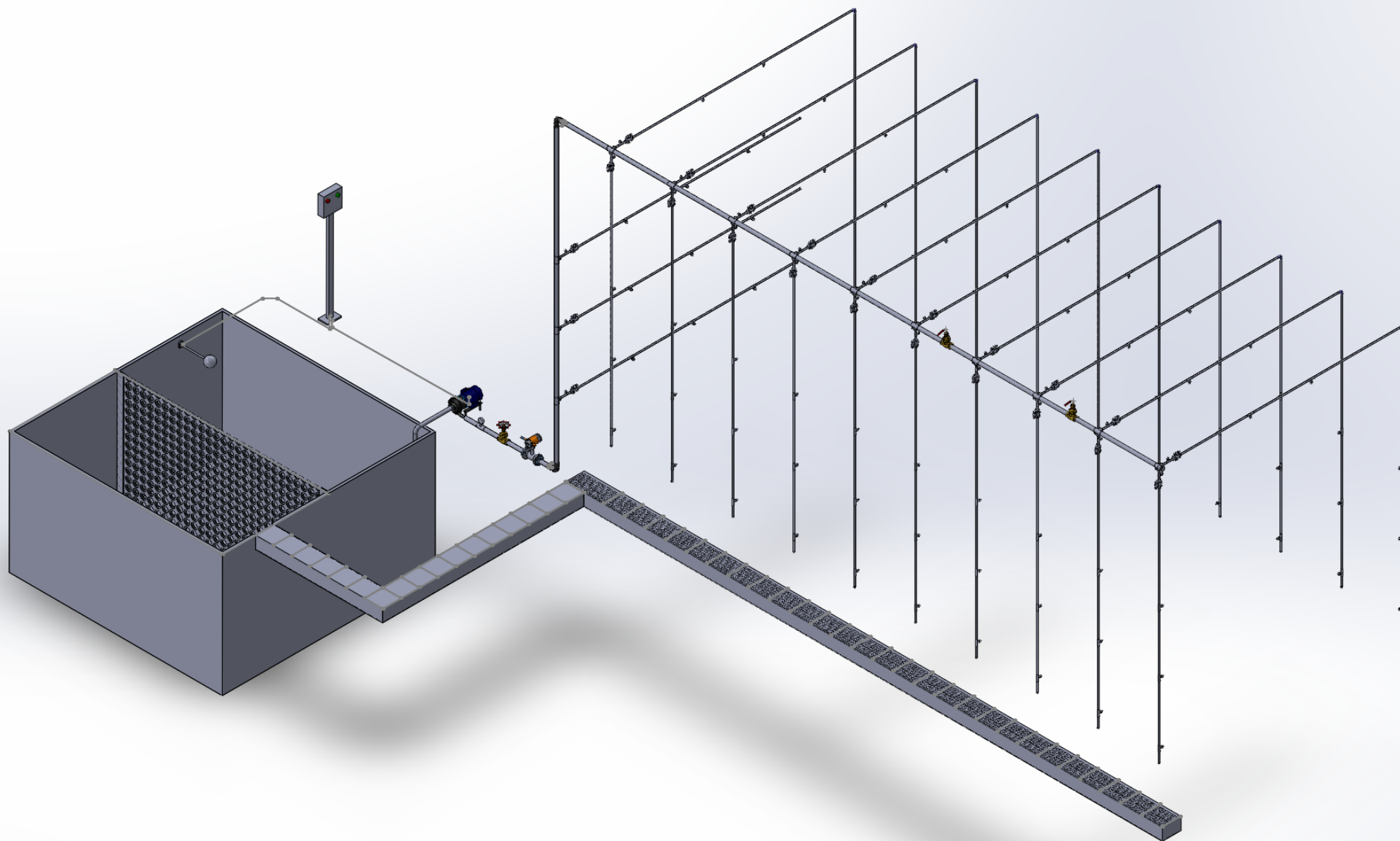
PLANO ELÉCTRICO

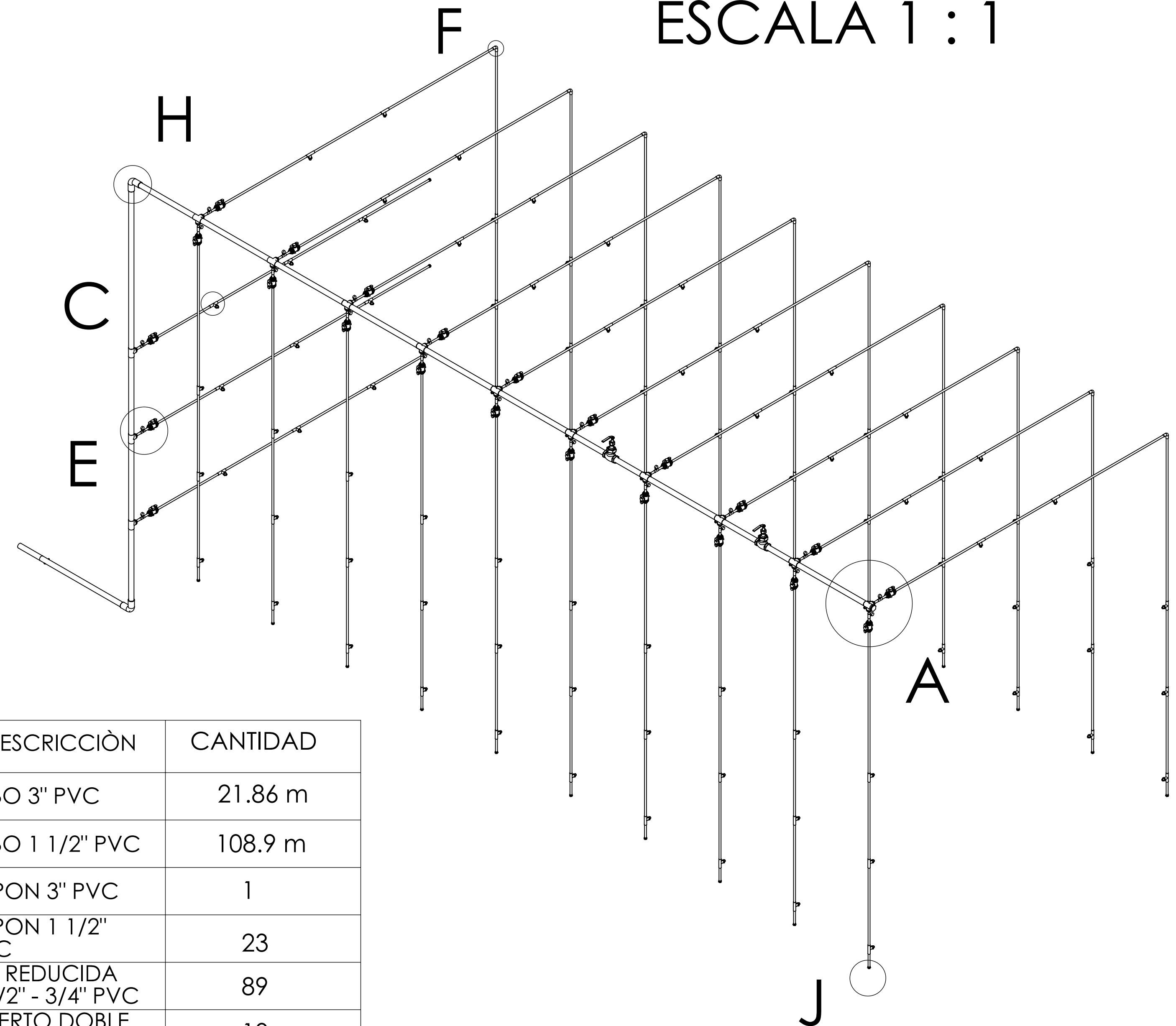
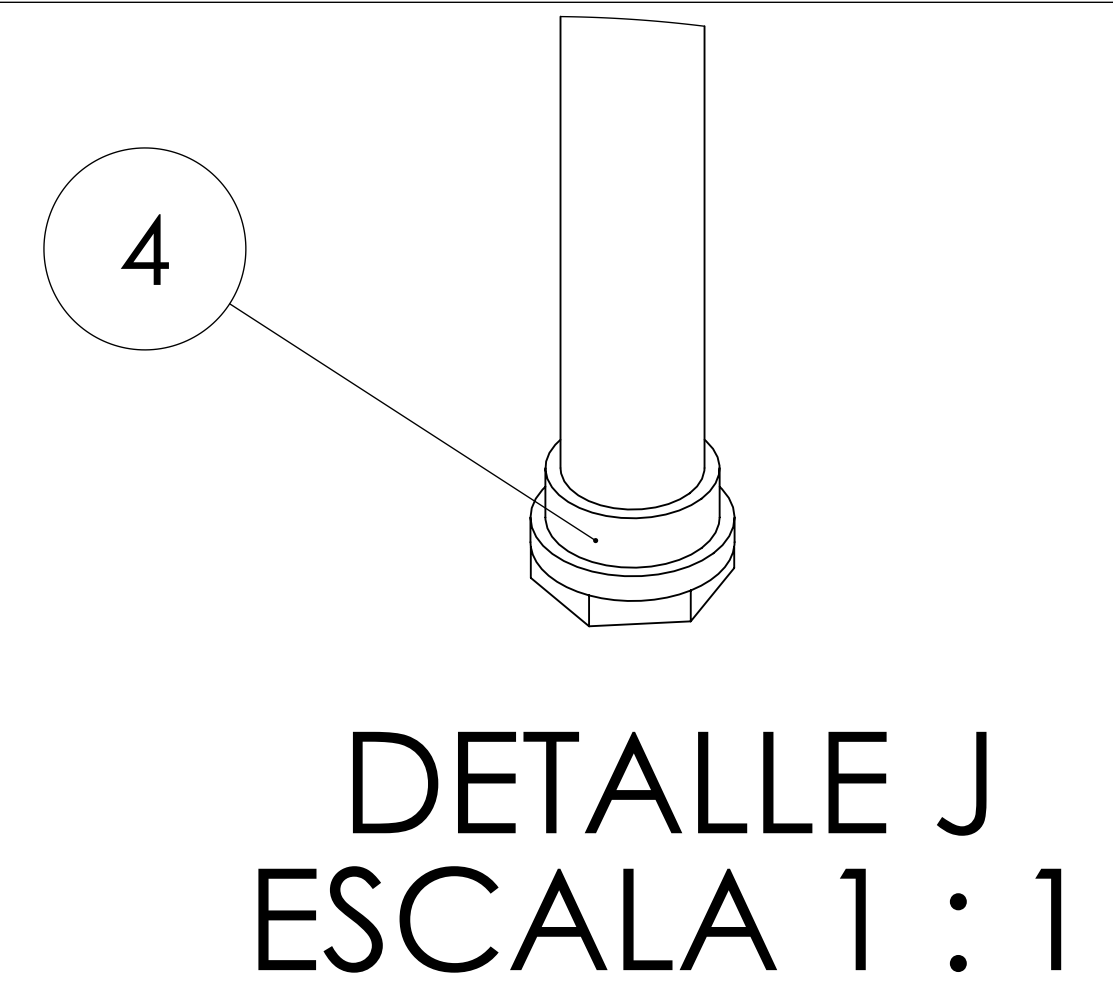
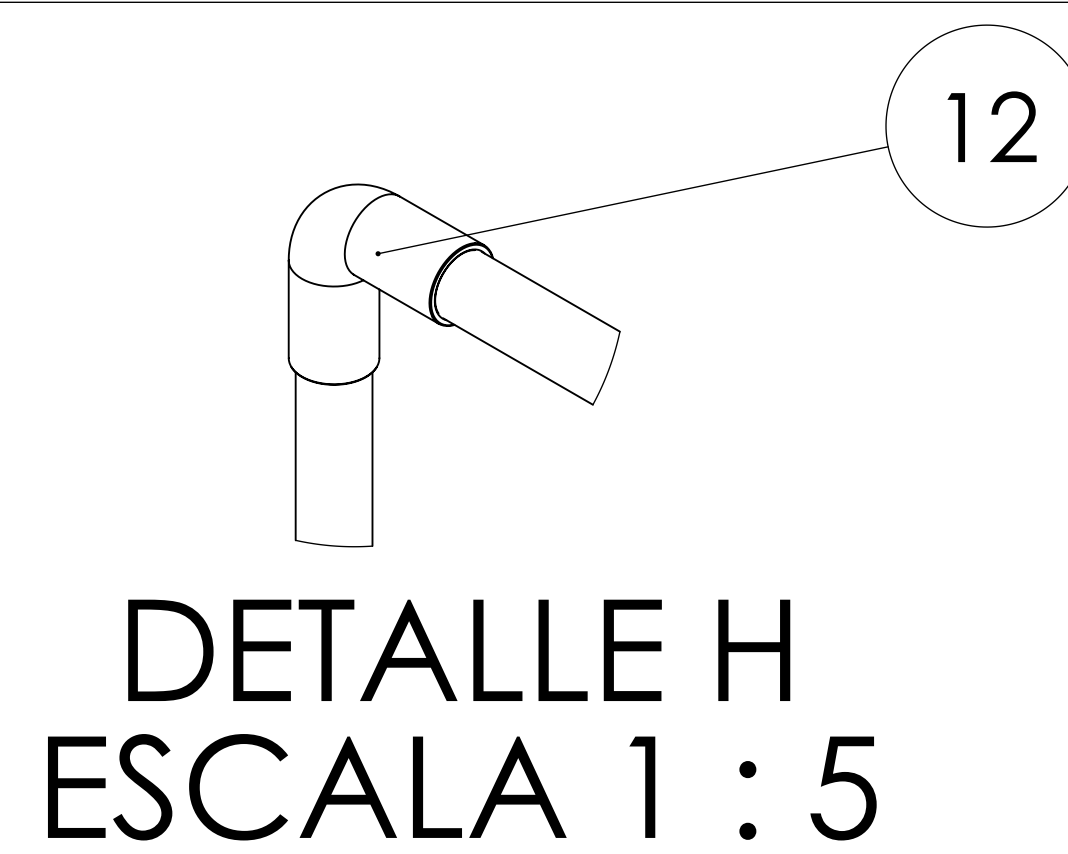
A continuación se muestra el eléctrico del accionamiento de la bomba. En este plano se observa lo componente como los pulsadores, sensores de nivel, fusibles, relé térmico, contactores, bomba, entre otros los cuales se encuentran con su nomenclatura estándar.



