

SEP

SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TUXTLA GUTIÉRREZ**



**Informe Técnico de Residencia Profesional
“DISEÑO Y MANUFACTURA DE UN SIMULADOR DE
AEROGENERADOR PARA EVALUACIÓN DE
CANASTILLA ARVIS”**

PRESENTA

José Manuel Sánchez Góngora (14270823)

ASESOR INTERNO

Fernando Alfonso May Arrioja

ASESOR EXTERNO

Luis Mixquititla Casbis

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas

Enero del 2019

Introducción.

En México el desarrollo de energías alternas ha avanzado considerablemente en la última década. Esto se debe a la alta demanda de recursos energéticos. Entre los años 2005 y 2015 la energía eólica ha presentado la mayor expansión en capacidad instalada con crecimiento de un 104.7% de forma anual, que aunque la capacidad sea menor que la de las centrales hidroeléctricas, éstas tienen un ritmo de crecimiento más lento siendo sólo del 1.7%. (SENER, 2016)

Según el consejo regulador de la energía, para el 2011 había en México 3,175.3 MW de capacidad autorizada, lo que es equivalente a 11,105 GWh/año de energía autorizada. De acuerdo al estudio sobre el potencial eólico en México, llevado a cabo por PwC (una reconocida firma de consultoría a nivel mundial) en colaboración con la Asociación Mexicana de Energía Eólica (AMDEE), México cuenta con un potencial eólico superior a los 50 GW con factores de planta superiores al 20%. (SENER, 2012)

La región de Oaxaca presenta localizaciones con gran potencial para el desarrollo del recurso eólico. Reflejo de este potencial son los cerca de 2,500 MW en operación. No obstante ésta no es la única región del país con alto potencial eólico, los estados del norte, así como San Luis Potosí o Chiapas contabilizan ya una potencia en operación y en construcción de más de 1,000 MW adicionales, asociado a la evolución tecnológica del sector y a la búsqueda continua de nuevos emplazamientos con potencial. (INER, 2013)

Las aspas de un aerogenerador son el segundo componente más costoso después de la torre (con cimentación). El costo aproximado de un set de 3 aspas (50m) para grandes aerogeneradores de hasta 100m de altura oscila en \$445,780 mil USD, es decir; para un parque eólico medio de 40 turbinas esta inversión es de \$17.8 millones de USD. El parque eólico con mayor número de turbinas en México dispone aproximadamente de 120 unidades (García, 2018) y representa una inversión de \$53.4 millones de USD. En caso de falla severa de una sola aspa, es necesario retirar las 3 aspas que la componen para intercambiar por otro set de 3 aspas nuevo, debido a aspectos de fabricación y balanceo entre cada una de ellas, siendo un costo con impactos directos a las utilidades del parque. Las aspas de los aerogeneradores están expuestas a las condiciones más adversas, tales como. Vientos excesivos, desgaste y deterioro por partículas adheridas, defectos de fabricación (como delaminaciones e inclusiones) y manejo inadecuado durante su transporte e instalación. Cualquier alteración al perfil aerodinámico compromete la

integridad estructural del aspa e induce comportamientos no deseados que se reflejan en una reducción directa a la producción de energía y tiempos de inactividad del aerogenerador por labores de reparación con serios impactos económicos por improductividad. No es de menospreciar que una detección tardía de una alteración puede conducir a una falla catastrófica o reparaciones costosas que suelen elevar hasta 3 veces o incluso más los costos por esta demora. Es indispensable contar con técnicas de inspección y diagnóstico de fallas y defectos en aspas.

Durante el año 2015 se inició la propuesta por el desarrollo de las tecnologías ArVIS 4, cuyos logros han derivado en la construcción de un equipo portátil de visión artificial que poseerá algoritmos de procesamiento que a través de la captura de imágenes, se segmentará, medirá y tipificará el daño o alteración. Así bien tendrá la posibilidad de generar reportes preestablecidos y bases de datos con información previa y engendrada durante la inspección, dando ubicación, evidencias, diagnóstico y recomendaciones de acciones para cada uno de los hallazgos, además de ofrecer trazabilidad y seguimiento a los defectos y fallas identificadas, proporcionando tasas de crecimiento y propagación para la identificación de componentes lo que permitirá realizar análisis específicos y reportes relevantes para la toma de decisiones que generen acciones preventivas y el aseguramiento de las condiciones óptimas de funcionamiento en las aspas de los aerogeneradores

Índice de contenido

1. Generalidades.	7
1.1. Datos Generales.	7
1.1.1. Nombre de la empresa.	7
1.1.2. Ubicación de la empresa.	7
1.1.3. Giro de la empresa.	7
1.2. Organigrama.	8
1.3. Misión y Visión.	8
1.3.1. Misión.	8
1.3.2. Visión.	8
1.4. Descripción de la problemática.	8
1.5. Caracterización del área.	9
1.6. Objetivos.	9
1.6.1. Objetivo general.	9
1.6.2. Objetivos específicos.	9
1.7. Justificación.	10
2. Antecedentes.	10
2.1. Estrategias para la detección de problemas o fallas de los álabes.	11
3. Marco teórico.	12
3.1. Diseño Mecánico.	12
3.2. Diseño Asistido por Computadora (CAD).	12
3.2.1. SolidWorks.	13
3.2.2. Elemento finito.	14
3.3. Manufactura Asistida por Computadora (CAM).	15
3.3.1. ArtCAM.	16
3.4. Aerogeneradores.	17
3.4.1. Características de un aerogenerador.	17
3.5. Análisis estructural.	18
4. Descripción de actividades para el diseño y construcción de DOMI y ArVIS.	20
4.1. Capacitación por parte de líder de proyecto.	20
4.2. Diseño de partes estructurales de DOMI.	20
4.3. Realización de planos para manufacturar a DOMI.	21

4.4. Participación en el diseño de instalación de perfiles de alabes en el simulador.	22
4.4.1. Corte Raíz.	22
4.4.2. Corte Medio.	23
4.4.3. Corte Punta.	23
4.5. Realización de BOM de partes de DOMI.	24
4.6. Selección de procesos de manufactura para DOMI.	29
4.7. Coordinación de instalación y manufactura de DOMI.	30
4.8. Diseño de partes estructurales de ArVIS.	32
4.9. Realización de planos para manufacturar ArVIS.	38
4.10. Realización de BOM de Partes de ArVIS.	39
5. Resultados.	41
5.1. Análisis estructural de DOMI.	41
5.2. Análisis estructural de ArViS.	42
6. Conclusiones.	45
7. Referencias.	46
ANEXOS.	48
ANEXO 1. PLANOS DE DOMI	48
ANEXO 2. PLANOS DE ARVIS	52
ANEXO 3. EVIDENCIAS DE RESIDENCIA	59

Índice de figuras

<i>Figura 1. Ubicación de Somerset.</i>	7
<i>Figura 2. Croquis de la empresa.</i>	9
<i>Figura 3. Pieza en SolidWorks</i>	13
<i>Figura 4. Discretización</i>	14
<i>Figura 5. Estructura Articulada</i>	19
<i>Figura 6. Estructura reticulada</i>	19
<i>Figura 7. Estructura de DOMI</i>	21
<i>Figura 8. A) Corte raíz. B) Corte medio, C) Corte punta.</i>	22
<i>Figura 9 Corte Medio</i>	23
<i>Figura 10. Corte Punta</i>	24
<i>Figura 11.b Ensamble al 50%</i>	31
<i>Figura 11.a Ensamble al 10%</i>	31
<i>Figura 11.c Ensamble Terminado.</i>	32
<i>Figura 12. ArVIS Propuesta 1</i>	33
<i>Figura 13. ArVIS Propuesta 2</i>	33
<i>Figura 14. ArVIS Propuesta 3</i>	34
<i>Figura 15. ArVIS Propuesta 4</i>	35
<i>Figura 16. Viga del Puente</i>	36
<i>Figura 17. Puente Ensamblado en su totalidad.</i>	37
<i>Figura 18. ArVIS</i>	38
<i>Figura 19.b Esfuerzos máximos y mínimos</i>	41
<i>Figura 19.a. Análisis de fatiga</i>	41
<i>Figura 19.c. Deformación máxima</i>	41
<i>Figura 20. Resultados de análisis de ArVIS.</i>	42
<i>Figura 21.a Simulador y ArVIS</i>	43
<i>Figura 21.b Simulador y ArVIS semi-renderizado</i>	43

Índice de Tablas

<i>Tabla 1. BOM de piezas de DOMI</i>	25
<i>Tabla 2 Tornillería.</i>	30
<i>Tabla 3. BOM de partes de la Propuesta 4</i>	39

1. Generalidades.

1.1. Datos Generales.

1.1.1. Nombre de la empresa.

SOMERSET I+D+I S DE R.L. DE C.V.

1.1.2. Ubicación de la empresa.

Carretera a Tlacote el Bajo km 5, Navex Park, bodega #26 Ejido de Santa María Magdalena, 76000 Santiago de Querétaro, Qro. En la Figura 1 se muestra parte del mapa donde se muestra la ubicación de la empresa.

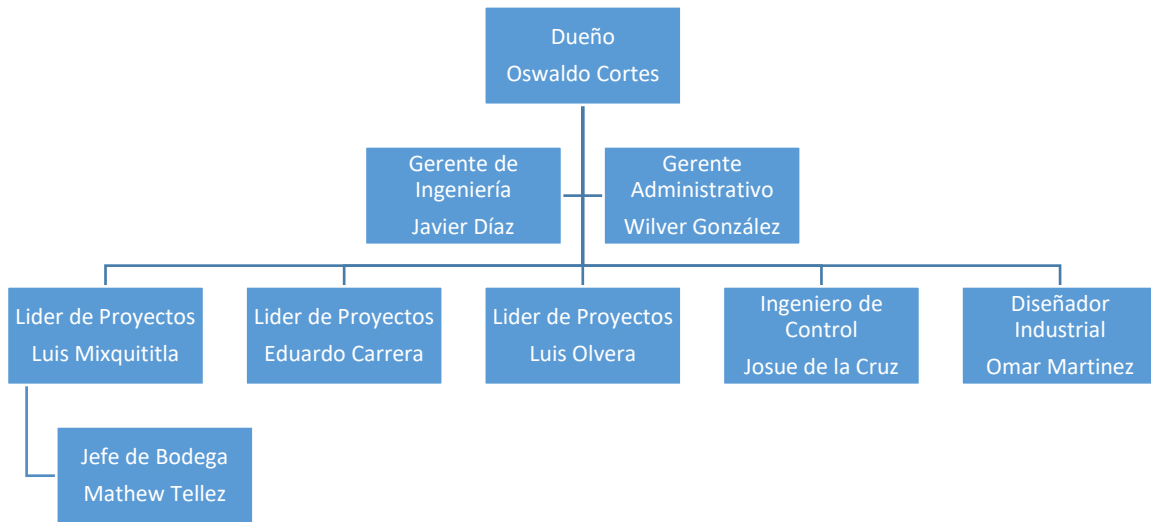


Figura 1. Ubicación de Somerset.

1.1.3. Giro de la empresa.

Industrial.

1.2. Organigrama.



1.3. Misión y Visión.

1.3.1. Misión.

Generar confianza e impacto a nuestros clientes en la solución integral de sus retos tecnológicos.

1.3.2. Visión.

Somos y seremos una empresa mexicana innovadora que generará valor en diferentes sectores industriales mediante un proceso estructurado.

1.4. Descripción de la problemática.

Las aspas del aerogenerador son el segundo componente más caro de éste, la falla de una sola de ellas implicará el cambio de las 3, hay diversos factores por los cuales un aspa podría fallar, tales como. Vientos excesivos, desgaste y deterioro por partículas adheridas, defectos de fabricación (como delaminaciones e inclusiones) y manejo inadecuado durante su transporte e instalación. Cualquier alteración al perfil aerodinámico compromete la integridad estructural del aspa e induce comportamientos no deseados que se reflejan en una reducción directa a la producción de energía y tiempos de inactividad del aerogenerador por labores de reparación con serios impactos económicos por improductividad. No es de menospreciar que una detección tardía de una alteración puede

conducir a una falla catastrófica o reparaciones costosas que suelen elevar hasta 3 veces o incluso más los costos por esta demora. Contar con sistemas de inspección oportuna puede reducir considerablemente las pérdidas por inactividad.

1.5. Caracterización del área.

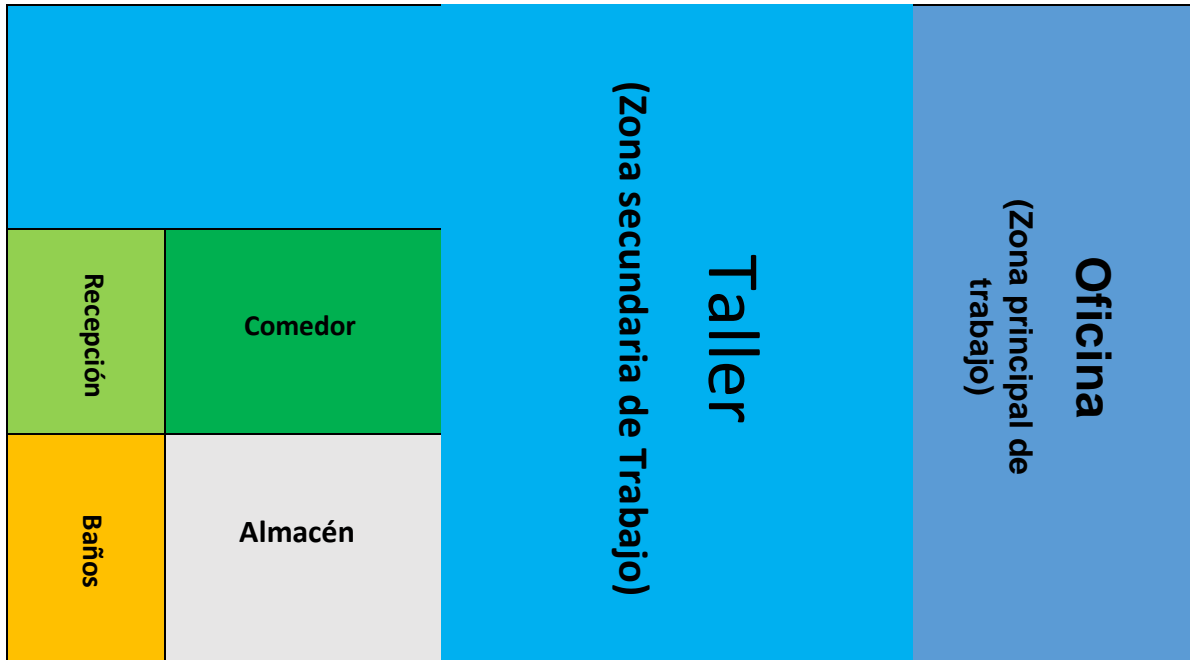


Figura 2. Croquis de la empresa.

En la oficina se realizaron las principales actividades, aquí estaban las computadoras para poder realizar los diseños, además de que en la parte de arriba estaba la sala de juntas para realizar las juntas del proyecto y hablar sobre avances y entregables. Mientras que en el taller se realizaban tareas de Manufactura y re-trabajo para los otros proyectos.

1.6. Objetivos.

1.6.1. Objetivo general.

Diseñar y manufacturar un simulador de aerogenerador para evaluar a la canastilla ArVIS.

1.6.2. Objetivos específicos.

1. Elaborar el diseño conceptual de la estructura de los sistemas DOMI y ArVIS.
2. Elaborar la ingeniería básica de los sistemas DOMI y ArVIS.
3. Elaborar la ingeniería de detalle de los sistemas utilizando el software SolidWorks.
4. Elaborar planos y procesos de manufactura para DOMI y ArVIS.

1.7. Justificación.

Es importante realizar inspecciones de los álabes. Se pueden establecer técnicas de inspección de álabes basada en mantenimiento por condiciones. El mantenimiento de equipos mecánicos es necesario para asegurarse de que los componentes siguen desempeñando las funciones para las cuales fueron diseñados; los objetivos básicos de la actividad de mantenimiento son los de desplegar los recursos mínimos necesarios para garantizar que los componentes realicen sus funciones prescritas, para garantizar la factibilidad del sistema y para recuperarse de fallas.

La teoría clásica ve al mantenimiento como correctivo o preventivo. El primero se lleva a cabo cuando los componentes se rompen y cuando se detectan fallas o averías. Por el contrario, el objetivo detrás del mantenimiento preventivo es ya sea para reparar o sustituir las piezas antes de que fallen. Una alternativa consiste en el sistema de Mantenimiento Basado en Condiciones (MBC). En el que se emplean técnicas de vigilancia e inspección continua para detectar fallas insipientes tempranas. Esto implica la adquisición, procesamiento, análisis e interpretación de datos y selección de acciones de mantenimiento optimas y se logra mediante Sistemas de Monitoreo de Condiciones (SMC).

Por lo anterior, el diseño y manufactura de un simulador de aerogenerador para la evaluación de canastilla ArVIS. Permitirá la aplicación de técnicas para monitorear el estado de los álabes en un aerogenerador. Dichas técnicas pueden ser la medición por efectos eléctricos, inspección radiográfica, termografía, visión artificial, entre otros.

Estas técnicas requieren para su aplicación, un acercamiento del operador al álabe, de forma que se garantice su seguridad e integridad física en todo momento.

2. Antecedentes.

Los álabes de las turbinas están diseñados para optimizar la aerodinámica y la ubicación del centro de masa; se componen de compuestos y aleaciones de metal fundido para aumentar la resistencia, soportar temperaturas extremas y evitar la corrosión. Las aleaciones metálicas densas presentan desafíos específicos para la inspección de los álabes. Las imprecisiones de posicionamiento y geometría del álabe pueden reducir la eficiencia de la conversión de energía y en última instancia causan fallas del álabe. Para garantizar la posición óptima y el funcionamiento aerodinámico del álabe, se aplican tolerancias estrictas tanto a la geometría como a la alineación.

El enfriamiento interno por aire permite que los álabes de turbinas funcionen a temperaturas extremadamente altas, aproximadamente 1000°C. La inspección del grosor de las paredes es clave para asegurar la compensación óptima entre resistencia y enfriamiento en toda la superficie aerodinámica de los álabes. Por otro lado, las imperfecciones estructurales como fisuras e inclusiones pueden arriesgar la vida útil del álabe. (SAKIRI, 2013)

2.1. Estrategias para la detección de problemas o fallas de los álabes.

Hay diferentes estrategias para la detección de fallas en los alabes, se mencionarán las más utilizadas por la industria.

- **Análisis de vibraciones:** Este tipo de análisis se usa para medir las vibraciones en la caja de engranes, mediante el uso de diferentes sensores, que miden diferentes frecuencias, para las bajas frecuencias se utilizan transductores de posición, para la zona de frecuencia de velocidad se utilizan sensores de velocidad y para las zonas con frecuencias muy altas son utilizados sensores de espectro de energía.
- **Inspección por Ultrasonido:** La inspección por ultrasonido es ampliamente utilizada por la industria de la energía eólica para la evaluación estructural de las torres de aerogeneradores y álabes. El análisis de ultrasonidos acústicos es una técnica de diagnóstico con equipos de medición fuera de línea que trata de relacionar los sonidos emitidos por determinados equipos y componentes y que se encuentra fuera del rango audible para el ser humano con el estado en que se encuentran dichos equipos. La gama de equipos que se pueden diagnosticar mediante el análisis de los ultrasonidos que emiten durante su funcionamiento, y que son transmitidos por el aire o por elementos estructurales, es muy amplio, y va desde equipos mecánicos rotativos y estáticos hasta equipos eléctricos de alta tensión.
- **Inspección por termografía:** Se realizan inspecciones visuales por medio de potentes cámaras de espectro visible, con diversidad de objetivos y grados de zoom, estas cámaras son montadas en drones especiales. Las cámaras multiespectrales o termográficas aportan datos más allá de lo visible. Mediante estas técnicas, se realizan inspecciones para determinación de grietas estructurales en el fuste y las palas, pérdidas de aislamiento en la góndola, posibles fricciones en los elementos móviles y rotatorios, así como

análisis del rendimiento de la planta energética, en sus centros de transformación y líneas de transporte. (May, 2013)

3. Marco teórico.

3.1. Diseño Mecánico.

El diseño mecánico es una rama de la ingeniería mecánica, que nos permite estructurar ideas para satisfacer una necesidad, se toman en cuenta diversos parámetros para dicha actividad, el diseñador debe ser capaz de entregar un producto funcional, seguro, competitivo y útil. El diseño es un proceso de toma de decisiones y trabajo con poca o mucha información. “Los ingenieros mecánicos están relacionados con la producción y el procesamiento de energía y con el suministro de los medios de producción, las herramientas de transporte y las técnicas de automatización. Las bases de su capacidad y conocimiento son extensas. Entre las bases disciplinarias se encuentran la mecánica de sólidos, de fluidos, la transferencia de masa y momento, los procesos de manufactura y las teorías de la electricidad y de la información. El diseño en ingeniería mecánica involucra todas las áreas que componen esta disciplina.” (Budynas & Nisbett, 2012)

3.2. Diseño Asistido por Computadora (CAD).

Es un sistema de diseño, bastante conocido y utilizado, que permite ampliar de forma relevante las posibilidades de los sistemas tradicionales de dibujo y cuya principal ventaja radica en la rapidez con que permite efectuar modificaciones en el diseño (Budynas & Nisbett, 2012). Existe una amplia gama de tareas que se pueden desarrollar en un sistema CAD, entre las que se pueden destacar:

- Visualizar en pantalla un modelo cualquiera en tres dimensiones y en perspectiva
- Utilizar distintos colores para cada superficie
- Eliminar automáticamente líneas y superficies ocultas
- Rotar o trasladar las piezas
- Obtener cualquier tipo de secciones, dibujando plantas y alzados automáticamente
- Calcular el volumen, masa, centro de gravedad, inercia, entre otros, de cada pieza

3.2.1. SolidWorks.

SolidWorks es un ejemplo de un programa tipo CAD para modelado mecánico que corre bajo el sistema operativo Microsoft Windows y es desarrollado por SolidWorks Corp, que a su vez es una subsidiaria de Dassault Systems (Suresnes, Francia). Este programa permite modelar piezas y conjuntos y, extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. El proceso de diseño en este software consiste en transportar la idea del diseñador al sistema CAD “construyendo virtualmente” la pieza o conjunto de piezas, y así posteriormente todas las extracciones (planos, fichas técnicas, etc.) se realizan de manera automatizada. (S.A, 2011)

El software SolidWorks es una herramienta de Diseño de modelado sólido y basado en operaciones que aprovecha la facilidad de aprendizaje de la interfaz gráfica de usuario de Windows. Puede Crear modelos Solidos en 3D totalmente asociativos con o sin restricciones mientras utiliza al mismo tiempo la relaciones automáticas o definidas por el usuario para capturar la intención del diseño como se muestra en la Figura 3.