ANEXO F

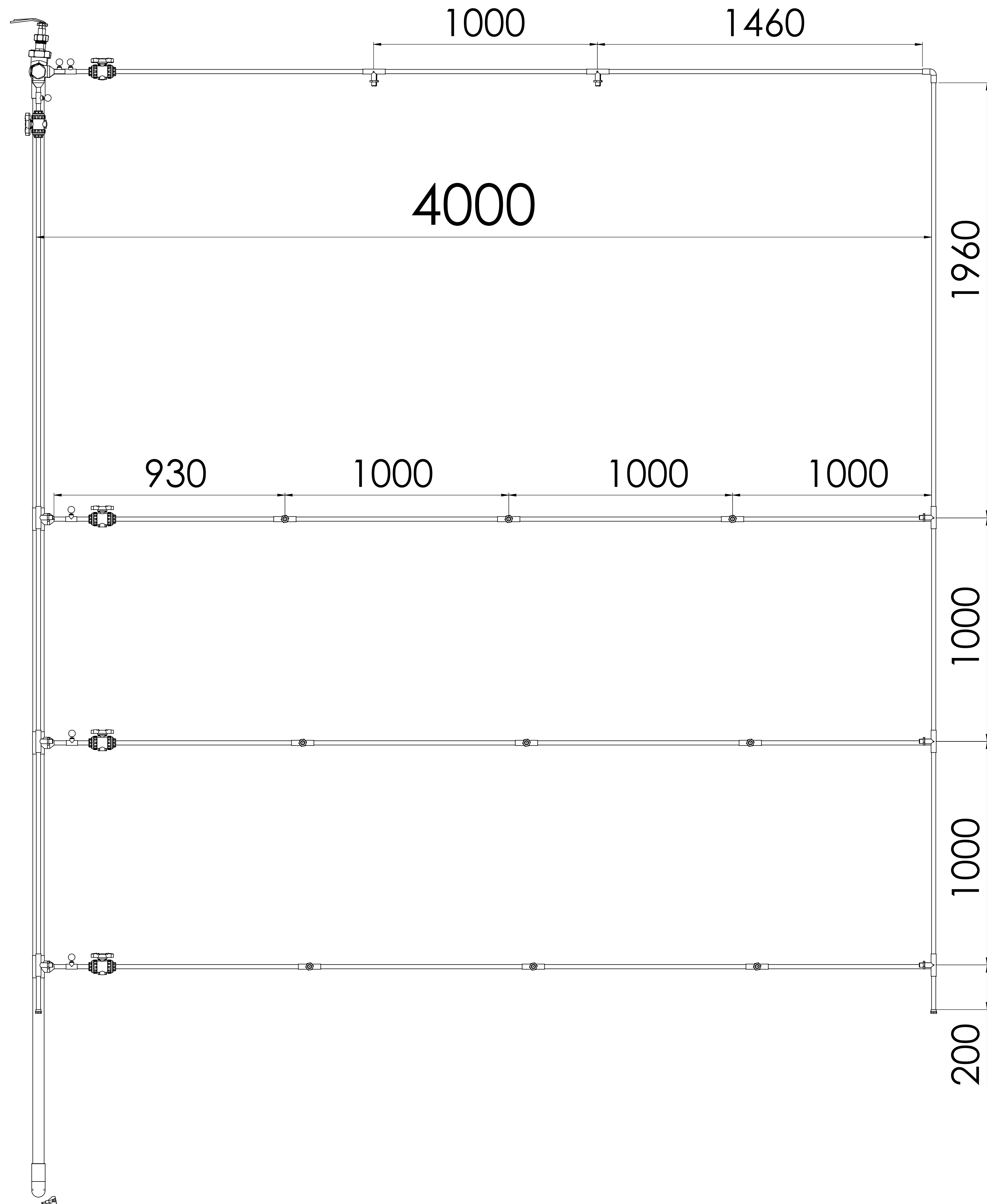
PLANOS DEL DISEÑO DEL SISTEMA HIDRAULICO

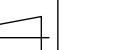


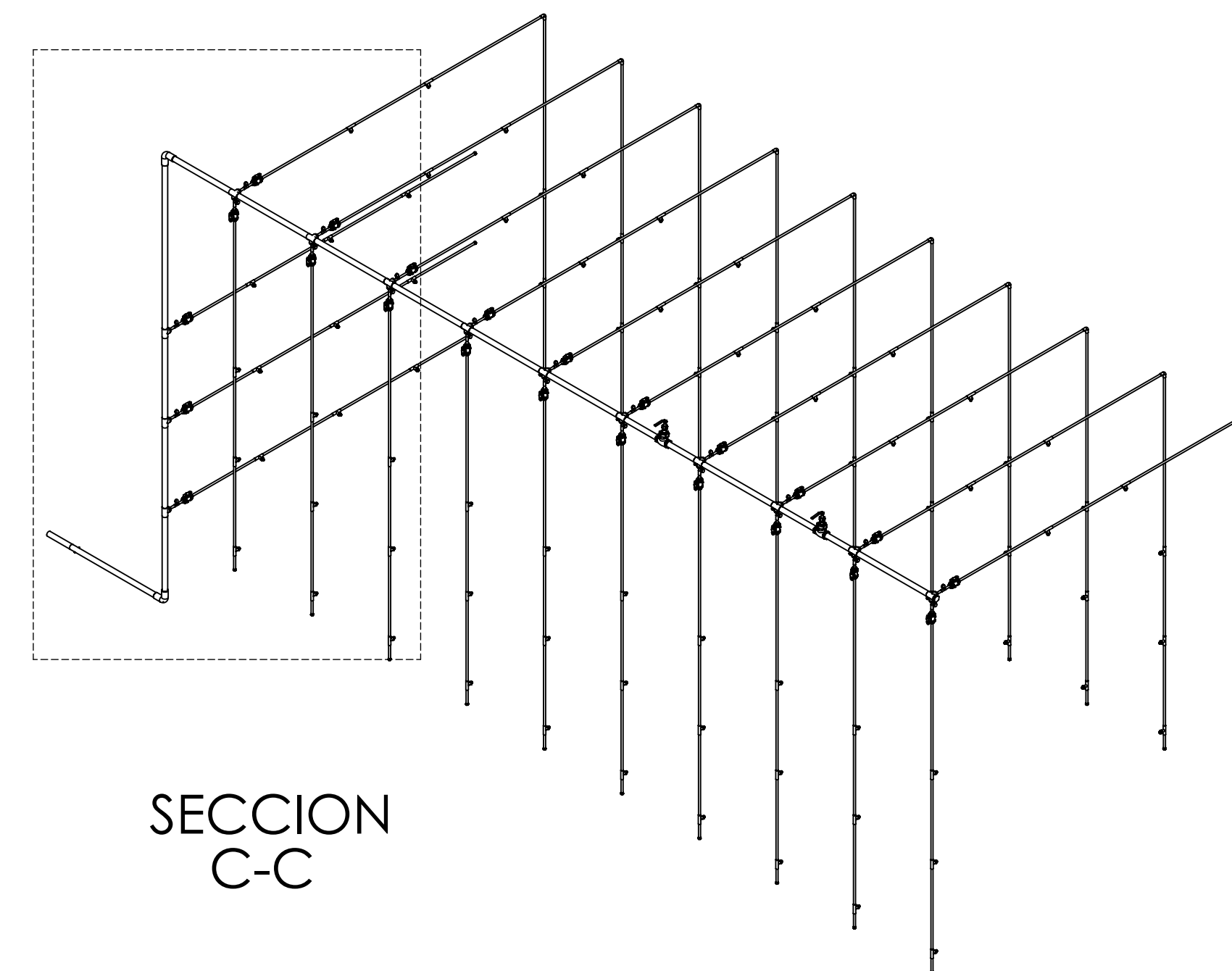
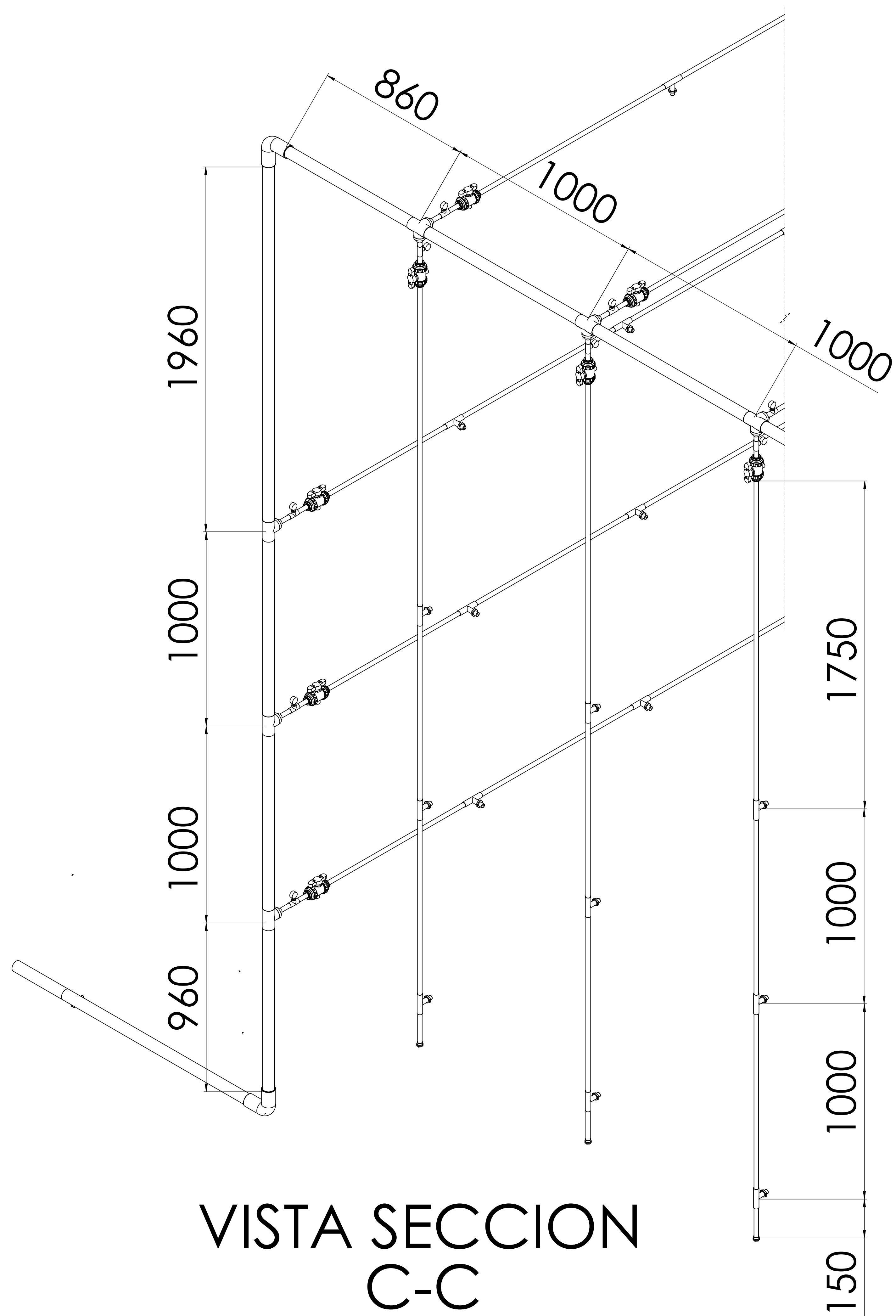


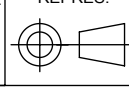
Nº	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	TUBO 3" PVC	21.86 m
2	TUBO 1 1/2" PVC	108.9 m
3	TAPON 3" PVC	1
4	TAPON 1 1/2" PVC	23
5	TEE REDUCIDA 1 1/2" - 3/4" PVC	89
6	INJERTO DOBLE EN PVC 3"	10
7	TEE DE 3" PVC	3
8	REDUCCION 3"- 1 1/2 PVC	23
9	MANOMETRO	2
10	VALVULA REGULADORA 1 1/2"	23
11	BOQUILLA	89
12	CODO 90° 1 1/2"	10
13	CODO 90° 3"	2

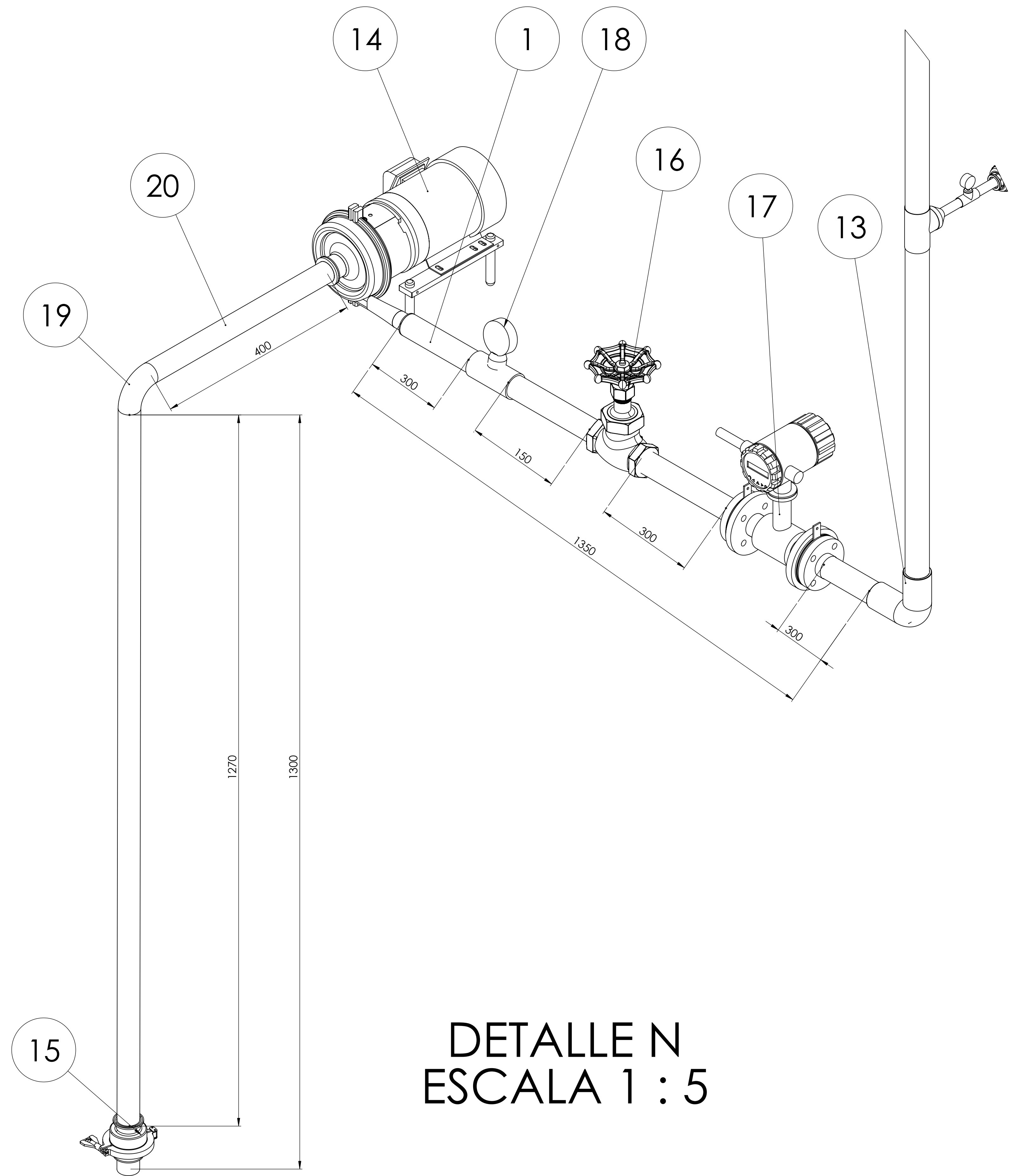
EMPRESA:			Universidad Santo Tomás  FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		Redibujar y eliminar aristas vivas no toleradas medicas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresarán en mm - Las superficies se especifican ACABADO_SUP Tolerancias: lineal: ± 0.1 angular: $\pm 1^\circ$		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CÁMERA DE SIMULACIÓN DE LLUVIA CURSO:	
COD PROYECTO TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)					TRABAJO DE GRADO			
NOMBRE		FIRMA	FECHA		MATERIA		TITULO:	
DIBUJO: JUAN P. BARRIOS			01/08/2015		SEGUN TABLA DE CONTENIDO		ENSEMBLE	
VERIF: HENRY CORRIE			01/08/2015		PESO: N/A			
APROB:					A1 ESCALA 1:1		REPRESENTACION: 	
FABRICO:							No de DIBUJO 1	



EMPRESA: Universidad Santo Tomás  INGENIERIA MECANICA				Rebatar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0,1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				MATERIAL: SEGUN TABLA DE CONTENIDO		TITULO: ENSAMBLE	
NOMBRE		FIRMA		FECHA			
DIBUJO: JUAN P BARRIOS				01/08/2015			
VERIF: HENRY CORTES				01/08/2015		PESO: N/A	
APROB:						No DE DIBUJO	
FABRICO:							
A1				ESCALA: 1:1			
Hoja 1 de 1						2	
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización							

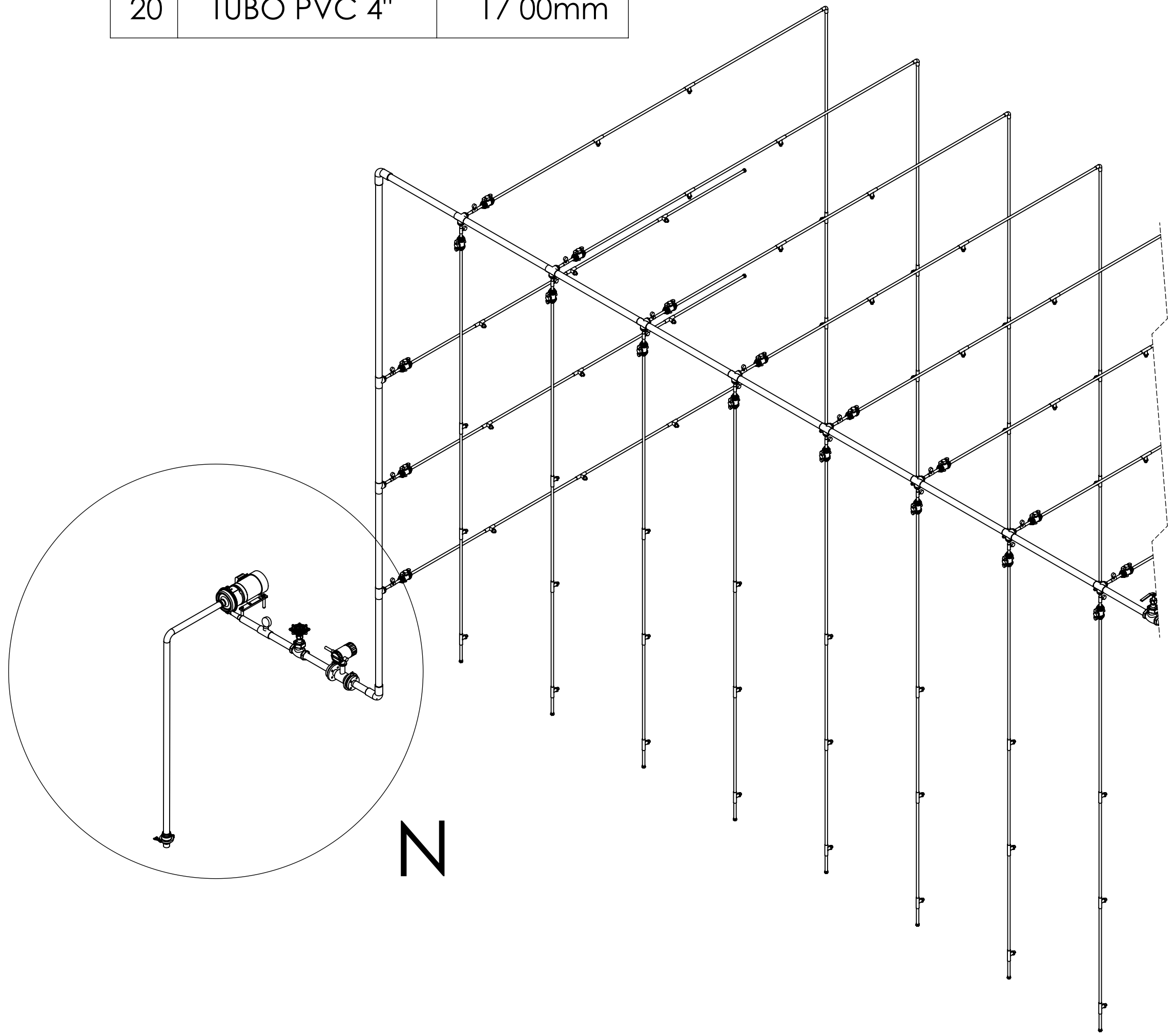


EMPRESA: Universidad Santo Tomás  Facultad de Ingeniería Mecánica			Rebatar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: ± 0.1 angular: $\pm 1^\circ$		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CADERNA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)			MATERIAL:		TITULO: ENSAMBLE
DIBUJO:	NOMBRE JUAN P BARRIOS	FIRMA	FECHA 01/08/2015	SEGUN TABLA DE CONTENIDO	No DE DIBUJO 3
VERIF:	HENRY CORTES		01/08/2015	PESO: N/A	
APROB:				ESCALA: A1 1:1	
FABRICO:				REPRER: 	
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin la autorización			Hoja 1 de 1		

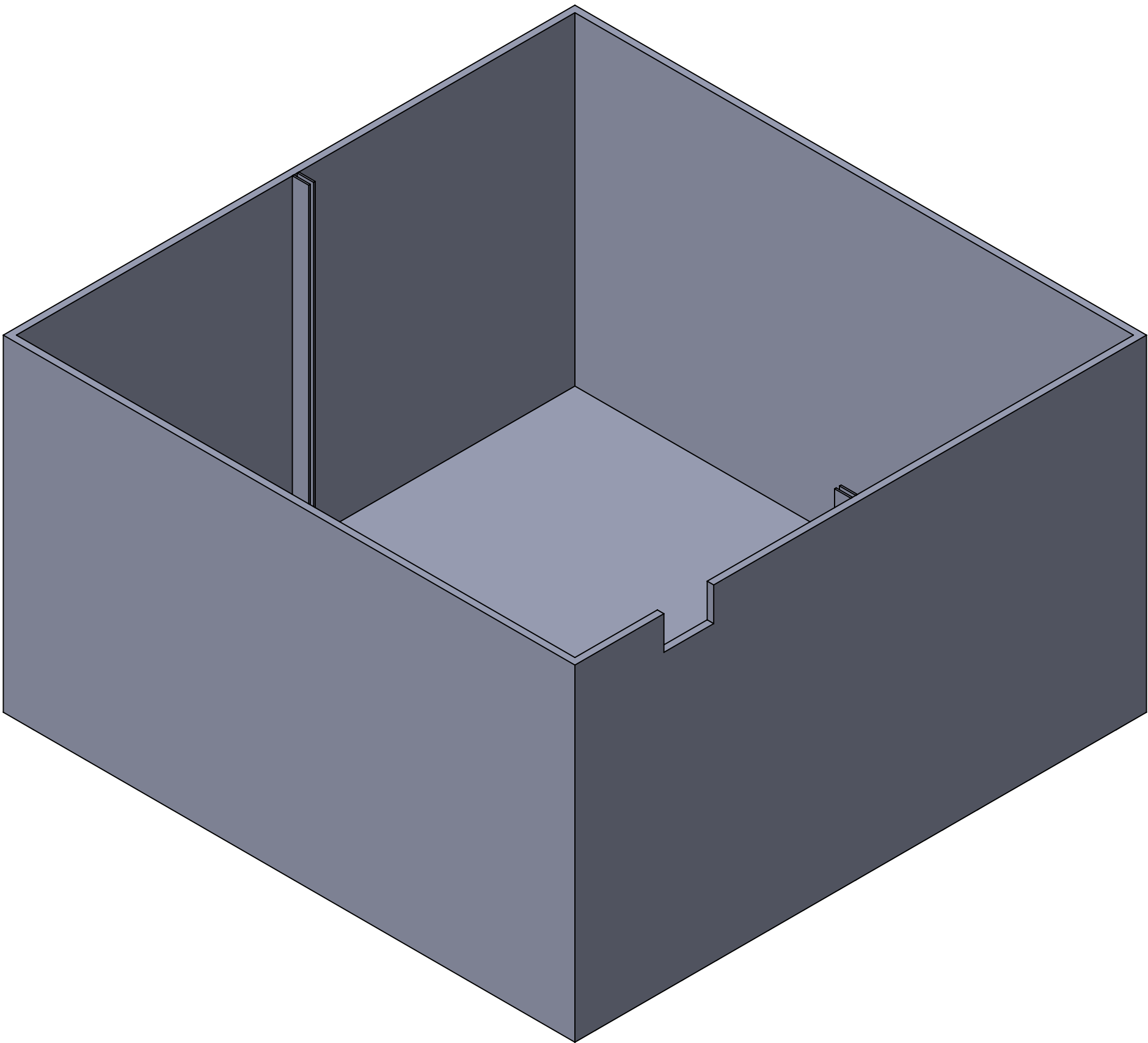
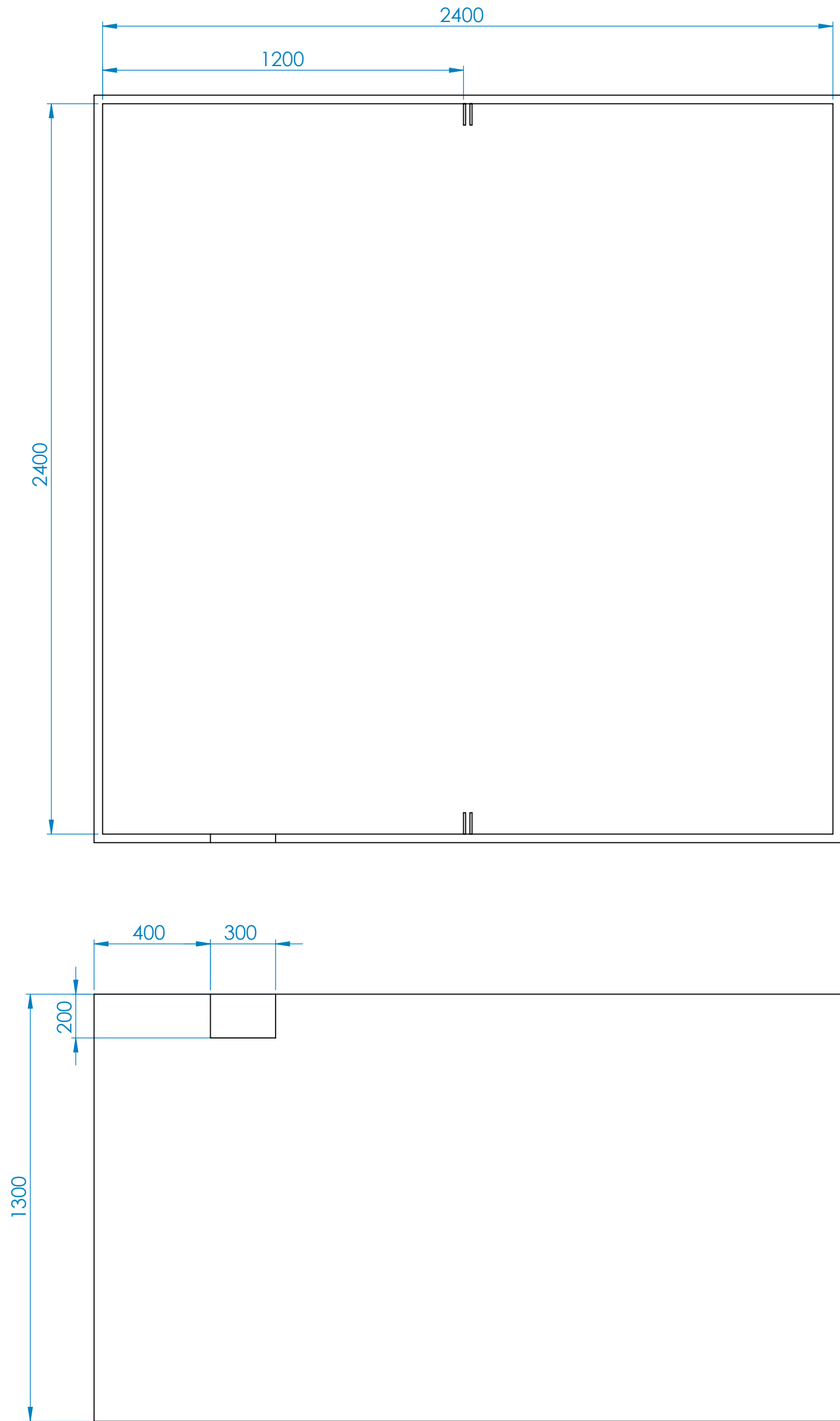