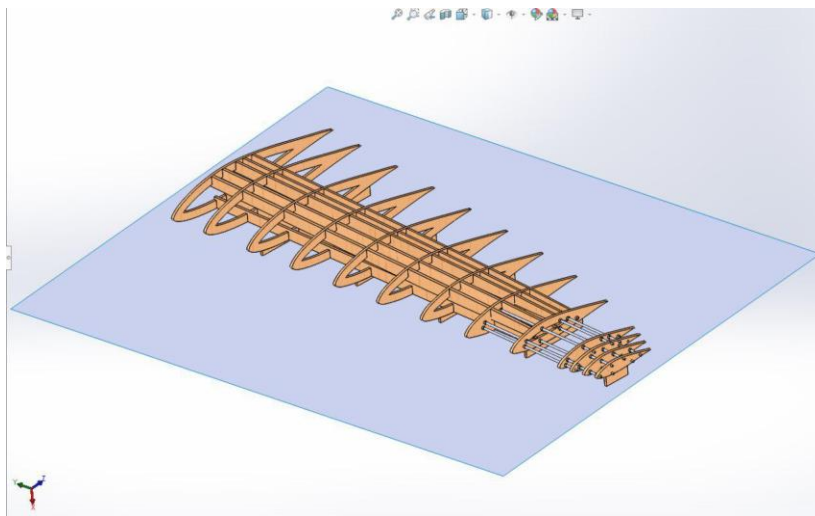


Figura 3. Pieza en SolidWorks

Al igual que un ensamblaje está compuesto por una serie de piezas individuales, un elemento o pieza de SolidWorks también está compuesto por elementos individuales. Dichos elementos se denominan operaciones. Cuando se crea un modelo mediante el software SolidWorks, se trabaja con operaciones geométricas inteligentes y fáciles de entender. A medida que se crean estas operaciones, las mismas se aplican directamente a la pieza con la que se está trabajando.

Modelado Sólido. Un modelado sólido es el tipo más completo de modelo geométrico utilizado en los sistemas CAD. Contiene toda la geometría de superficie y alámbrica necesaria para describir detalladamente las aristas y las caras del modelo.

Un modelo de SolidWorks es totalmente asociativo a los dibujos y ensamblajes a los que hace referencia. Los cambios efectuados en la pieza o modelo, se reflejan automáticamente en el dibujo y ensamblajes en los que está relacionados.

SolidWorks tiene relaciones geométricas paralelas, perpendiculares, horizontales, verticales, concéntrica y coincidentes, a estas relaciones se les denominan restricciones.

Las empresas de clase mundial tienen en este sistema un ingrediente de competitividad; en la medida que eliminan errores en el diseño de los productos aumentan sus beneficios. Modelados tridimensional, diseño sustentable, administración de datos y ciclo de vida del producto son términos que, más allá de ser conceptos abstractos, forman parte de un todo. (S.A, 2011)

3.2.2. Elemento finito.

El método de elemento finito (MEF o FEM por sus siglas en inglés) es un método numérico para resolver ecuaciones diferenciales, utilizado en diversos problemas de ingeniería y física.

“Este método se basa en dividir el cuerpo, estructura o sólido sobre el que están definidas ciertas ecuaciones integrales que caracterizan el comportamiento físico del problema en una serie de subdominios no intersecantes entre si denominados elementos finitos.

El conjunto de elementos finitos forma una partición del sólido también llamada discretización como se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Discretización

Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados nodos. Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito, además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se conoce como malla.

Los cálculos se realizan sobre una malla o discretización creada a partir del dominio con programas generadoras de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo a estas relaciones de adyacencia se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variables entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales, la matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema.

Típicamente el método de elemento finito se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y, posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculos complejos.

Además el método es fácilmente adaptable a problemas de difusión de calor, de mecánica de fluidos para calcular campos de velocidades y presiones, o de campo electromagnético. Dada la imposibilidad práctica de encontrar la solución analítica de estos problemas, con frecuencia, en la práctica ingenieril, los métodos numéricos y, en particular, los elementos finitos, se convierten en la única alternativa práctica del cálculo.

Una importante propiedad del método de convergencia, si se consideran particiones de elementos finitos sucesivamente más finas, la solución numérica calculada converge rápidamente hacia la solución exacta del sistema de ecuaciones.” (S.A., S.f)

3.3. Manufactura Asistida por Computadora (CAM).

CAM puede ser entendido como el uso de la computadora para asistir en la manufactura o producción de una pieza o componente, excluyendo las actividades propias del diseño. CAM requiere el uso de descripciones geométricas y la programación de movimientos de herramientas a fin de generar los comandos necesarios para controlar las diferentes máquinas-herramientas involucradas en el proceso de manufactura.

En la última década se ha visto una explosión en el uso de CAD y CAM. La reducción de los costos de los equipos (Hardware) y programas (Software), en conjunción con el incremento en sofisticación, han resultado en una serie de herramientas que son usadas hoy en día por el común de los ingenieros y que solo eran accesibles a unos pocos especialistas hace solo una década atrás. (Márquez, S.f)

3.3.1. ArtCAM.

ArtCAM es un software desarrollado por la empresa Delcam, empresa fundada en 1965 en Cambridge, Inglaterra; año en que la empresa buscaba solucionar las dificultades del modelado en 3D. En el año de 1965 solo existían sistemas para crear dibujos toscos en 2º, y las computadoras que los manejaban eran gigantes. En 1972, lograron combinar las tecnologías CAD y CAM. Pero no fue hasta 1982 que se crearon computadoras más pequeñas y más potentes que facilitaron un poco la investigación y el proyecto de Delcam.

En 1993, Delcam introdujo su primer software al mercado, ArtCAM. Este software estaba enfocado principalmente en crear aplicaciones artísticas, se volvió popular en industrias de trabajo de madera, gravado y joyería. En 2014, Delcam fue comprado por Autodesk inc. Y trabajaban como filial de la empresa.

ArtCAM es un complemento de programas CAD/CAM orientado al diseño de productos artísticos y su fabricación con herramientas de maquina CNC o de grabado láser. Puede crear diseños de 2D importando imágenes o generándolas con vectores y bitmaps. También puede crear diseños de 3D importando relieves o generándolos a partir de vectores y bitmaps.

Después de crear el diseño de 2D o 3D, puede seleccionar una trayectoria de mecanizado para transformar el diseño en un producto. Una vez que ArtCAM ha calculado y generado la trayectoria, puede ser simulada, guardarla y exportar los datos a la máquina. (AUTODESK, 2017)

3.4. Aerogeneradores.

Un aerogenerador es un dispositivo que convierte la energía cinética del viento en energía eléctrica. Las palas de un aerogenerador giran entre 13 y 20 revoluciones por minuto, según su tecnología, a una velocidad constante o bien a velocidad variable, donde la velocidad del rotor varía en función de la velocidad del viento para alcanzar una mayor eficiencia. (ACCIONA, S.f)

¿Cuál es la vida media de un aerogenerador?

Los aerogeneradores tienen una vida media superior a 25 años. La rápida evolución de la tecnología del viento ha propiciado el aumento de la durabilidad de los aerogeneradores.

3.4.1. Características de un aerogenerador.

- Orientación automática

El aerogenerador se orienta automáticamente para aprovechar al máximo la energía cinética del viento, a partir de los datos registrados por la veleta y anemómetro que incorpora en la parte superior. La barquilla gira sobre una corona situada al final de la torre.

- Giro de las palas

El viento hace girar las palas, que comienzan a moverse con velocidades de viento de unos 3.5 m/s y proporcionan la máxima potencia con unos 11 m/s. Con vientos muy fuertes (25 m/s) las palas se colocan en bandera y el aerogenerador se frena para evitar tensiones excesivas.

- Multiplicación

El rotor (conjunto de tres palas engrasadas en el buje) hace girar un eje lento conectado a una multiplicadora que eleva la velocidad de giro unas 13 a unas 1500 revoluciones por minuto.

- Generación

La multiplicadora, a través del eje rápido, transfiere su energía al generador acoplado, que produce electricidad.

- Evacuación

La energía generada es conducida por el interior de la torre hasta la base y, desde allí, por línea subterránea hasta la subestación, donde se eleva su tensión para inyectarla a la red eléctrica y distribuirla a los puntos de consumo.

- Monitorización

Todas las funciones críticas del aerogenerador están monitorizadas y se supervisan desde la subestación y el centro de control, para detectar y resolver cualquier incidencia. (ACCIONA, S.f)

3.5. Análisis estructural.

El análisis estructural tiene como objetivo determinar la respuesta de las estructuras cuando estas se ven sometidas a diferentes acciones que deben soportar durante su construcción y vida útil. Se entiende por respuesta estructural, la determinación de los estados de tensión y deformación a los que la estructura va a estar sometida por efecto de los diferentes estados de carga que se consideran. La determinación de los estados de tensión es necesaria de cara a satisfacer los criterios de resistencia que establecen las correspondientes normativas y los usos de buena práctica para garantizar la seguridad de las estructuras. Por su parte la determinación de los estados de deformación suele ser necesaria para satisfacer los criterios de rigidez, que están a menudo ligados a requisitos de funcionalidad.

Las diferentes piezas que forman una estructura de barras pueden estar unidas entre sí mediante nodos articulados, que impiden los desplazamientos relativos entre las distintas barras concurrentes en él, pero permiten el giro relativo, o nodos rígidos, que no permiten ni los desplazamientos ni el giro relativo.