DETALLE N
ESCALA 1 : 5

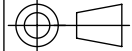
Nº	DESCRIPCION	CANTIDAD
1	TUBO PVC 3"	2186mm
13	CODO 90° 3"	2
14	BOMBA	1
15	VALVULA CHEQUE 4"	1
16	VALVULA DE REGURACION 3"	1
17	MEDIDOR DE FLUJO	1
18	MANOMETRO 3"	1
19	CODO 90° 4"	1
20	TUBO PVC 4"	17 00mm

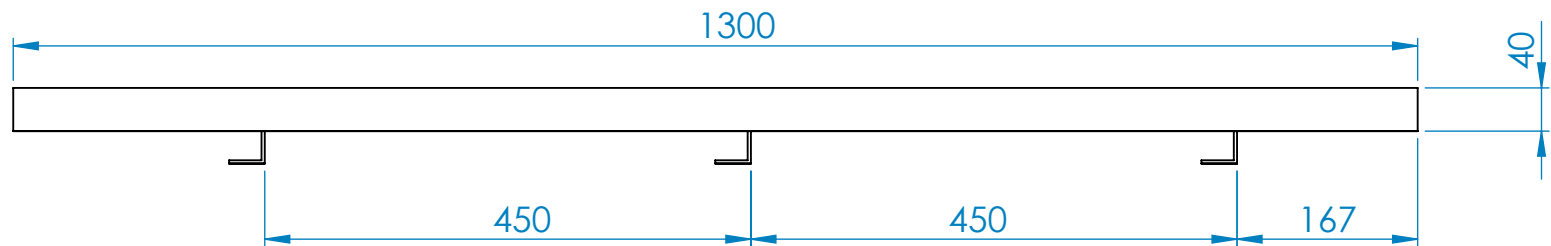
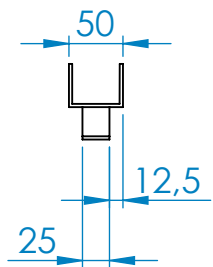
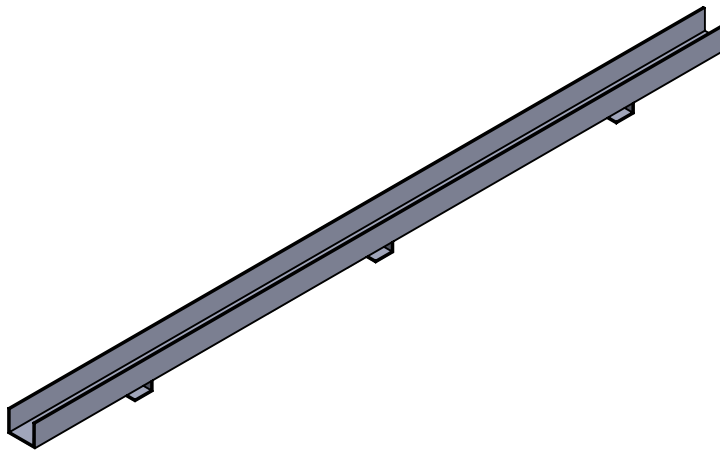


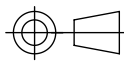
EMPRESA: Universidad Santo Tomás Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm. - Acabado superficial: ACABADO_SFP Tolerancias: lineal: ±0.1 angular: ±0.1°				Rebarbar y alinear aristas vivas no medidas sobre el plano.		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA	
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				FACULTAD INGENIERIA MECANICA		CURSO: TRABAJO DE GRADO	
DIBUJO: JUAN P BARRIOS		FIRMA		FECHA 28/08/2015		SEGUN TABLA DE MATERIALES	
VERIF: HENRY CORTES				28/08/2015		PESO: N/A	
APROB:						ESCALA: A1 1:1	
FABRICO:						REPRES:	
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización.				Hoja 1 de 1		No DE DIBUJO	

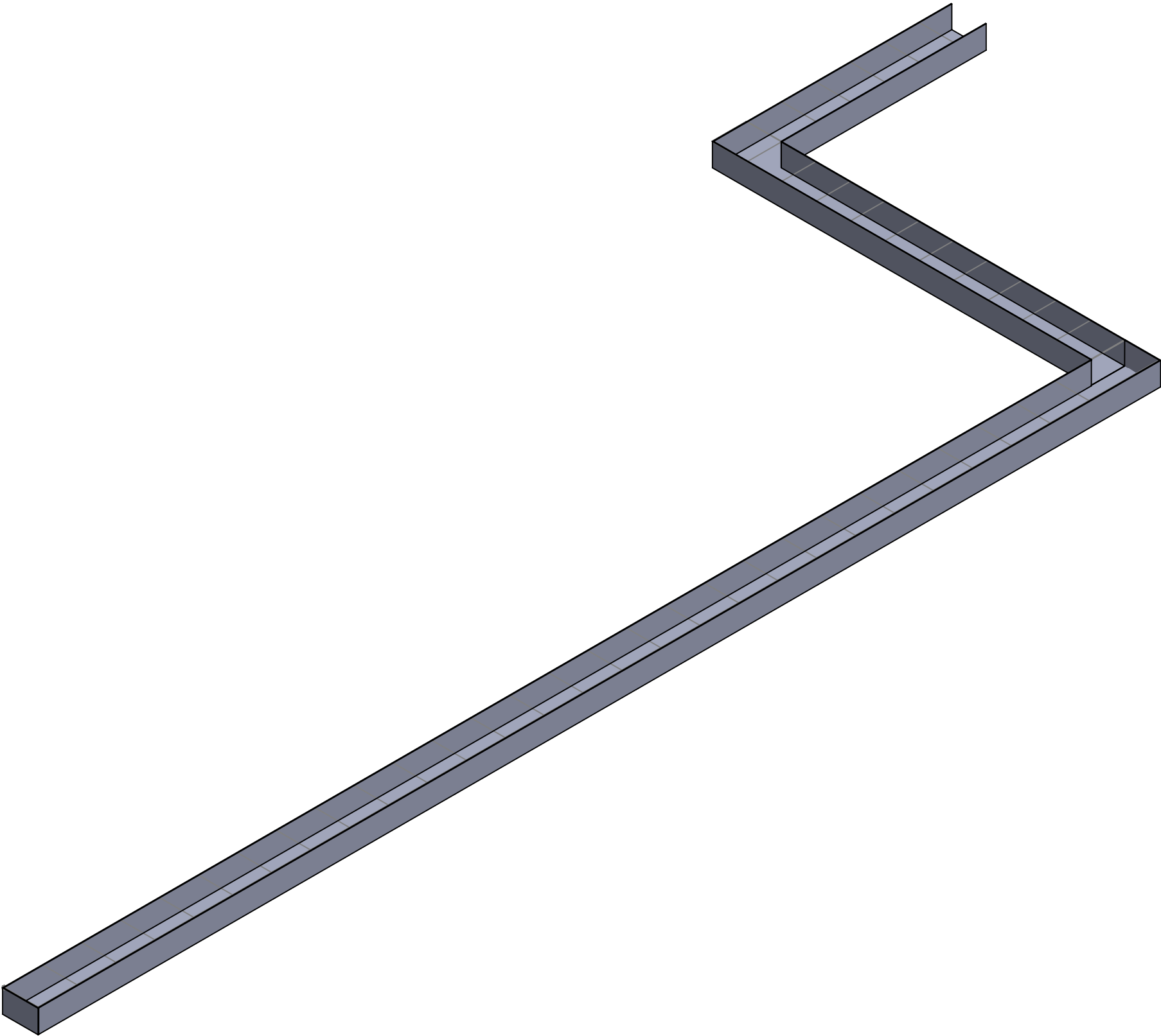
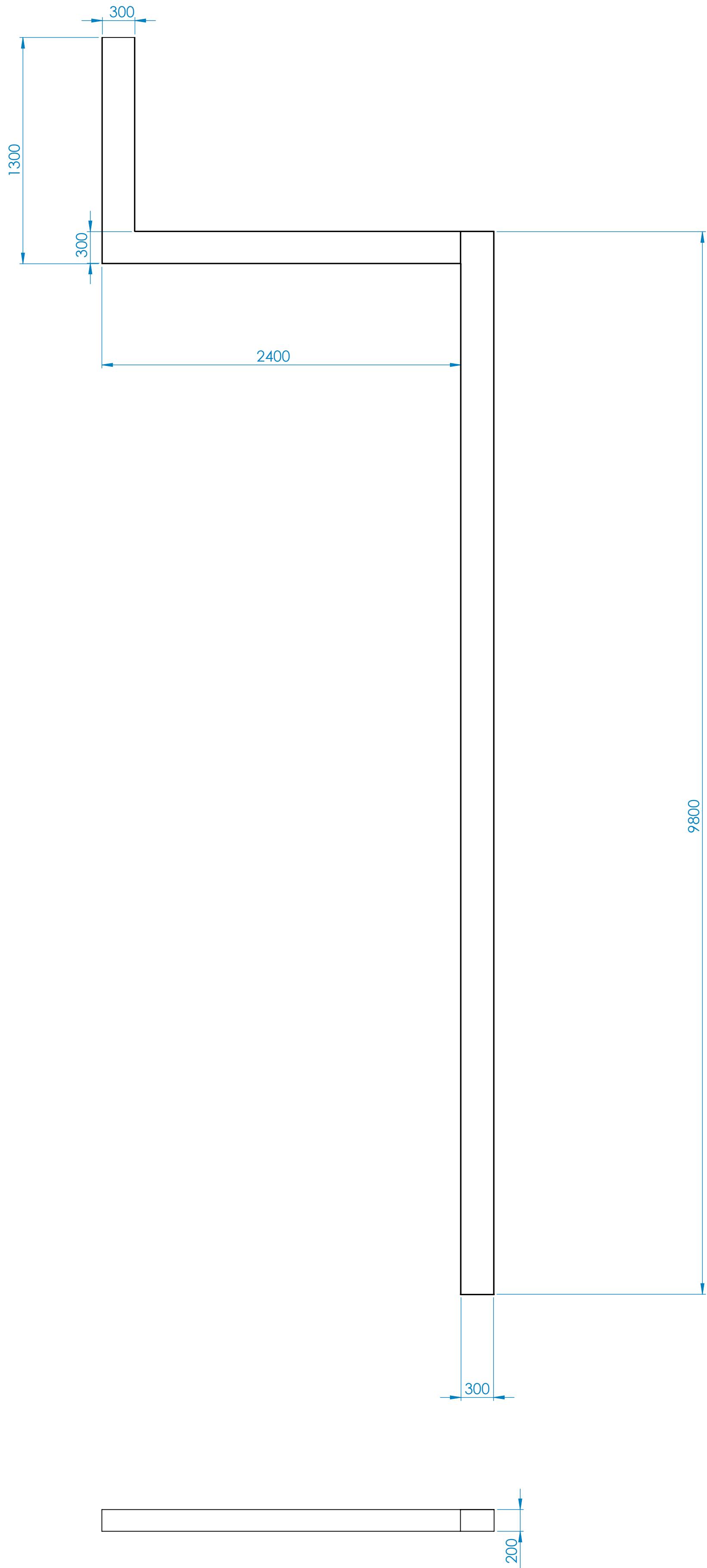