Se llama estructura articulada a una estructura formada por piezas prismáticas unidas entre sí mediante articulaciones como se muestra en la Figura 5. Dado que los enlaces articulados no permiten transmitir momentos flectores de unas piezas a otras, es fácil deducir que las barras de una estructura articulada trabajan básicamente a esfuerzo axial, ya que la única flexión a la que pueden estar sometidas es la debida a las cargas transversales que actúan directamente sobre ellas. Resolver una estructura articulada implica determinar el valor de los esfuerzos axiales que actúan sobre las diferentes barras. (Cervera Ruiz & Blanco Díaz , 2003)

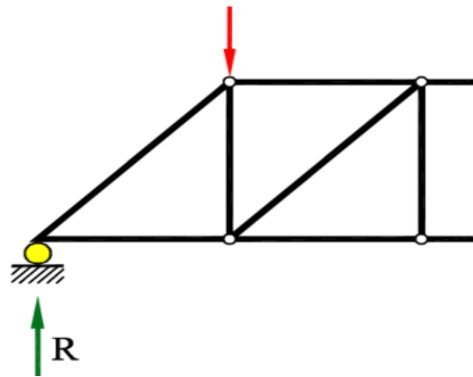


Figura 5. Estructura Articulada

Se llama estructura reticulada (Figura 6) a una estructura formada por piezas prismáticas unidas entre sí mediante nodos rígidos. Puesto que los nodos rígidos si transmiten los momentos de una barra a otra, las piezas de una estructura reticulada trabajan fundamentalmente a flexión y, en su caso también a torsión. Resolver una estructura reticulada implica, por tanto, determinar las leyes de momentos flectores, esfuerzos cortantes, esfuerzos axiales y, en su caso, momentos torsores que actúan sobre las diferentes barras. (Cervera Ruiz & Blanco Díaz , 2003)

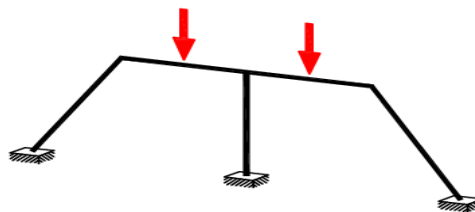


Figura 6. Estructura reticulada

4. Descripción de actividades para el diseño y construcción de DOMI y ArVIS.

4.1. Capacitación por parte de líder de proyecto.

En mi primer semana en la empresa, mi jefe directo me sometió a un examen de conocimientos de diseño, en este examen puso a prueba mi capacidad para manejar distintas herramientas de SolidWorks, la finalidad del examen era ver la velocidad con la que podía hacer piezas y ensamblarlas, además de mi capacidad para la interpretación de dicho examen.

En esta primera semana, también me dediqué a realizar actividades de manufactura, dicha actividad se realizó para saber que herramientas de taller era capaz de manejar. Al final de la semana tuvimos una plática con el dueño de la empresa para conocer a detalle los proyectos en los que estaríamos involucrados.

4.2. Diseño de partes estructurales de DOMI.

Para el diseño de las partes estructurales se comenzó haciendo propuestas para la estructura que serviría como simulador del aerogenerador, la estructura fue denominada DOMI.

En esta parte la empresa dio como parámetros una estructura que fuese desmontable o por secciones, para que al momento de ensamblar no fuese tan complicado, otro parámetro fue que al terminar de hacer las pruebas de ArVIS, esta estructura pudiera servir para otros proyectos.

Para diseñar a DOMI el líder de proyectos se basó en las grúas que son utilizadas en las construcciones de grandes edificaciones, se hicieron análisis de fatiga en SolidWorks y el diseño final dio como resultado a DOMI versión final, que se aprecia en la Figura 7.

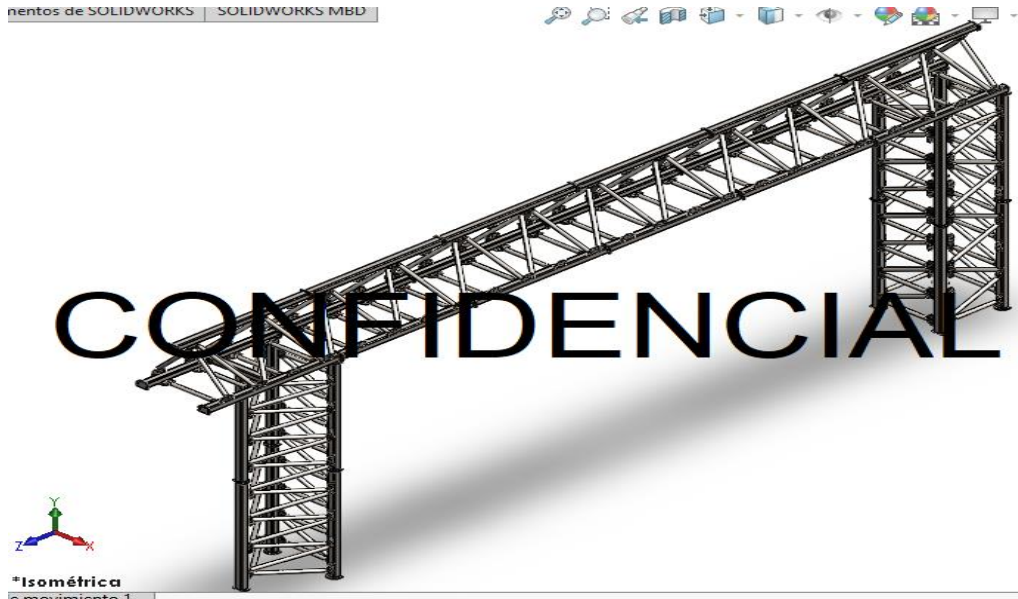


Figura 7. Estructura de DOMI

En cuanto a medidas para la estructura, la empresa solo tomó en cuenta el ancho y el largo de la canasta ArVIS, para la altura se tomó en cuenta el tamaño de las secciones de aspas que se diseñaron más adelante.

DOMI es una estructura que está conformada por PTR's de 3"x3" cal 14, tubos galvanizados de cedula 30 y 1 1/2" de diámetro, además de toda la tornillería usada para unir dichos elementos.

Este diseño nos llevó aproximadamente 1 mes, por las modificaciones que iban surgiendo, además de la búsqueda de materiales económicos pero que no perdieran sus propiedades, se hizo un levantamiento en la bodega para poder ubicar la estructura en un lugar óptimo que no afectara a los demás proyectos.

4.3. Realización de planos para manufacturar a DOMI.

Durante la última semana del primer mes y la primer semana del segundo mes. Nos dedicamos a realizar los planos para mandar a manufacturar los materiales, este proceso tardó dos semanas debido a los parámetros dados por el gerente de la empresa.

En esas dos semanas la empresa nos dio una pequeña capacitación en interpretación de planos, tolerancias dimensionales y geométricas, para la realización correcta de planos, debido a que esta tarea fue llevada a cabo completamente por los residentes. Dichos planos se muestran en el anexo 1.

4.4. Participación en el diseño de instalación de perfiles de alabes en el simulador.

Durante un mes se estuvo diseñando un alabe de aerogenerador, este alabe fue seccionado en 3 partes denominadas corte raíz (Figura 8.a), corte medio (Figura 8.b) y corte punta (Figura 8.c), estos cortes o secciones se rediseñaron para poder fabricarlas con madera y fibra de vidrio, de tal forma que fuese una sección de tamaño real, pero con materiales más ligeros.

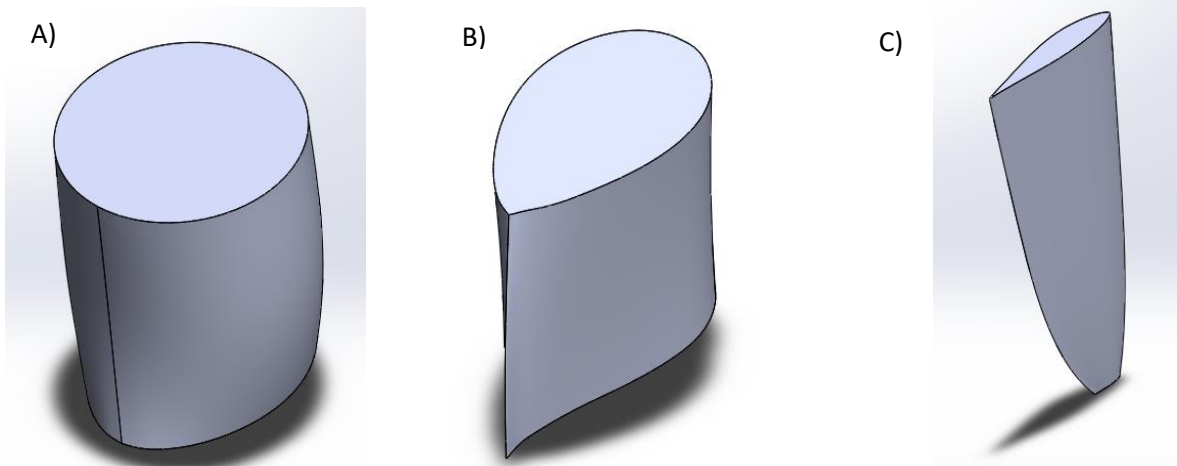


Figura 8. A) Corte raíz. B) Corte medio, C) Corte punta.

4.4.1. Corte Raíz.

Para el rediseño de la sección raíz se encargó el líder de proyectos. Para los diseños de las secciones medio y punta, se me asignó la tarea de pensar en la forma para manufacturar con ayuda de un router, de tal suerte que el perfil pudiese ser ensamblado como un rompecabezas.

4.4.2. Corte Medio.

Durante el diseño del corte medio surgió una idea para dichos parámetros y se llevó a cabo a través del software SolidWorks, y se obtuvo el CAD mostrado en la Figura 9.

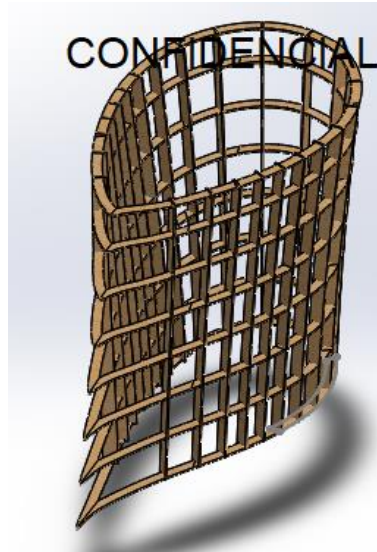


Figura 9 Corte Medio

Una vez que el diseño fue realizado y aprobado, se procedió a generar las plantillas de corte, esto para poder pasarlo a un software del tipo CAM, y así poder comenzar a cortar la madera.

4.4.3. Corte Punta.

El diseño de la punta del aerogenerador fue el más tardado debido a que es un perfil muy pequeño en comparación de la raíz y el corte medio, este diseño se hizo de varias formas para que también se pudiera manufacturar con el router.

Al finalizar el diseño y después de varias revisiones, el CAD fue aprobado, el diseño final se aprecia en la Figura 10.



Figura 10. Corte Punta

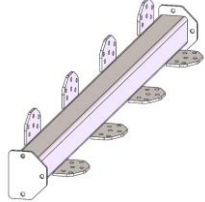
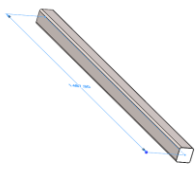
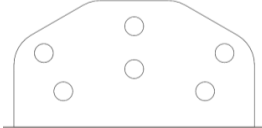
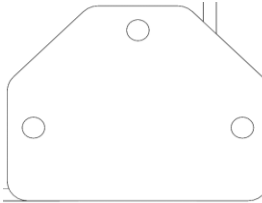
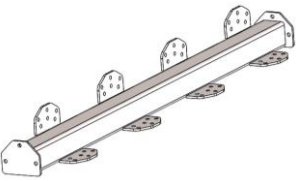
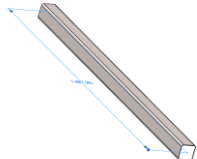
4.5. Realización de BOM de partes de DOMI.

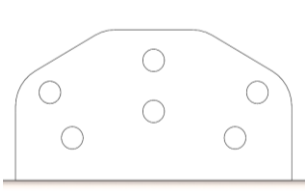
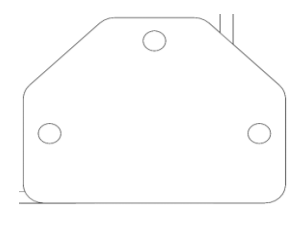
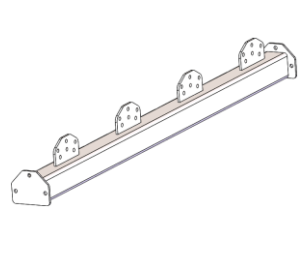
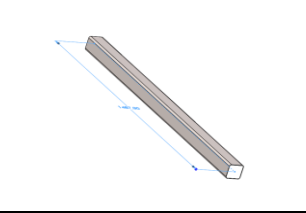
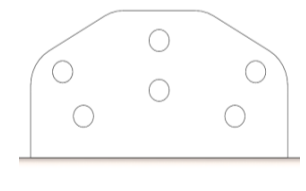
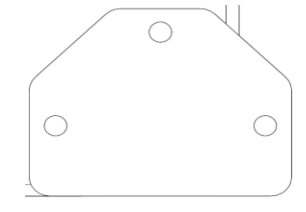
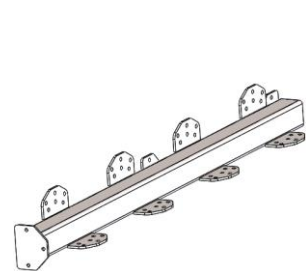
Una lista de materiales también conocida como BOM por sus siglas en inglés (Bill Of Materials), es una lista de materiales, subconjuntos, conjuntos intermedios, subcomponentes, piezas y cantidades de cada una que sean necesarias para la fabricación de un producto final.

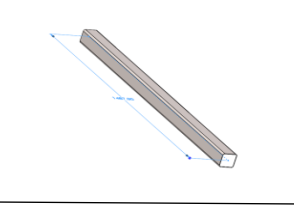
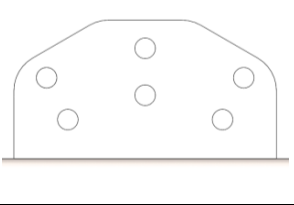
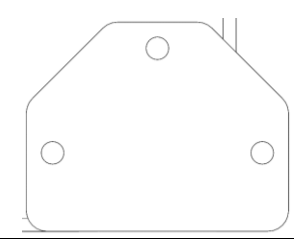
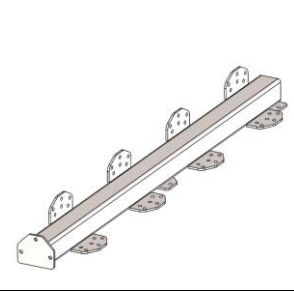
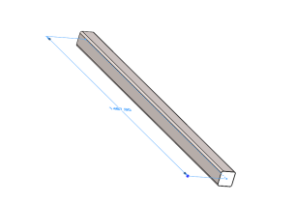
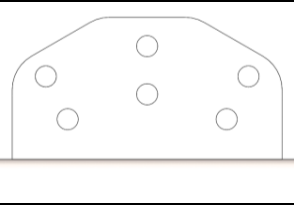
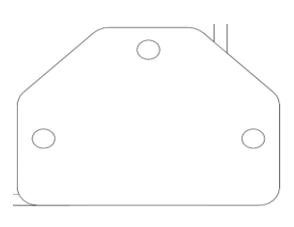
Para el proyecto de DOMI se hizo un BOM de materiales bastante extenso por el número de piezas que lo componen, desde los PTR's, los tubos y tornillería, esta lista de materiales también fue sometida a revisión por el gerente de la empresa.

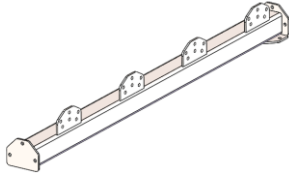
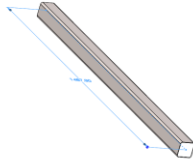
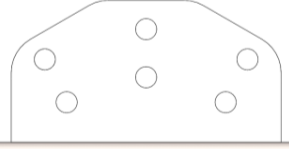
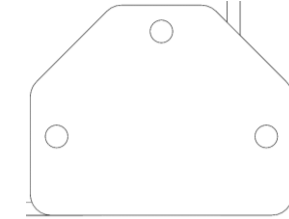
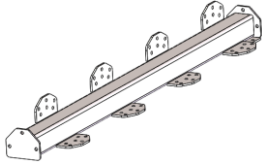
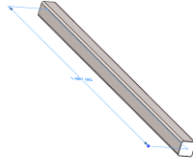
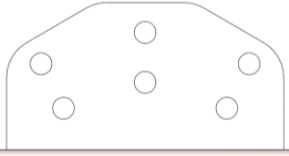
Dicha lista fue desglosada en un Excel, en donde se puede encontrar información de los materiales y los proveedores para conseguir dichos materiales, parte de esta lista se muestra en la Tabla 1

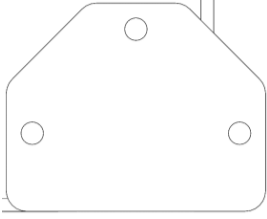
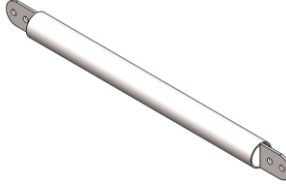
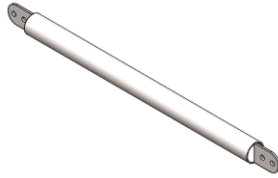


Tabla 1. BOM de piezas de DOMI

No. De parte	Sub-ensamble	Pieza	Cantidad	Medidas (mm)	Componentes
1	Poste lado derecho		10	1500	
		PTR	1	1487.3	
		Placa de conexión eslabón	8	140*74	
		Placa de conexión postes	2	127*101	
2	Poste lado izquierdo		10	1500	
		PTR	1	1487.3	

		Placa de conexión eslabón	8	140*74	
		Placa de conexión postes	2	127*101	
3	Poste triangulo		8	1500	
		PTR	1	1487.3	
		Placa de conexión eslabón	4	140*74	
		Placa de conexión postes	2	127*101	
4	Poste Horizontal derecho		1	1500	

		PTR	1	1493.65	
		Placa de conexión eslabón	8	140*74	
		Placa de conexión postes	3	127*101	
5	Poste Horizontal izquierdo		1	1500	
		PTR	1	1493.65	
		Placa de conexión eslabón	8	140*74	
		Placa de conexión postes	3	127*101	

6	Poste Horizontal derecho final		1	1500	
		PTR	1	1487.3	
		Placa de conexión eslabón	8	140*74	
		Placa de conexión postes	3	127*101	
7	Poste Horizontal izquierdo final		1	1500	
		PTR	1	1487.3	
		Placa de conexión eslabón	8	140*74	

		Placa de conexión postes	3	127*101	
8	Tubo eslabón recto		1	580	
9	Tubo eslabón diagonal		1	675.23	
10	Tubo eslabón recto con ángulo		1	710.33	
11	Tubo eslabón diagonal con ángulo		1	787.87	

4.6. Selección de procesos de manufactura para DOMI.

La selección de los procesos de manufactura para DOMI, fueron seleccionados con ayuda del gerente de la empresa y jefe inmediato, en este tiempo se fueron analizando que tipo de procesos serían los más adecuados, tanto para galvanizar, cortar y doblar los tubos, cortar las placas de acero y soldarlas en los PTR's.

Esta tarea fue una de las más tardadas debido a los métodos de galvanización que están disponibles en la ciudad, después de varias cotizaciones, se optó por el galvanizado electrolítico.

Una vez seleccionado el tipo de galvanizado, procedimos con el doblado de los tubos, esta tarea fue más sencilla puesto que hay distintas compañías dedicadas al doblado de metales, el único inconveniente fueron los tubos con ángulos. El problema se resolvió haciendo planos muy específicos.

Para la parte de corte de placas, se crearon plantillas de corte para poder cortarlas con una cortadora laser.

En el proceso de soldadura, se crearon planos con las medidas necesarias para la colocación de las placas, dichos planos se encuentran en el anexo 1. La soldadura utilizada fue E-7018-AR, esto fue decidido por la empresa.

4.7. Coordinación de instalación y manufactura de DOMI.

Para la coordinación de la instalación, la primera tarea asignada fue realizar un levantamiento en la bodega para colocar en un lugar óptimo a la estructura. Con ayuda de un flexómetro y escuadras de nivel, se fue marcando en el piso los lugares para la colocación de DOMI.

Una vez fijados dichos lugares, se procedió al conteo de tornillería, en dicho conteo se tomaron en cuenta las tuercas y rondanas como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2 Tornillería.

Piezas Totales	
Tornillos de 3/8-16 X 1.25	693
Tuercas de seguridad de 3/8-16	714
Rondanas de presión de 3/8	714
Rondanas planas de 3/8	1407

El proceso de ensamble se comenzó una vez que las partes de DOMI llegaron, este proceso fue rápido y no se tuvieron que re-trabajar las piezas, todo esto debido a la eficiente selección de procesos de manufactura y a los planos bien detallados. En las Figuras 11.a, 11.b y 11.c se muestran partes de la estructura de DOMI y como se fue armando.



Figura 11.a Ensamble al 10%



Figura 11.b Ensamble al 50%



Figura 11.c Ensamble Terminado.

Al finalizar el proceso de armado de DOMI, se Procedió con el diseño de ArVIS, este proceso fue un poco más largo debido a los distintos parámetros de diseño que la empresa impuso en el mismo.

4.8. Diseño de partes estructurales de ArVIS.

Para el diseño de ArVIS se tomó en cuenta el diseño de su versión anterior, la canasta fue diseñada de tal forma que pudiera pasar por los alabes del aerogenerador sin necesidad de ser retráctil, se tomaron medidas de un aerogenerador de 45mts de altura.

Este diseño se fue cambiando poco a poco debido al presupuesto con el que se contaba, en la Figura 12 se puede observar el diseño preliminar de ArVIS.



Figura 12. ArVIS Propuesta 1

La Propuesta 1 consistía de PTR's de 3"x2" de Acero inoxidable, pero en los análisis de fatiga se comprobó que no sería factible utilizarla para montarla en el aerogenerador. Este diseño fue descartado y se procedió a diseñar la propuesta 2 que se muestra en la Figura 13.



Figura 13. ArVIS Propuesta 2

La propuesta 2 pasó sin problemas la prueba de fatiga, fue un diseño aceptable, pero por la cantidad de materiales se tuvo que cambiar, los materiales para esta propuesta se tomaron en cuenta PTR's de 3"x2" de acero inoxidable, además de lámina de acero de calibre 14 de Acero inoxidable. Como comentario, cabe destacar que se hizo un comentario acerca de la fuerza de estancamiento que provoca el viento a determinada altura, esto nos llevó a realizar pruebas de fluidos y se obtuvo que la canastilla se deformó más allá de lo aceptado.

En la propuesta 3 mostrada en la Figura 14 se omitieron las láminas de acero de inoxidable y a los soportes laterales se le añadieron cables de acero para tener rigidez.