OBRA CIVIL

EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA	
COD PROYECTO:TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial:ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1 °		CURSO: TRABAJO DE GRADO	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: OBRA CIVIL		TITULO:	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015	PESO: N/A		TANQUE SUBTERRANEO	
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015				
APROB:				A2	ESCALA:	REPRES:	No de DIBUJO
FABRICO:					1:1		
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			



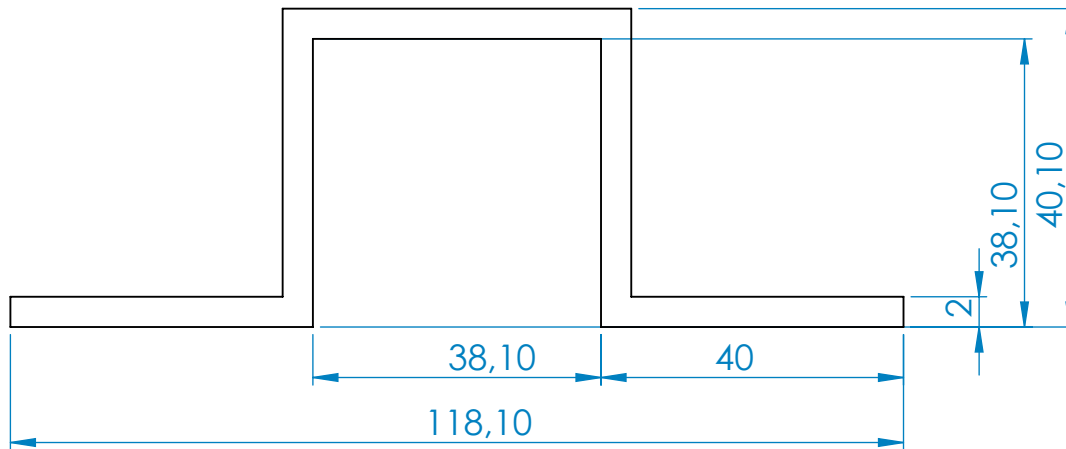
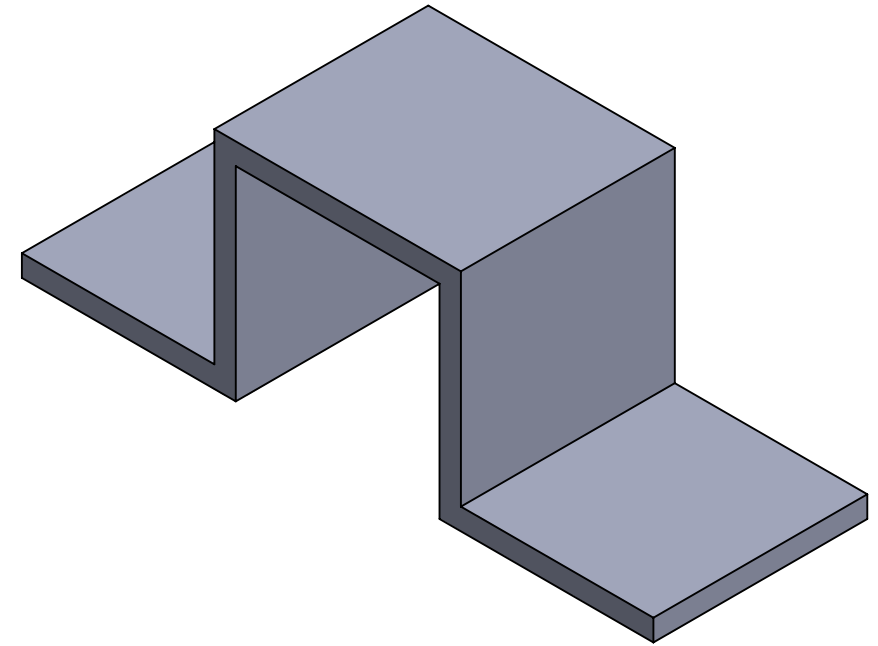
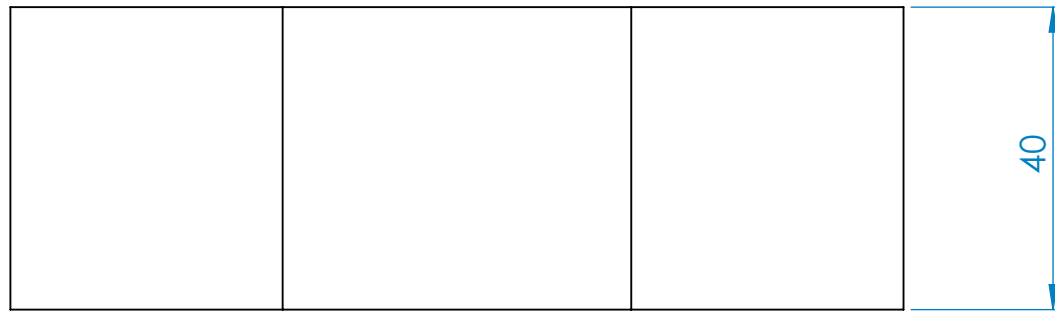
EMPRESA: Universidad Santo Tomás  COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO																					
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJO:</td> <td>JUAN P BARRIOS</td> <td></td> <td>28/08/2015</td> </tr> <tr> <td>VERIF:</td> <td>HENRY CORTES</td> <td></td> <td>28/08/2015</td> </tr> <tr> <td>APROB:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FABRICO:</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015	VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	APROB:				FABRICO:				MATERIAL: ALUMINIO 3 MM PESO: N/A		TITULO: RIEL DE MALLA PARA TANQUE SUBTERRANEO	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																								
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015																								
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015																								
APROB:																											
FABRICO:																											
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				ESCALA: A4 1:1		REPRES: 																					
				Hoja 1 de 1		No DE DIBUJO																					



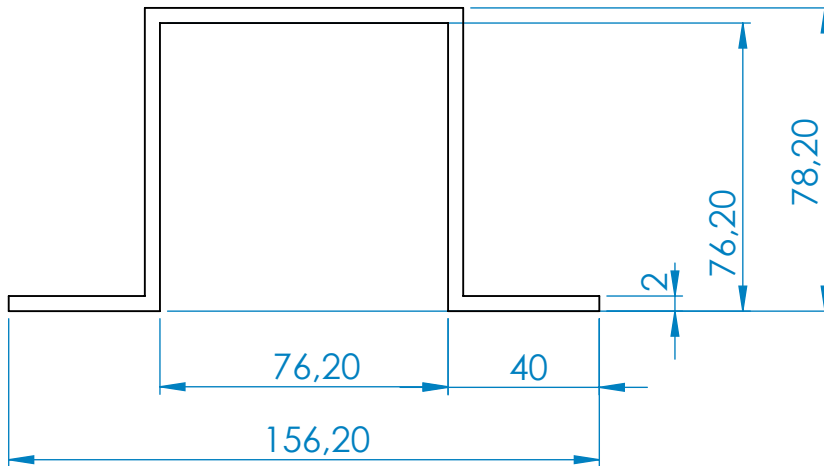
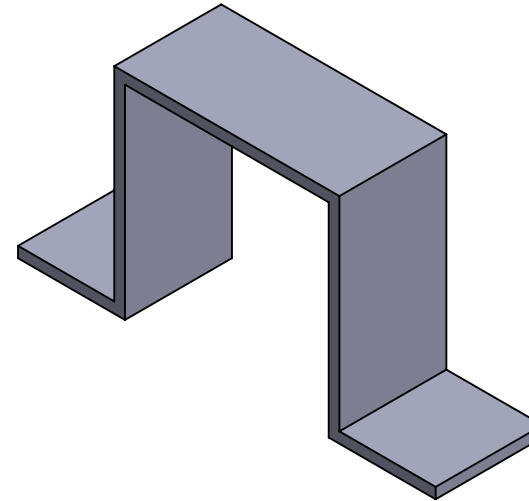
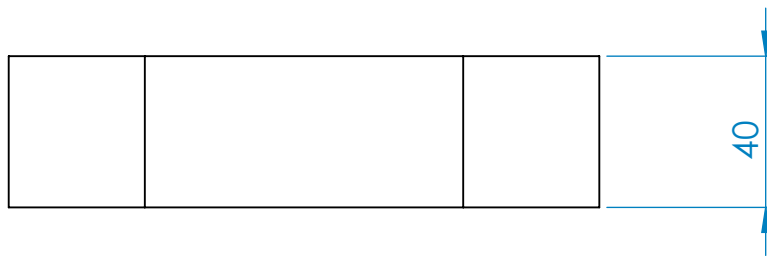
OBRA CIVIL

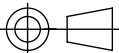
INCLINACION DE LA CANALETA 5°

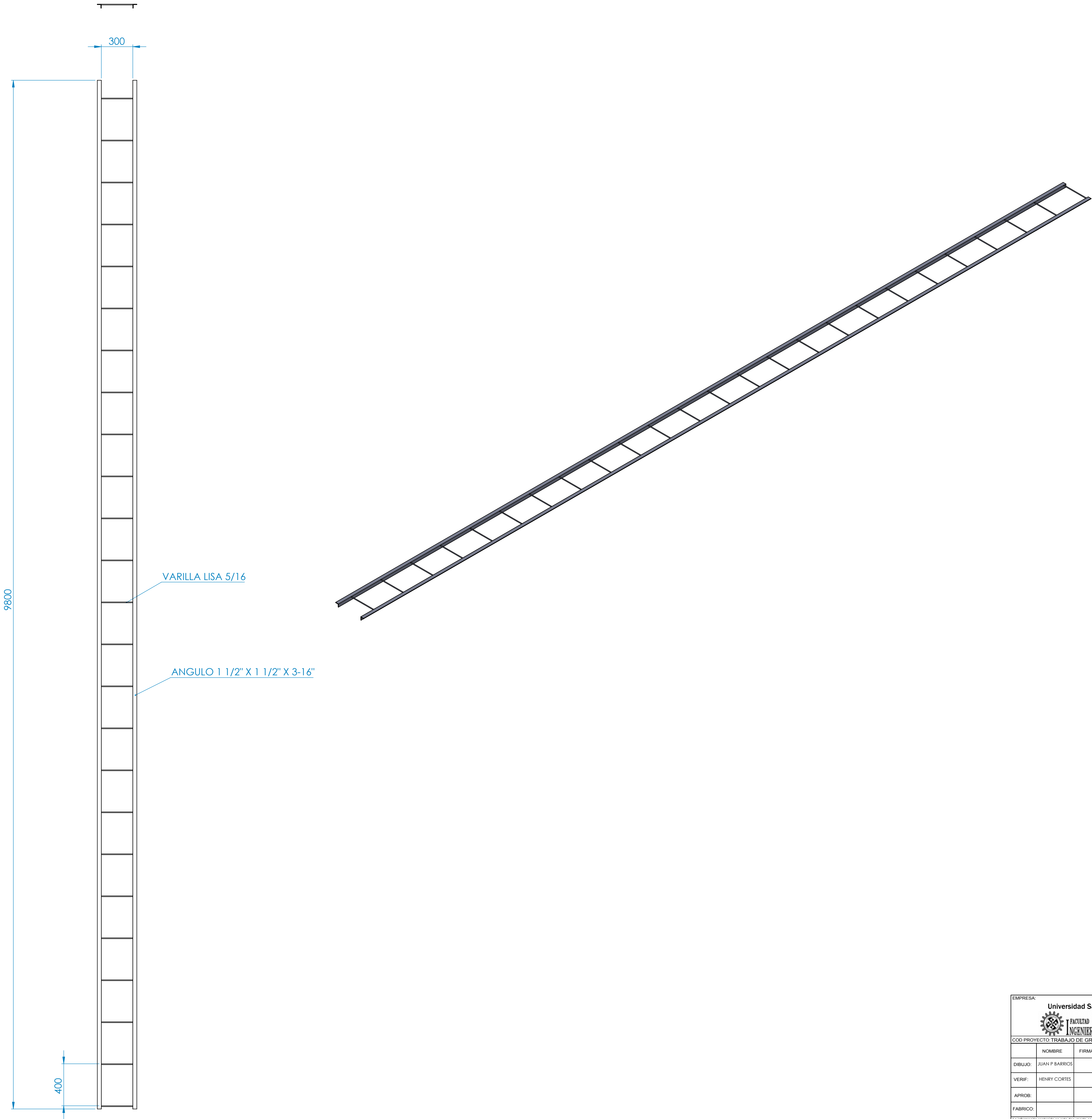
EMPRESA:  UNIVERSIDAD Santo Tomás				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA	
FACULTAD INGENIERIA MECANICA				Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0,1 angular: +/- 1 °		CURSO: TRABAJO DE GRADO	
CÓD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				MATERIAL: OBRA CIVIL		TITULO: RIEL DE MALLA PARA TANQUE SUBTERRANEO	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS	FIRMA	FECHA	28/08/2015		PESO: N/A	
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015			ESCALA: 1:1	
APROB:						REPRES: 	
FABRICO:						No DE DIBUJO	
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			



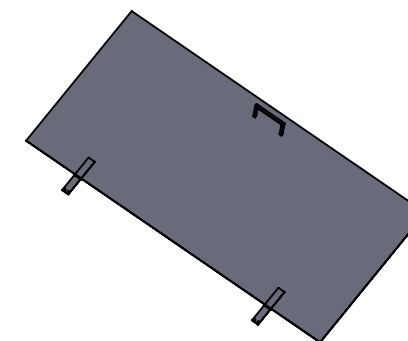
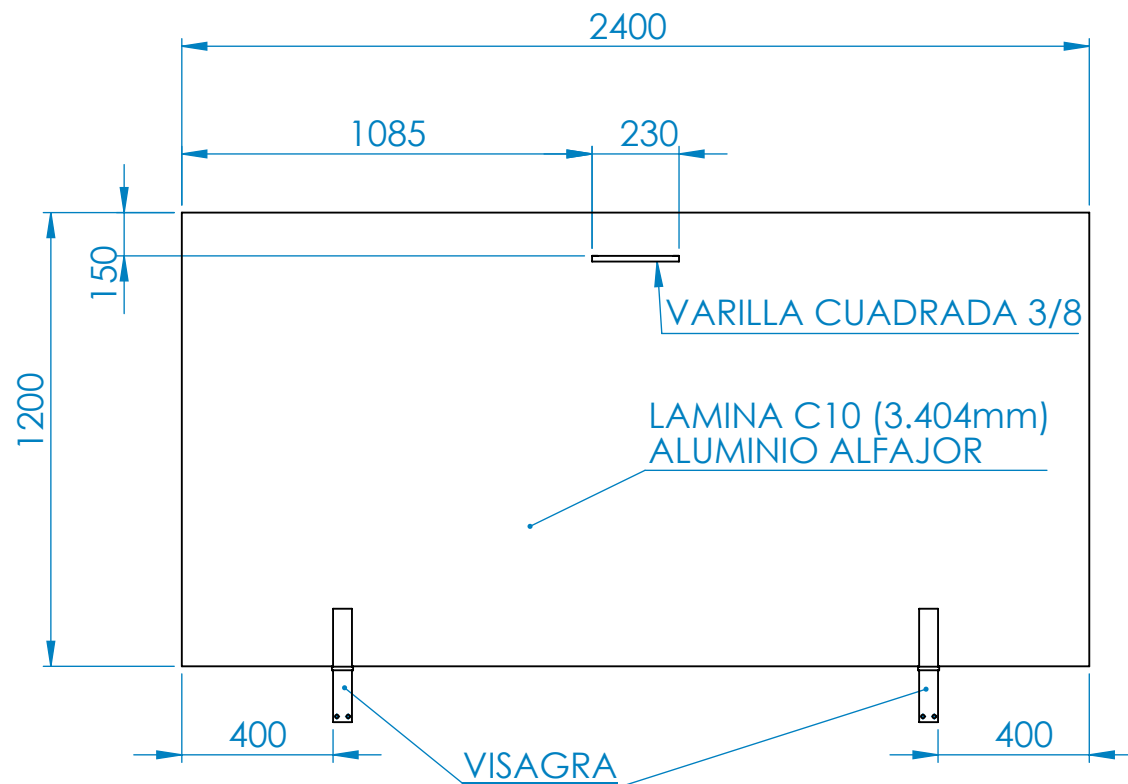
EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)						MATERIAL: ALUMINIO 2 MM	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	PESO: N/A		TITULO:	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015			OMEGA PARA SUJETAR LA TUBERIA 1 1/2" No DE DIBUJO	
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015				
APROB:							
FABRICO:							
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			