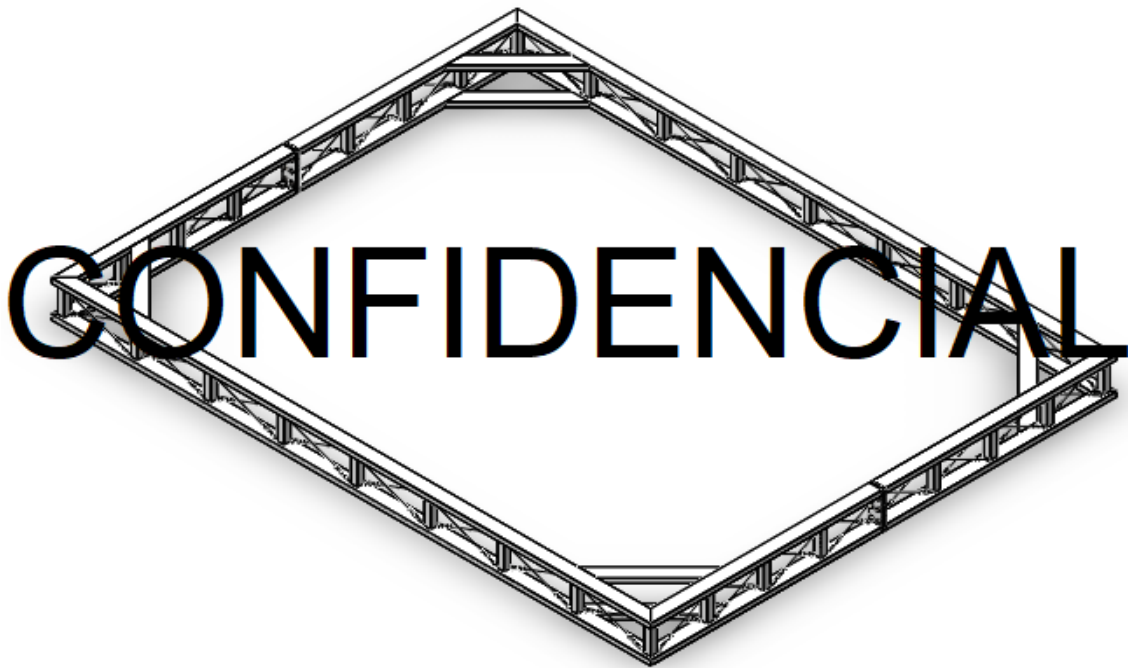


Figura 14. ArVIS Propuesta 3

Esta propuesta se sometió a pruebas de fatiga y al igual que la propuesta 2, esta canastilla fue diseñada con los mismos PTR's y los cables de acero antes mencionados.

El diseño de la propuesta 3 fue aprobado y se cotizaron materiales para este diseño, por razones del presupuesto, éste fue cambiado al diseño final de la canasta, llamado Propuesta 4 en los archivos de ArVIS.

La propuesta 4 se muestra en la figura 15 y se puede apreciar que el diseño no es muy diferente al de la propuesta 3, se redujeron el número de soportes laterales y por lo mismo la cantidad de cable de acero disminuyó, cabe mencionar que las dimensiones de la canasta quedaron intactas, siendo esta 3.5mtr de ancho x 4mts de largo x 30cm de alto.

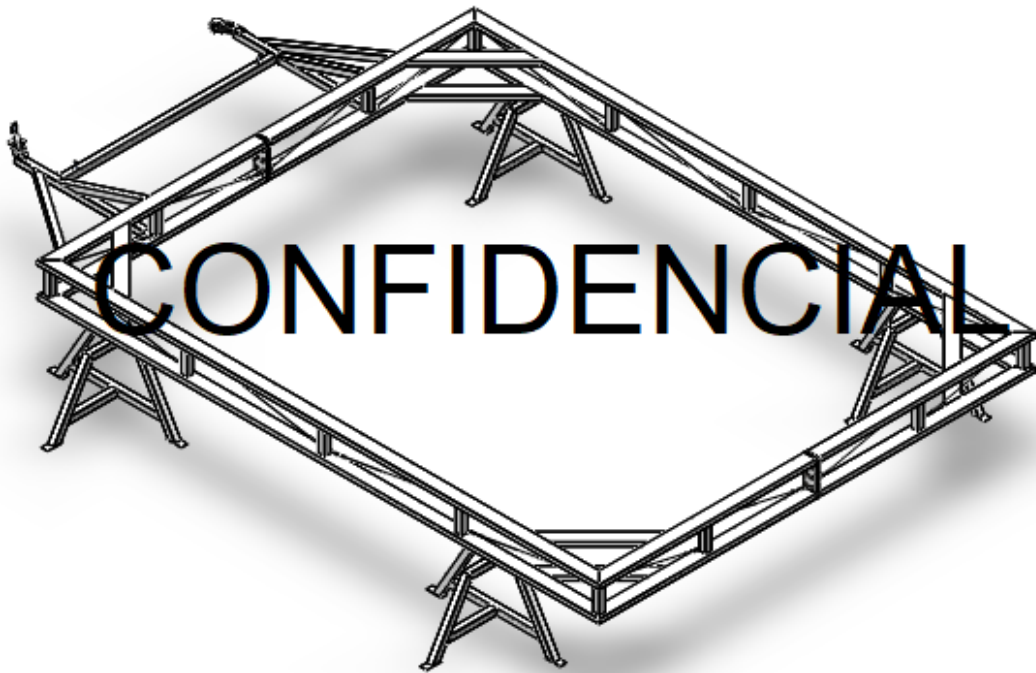


Figura 15. ArVIS Propuesta 4

A esta propuesta 4, se le añadieron 4 soportes denominados “Burros” que servirán para que la canastilla no tenga contacto con el suelo, también se le agregaron los brazos o soportes para las llantas que irán tangentes a la torre del aerogenerador.

En este diseño aún no se reflejan los componentes de inspección ni los winches para el levantamiento de la canasta, todos esos elementos se fueron agregando en la versión final de ArVIS.

Una vez que se obtuvo el modelo final y fue aprobado cumpliendo todos los parámetros, se procedió con el diseño del puente de inspección que sería montado en la canasta. En la Figura 16 se aprecia el puente.



Figura 16. Viga del Puente

La viga para el puente fue diseñada con 3 perfiles Bosch de 45x45mm, se seleccionaron los perfiles Bosch debido a que están hechos de aluminio y tienen propiedades mecánicas excelentes sin mencionar su bajo peso.

Los componentes del puente para colocar la cámara de inspección, así como el mecanismo de desplazamiento de la misma fueron propuestos por el líder de proyectos, en la Figura 17 se muestra el puente con todos los componentes ensamblados.



Figura 17. Puente Ensamblado en su totalidad.

Los componentes del puente se diseñaron de acuerdo a las especificaciones del líder de proyectos. Todos de forma estética y funcional. Dichos componentes son mencionados en el BOM de partes del puente y la canasta.

Para terminar con el diseño de ArVIS se procedió a ensamblar todos los componentes, así como diseñar algunos ajustadores para las guías lineales que harían mover a los puentes.

El diseño final de ArVIS se muestra en la Figura 18, este diseño fue aprobado para manufacturar y para hacer las pruebas en el simulador.

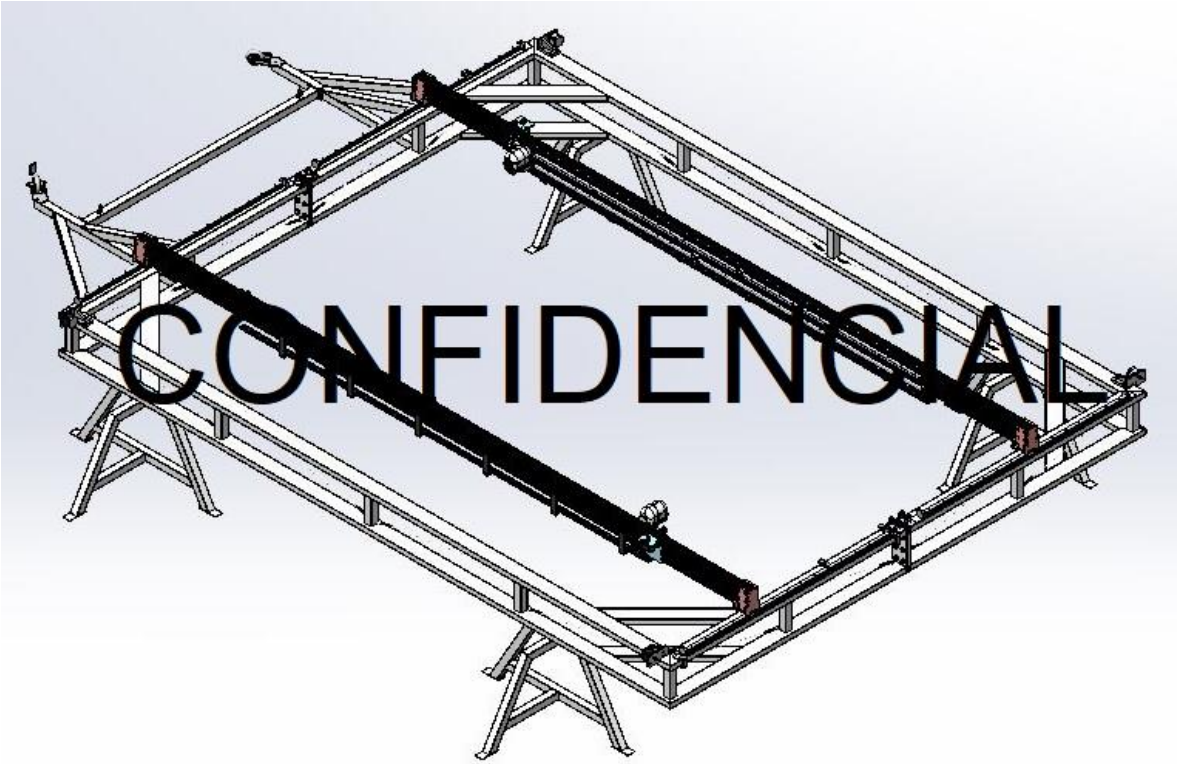


Figura 18. ArVIS

4.9. Realización de planos para manufacturar ArVIS.

La tarea de realizar los planos de ArVIS fue la más larga de todas, debido a que se realizaban planos de todas las piezas, cada que una pieza se modificaba se tenía que acotar de nuevo para que la persona encargada de la manufactura pudiera hacerla.

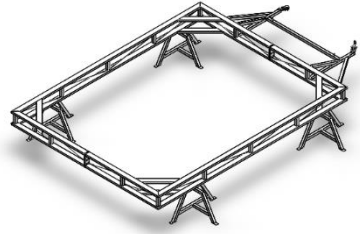
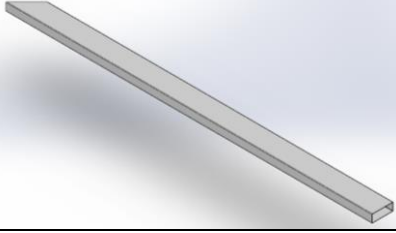

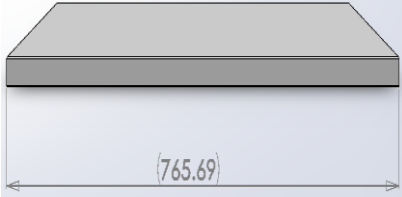
Del mismo modo que se hizo con los planos para la estructura de DOMI, estos planos se hicieron a detalle, esto para facilitar la tarea del proveedor, se realizaron muchas versiones de los planos proporcionales al número de actualizaciones de las piezas. Estos planos se pueden encontrar en el anexo 2.