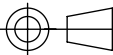


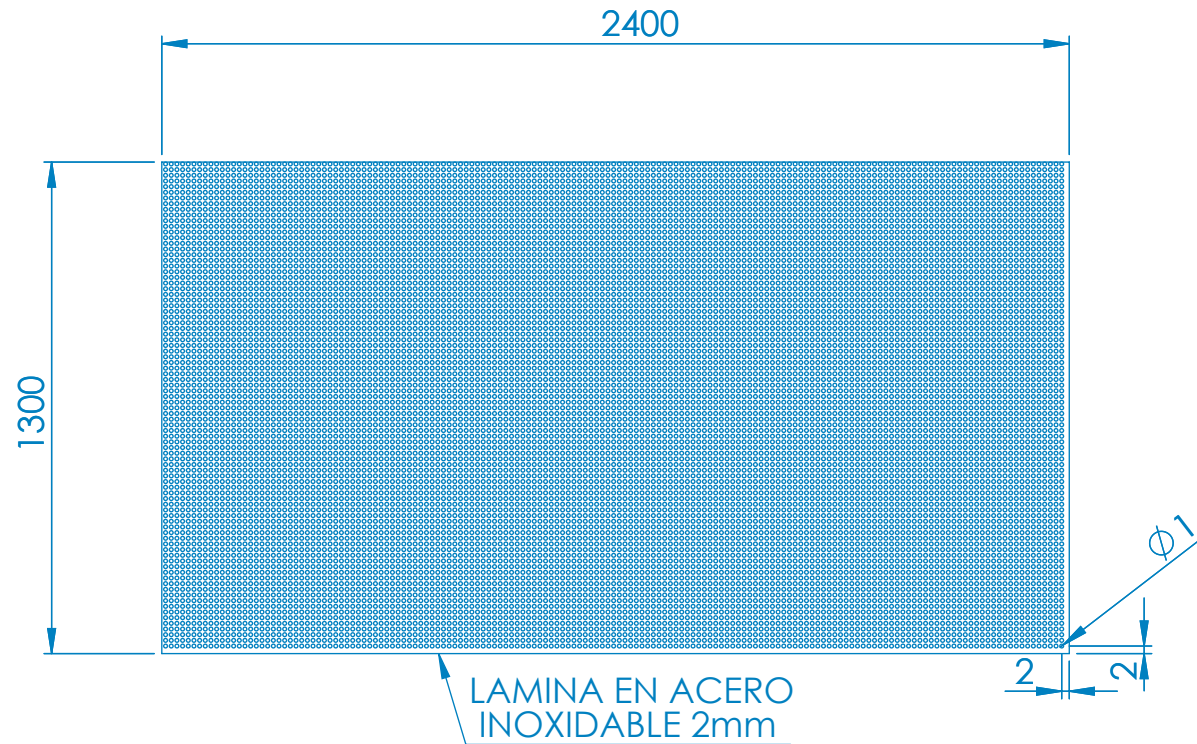
EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)						TITULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:		OMEGA PARA SUJETAR LA TUBERIA 3" No DE DIBUJO	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015	ALUMINIO 2 MM			
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	PESO: N/A			
APROB:				ESCALA: A4 1:1 REPRES: 			
FABRICO:							
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			

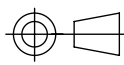


EMPRESA: Universidad Santo Tomás FACULTAD INGENIERIA MECANICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial:ACABADO_SUP Tolerancias: lineal: +/- 0,1 angular: +/- 1 °		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
CÓD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				MATERIAL: N/A		TITULO: REJA PROTECTORA DE CANAL DE RECIRCULACION DE AGUA	
DIBUJO:	NOMBRE: JUAN P BARRIOS	FIRMA:	FECHA: 28/08/2015	PESO: N/A		No DE DIBUJO	
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	ESCALA: A1 1:1			
APROB:				REPRES: 			
FABRICO:				Hoja 1 de 1			
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización							

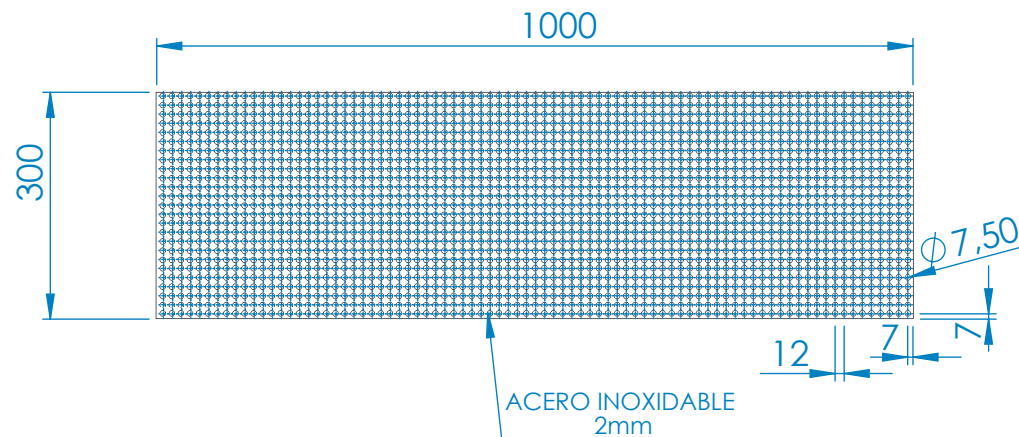


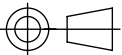
EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)						TITULO:	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:		TAPA DEL TANQUE No DE DIBUJO	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015	N/A			
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	PESO: N/A			
APROB:				A4 ESCALA: 1:1 REPRES: 			
FABRICO:							
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			

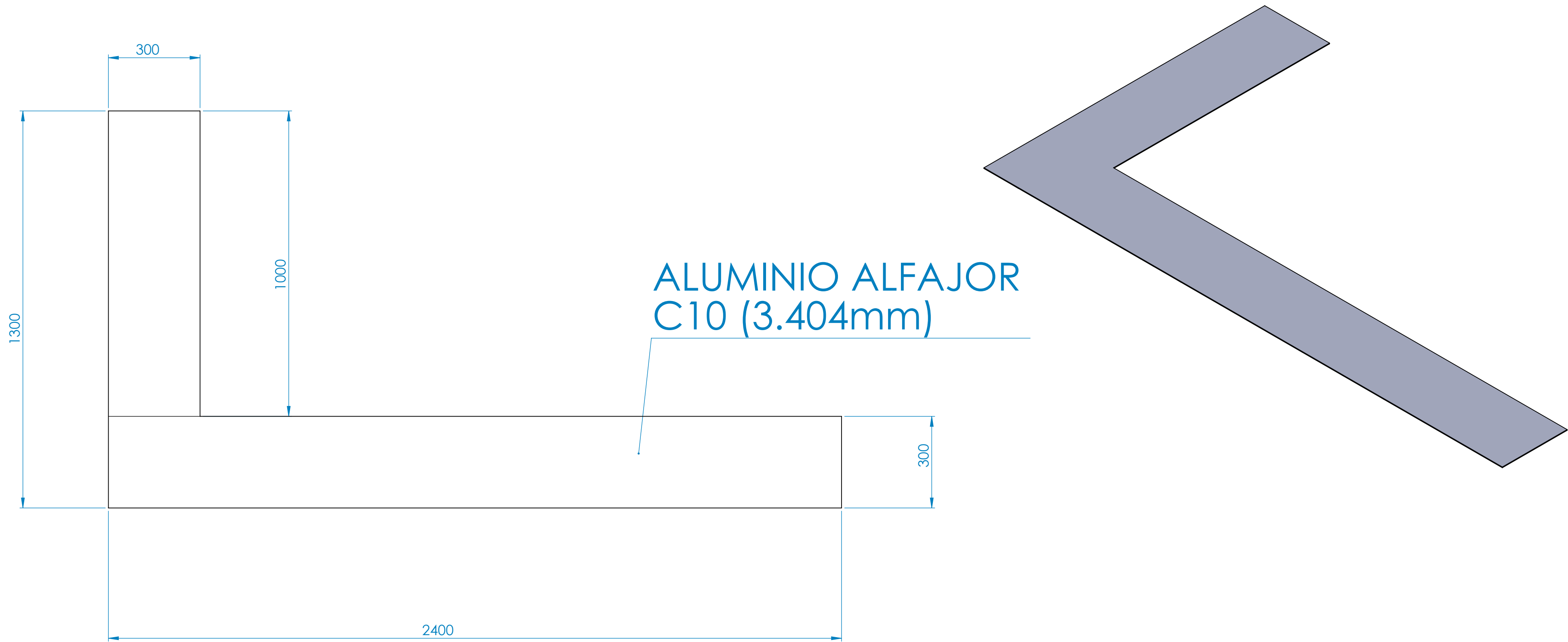


EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO		
COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)						MATERIAL:		TITULO: FILTRO DE MALLA PARA TANQUE No DE DIBUJO
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	ACERO INOXIDABLE 2mm				
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015					
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	PESO: N/A				
APROB:								
FABRICO:				A4 ESCALA: 1:1 REPRES: 	Hoja 1 de 1			

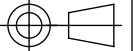
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización



EMPRESA: Universidad Santo Tomás  COD PROYECTO: TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1°		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA CURSO: TRABAJO DE GRADO	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL:		TITULO: MALLA PARA REJILLA DE RECIRCULACION DE AGUA No DE DIBUJO	
DIBUJO:	JUAN P BARRIOS		28/08/2015	N/A			
VERIF:	HENRY CORTES		28/08/2015	PESO: N/A			
APROB:				A4 ESCALA: 1:1 REPRES: 			
FABRICO:							
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización				Hoja 1 de 1			



ALUMINIO ALFAJOR
C10 (3.404mm)

EMPRESA: Universidad Santo Tomás  FACULTAD INGENIERIA MECÁNICA				Rebarbar y eliminar aristas vivas no tomar medidas sobre el plano		DISPOSITIVO: PLANOS DE SISTEMA HIDRAULICO DE CABINA DE SIMULACION DE LLUVIA	
COD PROYECTO:TRABAJO DE GRADO (PASANTIA)				CURSO: TRABAJO DE GRADO			
				Si no se indica lo contrario: - Las cotas se expresan en mm - Acabado superficial: ACABADO_SUP - Tolerancias: lineal: +/- 0.1 angular: +/- 1 °			
				MATERIAL: ALUMINIO ALFAJOR C10		TITULO: CUBIERTA DE CANALETA DE RECIRCULACION FUERA DE LA CABINA	
DIBUJO:		JUAN P BARRIOS		28/08/2015			
VERIF:		HENRY CORTES		28/08/2015			
PESO:		N/A					
A2		ESCALA: 1:1		REPRES: 			
APROB:						No DE DIBUJO	
FABRICO:							
La información contenida en este documento es propiedad de la Universidad Santo Tomás y no puede ser reproducida parcial o totalmente sin su autorización							
Hoja 1 de 1							