4.10. Realización de BOM de Partes de ArVIS.

El BOM de partes de ArVIS fue más extenso por la cantidad de piezas involucradas, también se tomaron en cuenta que el puente tenía que tener un espejo, así como diversos elementos en la canasta.

En la Tabla 3 se muestran algunos elementos que componen la Canasta de ArVIS.

Tabla 3. BOM de partes de la Propuesta 4

No de Parte	Sub ensamble	Pieza	Cantidad	Medidas (mm)	Componentes
1	Canastilla		1		
		PTR 3*2" C14	8	1737.3	
		PTR 3*2" C14	4	4500	
		PTR 3*2" C14	8	765.69	

		CABLE DE ACERO 1/8"	64	390.7	
		REDONDO 3/16"	128	RADIO = 18	
		PLACA DE UNIÓN DE LA CANASTILLA	4	100*276	
		TENSOR	64	121.6	
		GANCHO	64		
		TORNILLO HEXAGONAL 1/2" * 1.75"	12	12.7 * 44.45	
		RONDANA PLANA 1/2"	24	12.7	
		TUERCA HEXAGONAL 1/2"	12	12.7	

La Canasta de ArVIS fue una de las partes más costosas del proyecto, debido al material empleado. Los materiales del puente se hicieron de acetal. Y la envolvente de la cámara se imprimió en 3D.

5. Resultados.

5.1. Análisis estructural de DOMI.

Para el análisis de DOMI se utilizó el software de análisis de elemento finito ANSYS. Para las cargas, se tomó en cuenta un peso aproximado de ArVIS obtenida de las propiedades físicas de SolidWorks (350kg), la gravedad y se hizo con un factor de seguridad de 2. En la figura 19.a, 19.b y 19.c se muestran los resultados del análisis.

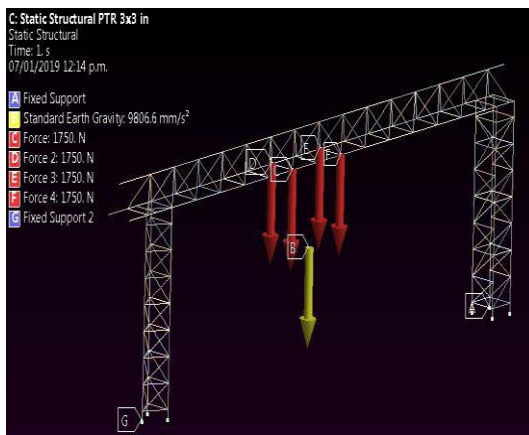


Figura 19.a. Análisis de fatiga

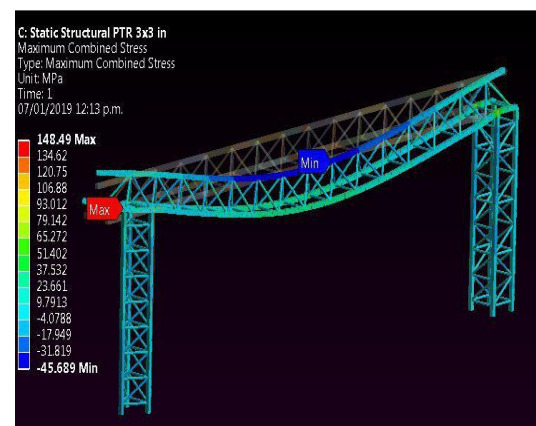


Figura 19.b Esfuerzos máximos y mínimos

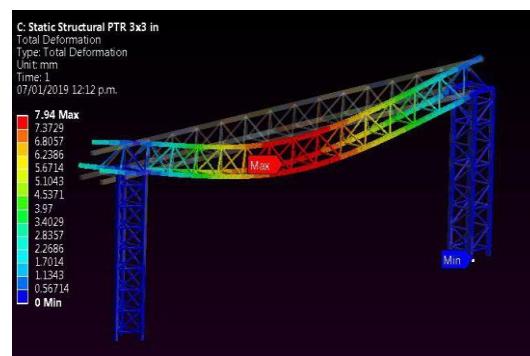


Figura 19.c. Deformación máxima

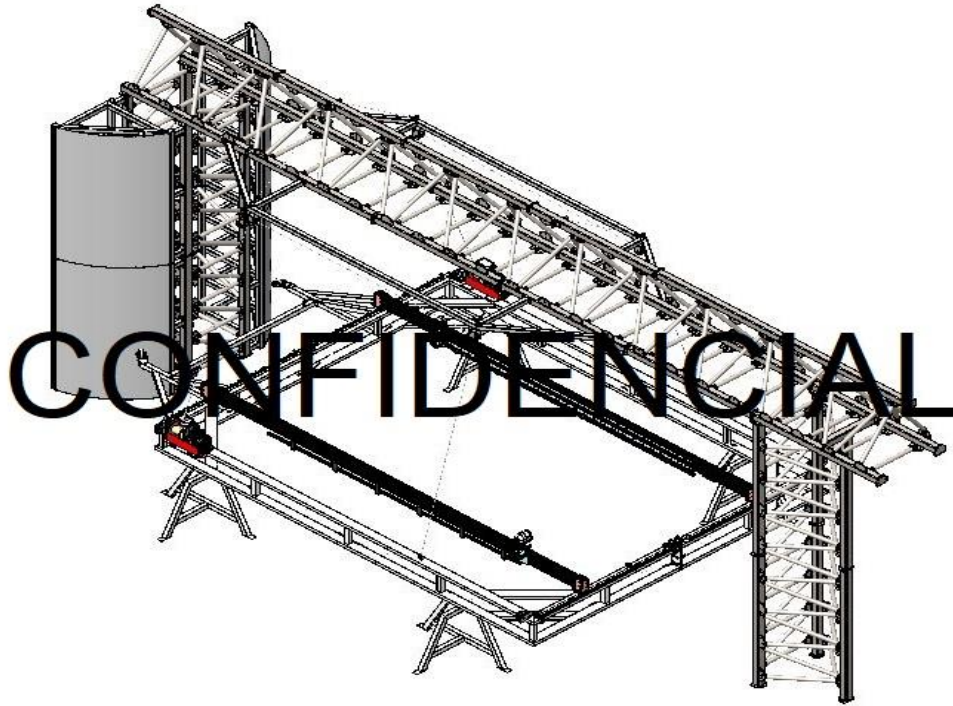


Figura 21.a Simulador y ArVIS



Figura 21.b Simulador y ArVIS semi-renderizado

La cubierta mostrada en el ensamble final, es parte de un diseño hecho por el líder de proyectos, esta representa a una sección de la torre del aerogenerador, esto para hacer pruebas en las secciones de aspa que se describieron en el capítulo 4.

En el anexo 3 se muestran las imágenes tomadas a lo largo del periodo de residencia.

6. Conclusiones.

Se cumplieron con los objetivos que la empresa pidió para el periodo de residencia, se realizaron los diseños necesarios para manufacturar todos los componentes de DOMI y ArVIS.

- El simulador de aerogenerador denominado DOMI se diseñó, manufacturó y ensambló en tiempo y forma, cada detalle se resolvió con ayuda del jefe inmediato y el gerente de la empresa. Los conocimientos adquiridos durante el diseño de DOMI serán de provecho para futuros proyectos.
- La canasta de inspección de alabes denominada ArVIS se diseñó y manufacturó hasta un 70% durante la estadía en la empresa, el proceso de ensamble no se pudo documentar debido a contratiempos con otros proyectos, en el periodo de tiempo involucrado en el proyecto se terminó el diseño al 100% y no se tuvieron inconvenientes al momento de la aprobación por parte del gerente y el dueño de la empresa.
- Se presentó una maqueta de ArVIS a alumnos de la Universidad Politécnica de Querétaro y se enviaron los reportes correspondientes al cliente de la empresa, en este caso CONACYT.

Cada objetivo fue cumplido en su totalidad y se puede decir que la residencia se concluyó con éxito para la empresa y para el alumno.

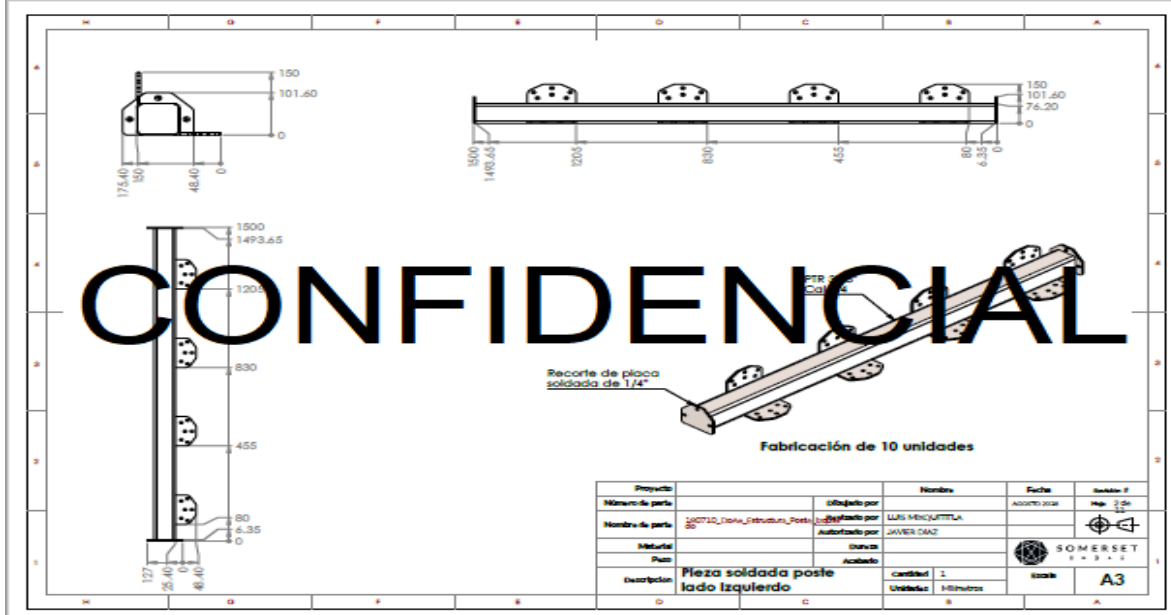
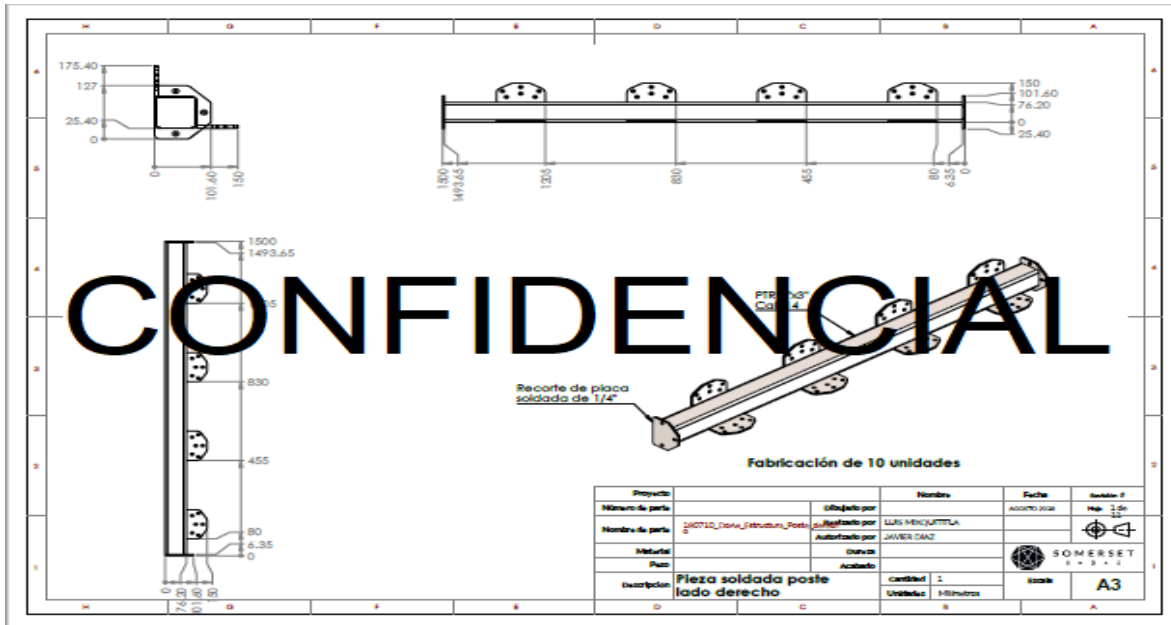
7. Referencias.

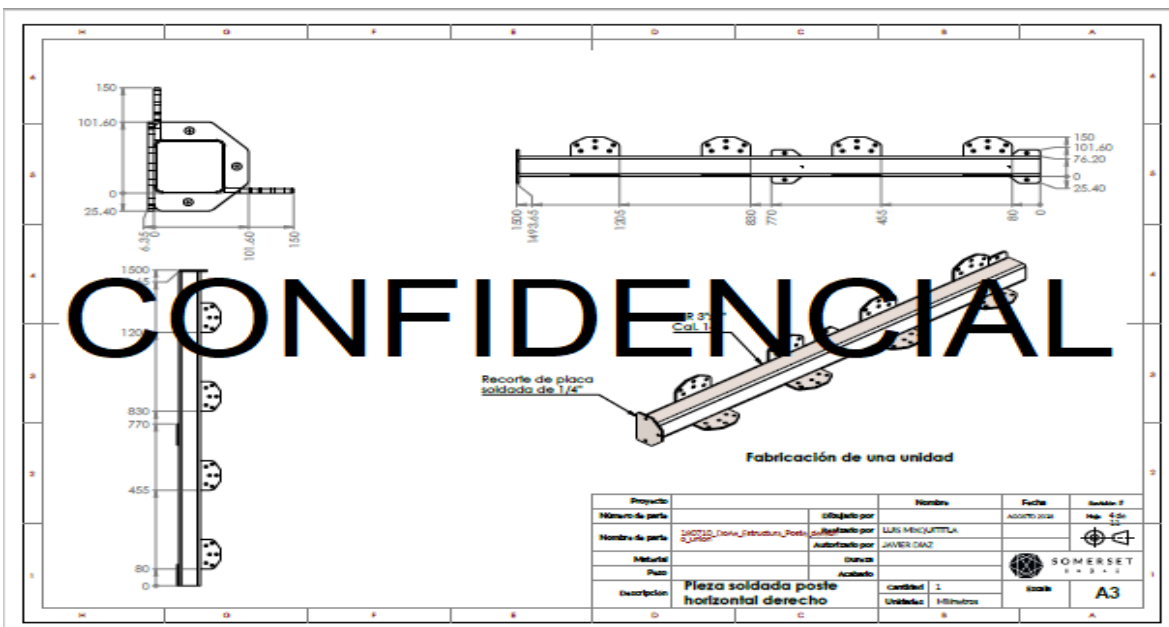
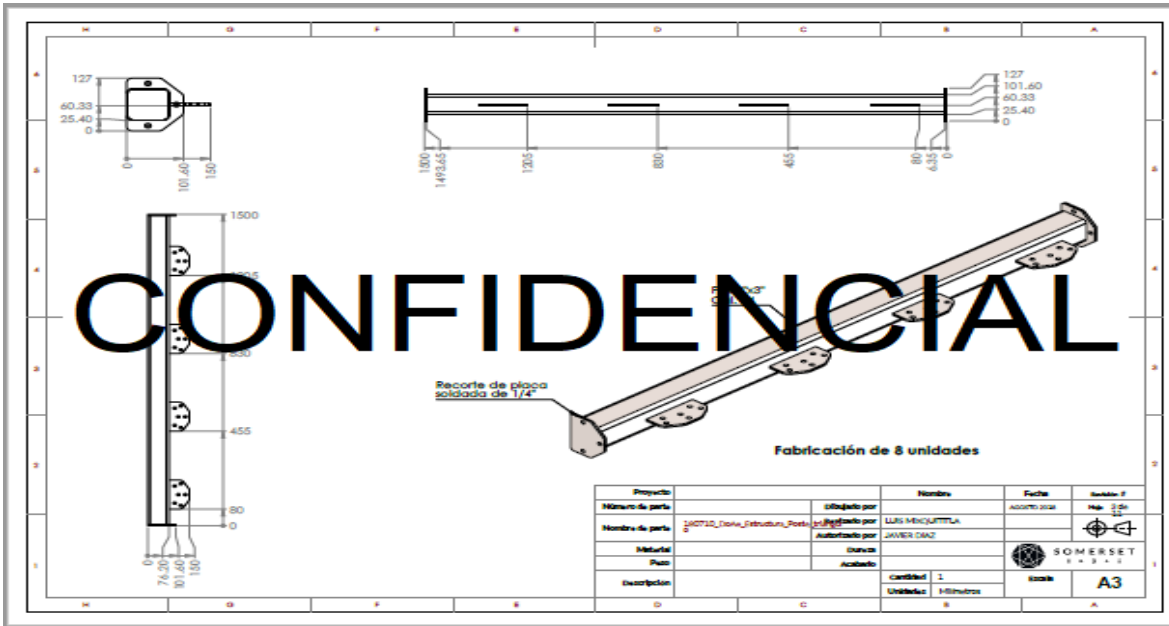
- ACCIONA. (S.f). ACCIONA. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <https://www.accion.com/es/energias-renovables/energia-eolica/aerogeneradores/>
- AUTODESK. (17 de Septiembre de 2017). AUTODESK. Recuperado el 9 de Octubre de 2018, de <https://knowledge.autodesk.com/es/support/artcam/getting-started/caas/CloudHelp/cloudhelp/2018/ESP/ARTC-GettingStarted/files/GUID-30605A4E-FC36-4D48-BE85-B41D9CD6D225-htm.html>
- Budynas, R. G., & Nisbett, J. K. (2012). *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley* (Novena ed.). (P. E. Roig Vázquez, Ed., & J. E. Murrieta Murrieta, Trad.) NY, New York, USA: Mc Graw Hill. Recuperado el 22 de Septiembre de 2018
- Cervera Ruiz, M., & Blanco Díaz , E. (2003). *Mecánica de Estructuras* (Vol. 1). Barcelona, España: Ediciones UPC. Recuperado el 27 de Octubre de 2018
- García, K. (13 de Agosto de 2018). Parque Eólico más Grande de México ya está en Operación. *El Economista*, pág. 1. Recuperado el 14 de Diciembre de 2018, de <https://www.economista.com.mx/empresas/Parque-eolico-mas-grande-de-Mexico-ya-esta-en-operacion-20180813-0034.html>
- INER. (2013). *Programa Especial para el Desarrollo de Energías Renovables*. Chiapas: S.E. Recuperado el 14 de Diciembre de 2018
- Márquez, M. (S.f). UNET. Recuperado el 6 de Octubre de 2018, de <http://www.unet.edu.ve/~mmarquez/index.php?op=723>
- May, F. (2013). *Banco de Vibraciones para Análisis de Álabes de Aerogeneradores Eólicos*. Manuscrito no publicado, Universidad Politécnica de Chiapas, Chiapas, México. Recuperado el 29 de Septiembre del 2018.
- Riodri, R. A., Muñoz Cano, L. A., Guerrero Gutiérrez, L. G., Rodríguez Bolaños , F., & Ramos Bautista, A. L. (2016). *Prospectiva de Energías Renovables 2016-2030*. SENER. México: S.E. Recuperado el 2014 de Diciembre de 2018, de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf
- S.A. (2011). S.N. Recuperado el 29 de Septiembre de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/jspui/bitstream/132.248.52.100/60/5/A5.pdf>
- S.A. (S.f). S.N. Recuperado el 29 de Septiembre de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/2548/011-MPM-Cap8-Final.pdf?sequence=11>
- SAKIRI, M. (2013). *INSPECCIÓN DE ÁLABES DE TURBINAS*. México. Recuperado el 22 de Septiembre de 2018, de <http://www.sariki.es/wpcproduct/inspeccion-de-alabes-de-turbina/>
- SENER. (2012). *PROSPECTIVAS DE ENERGÍAS RENOVABLES 2012-2026*. México: S.E. Recuperado el 14 de Diciembre de 2018

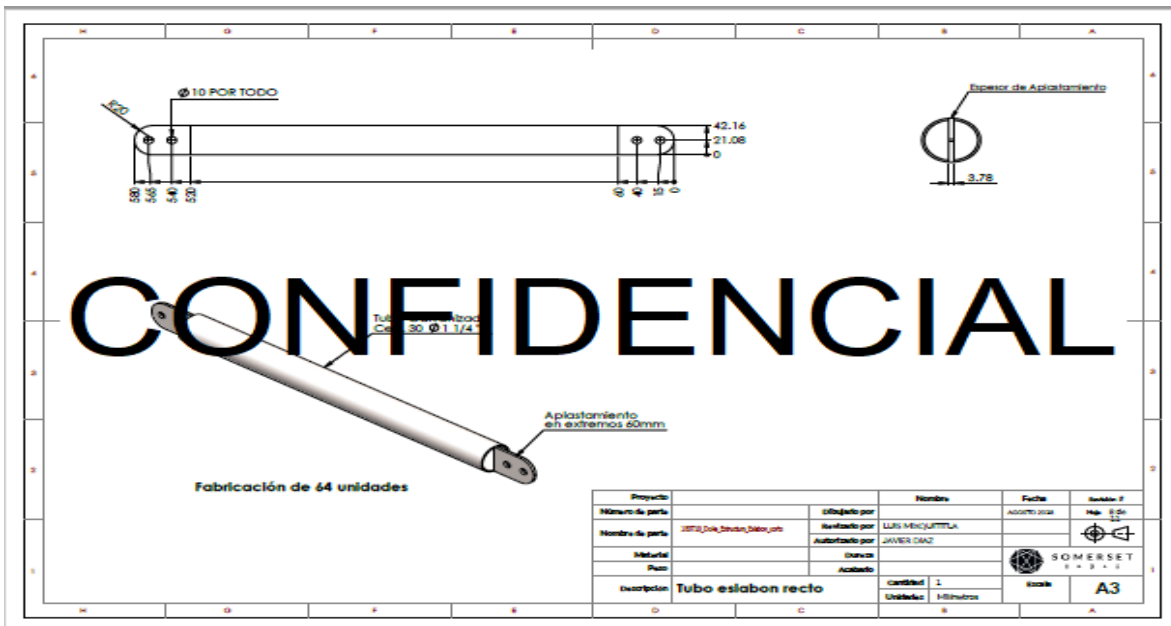
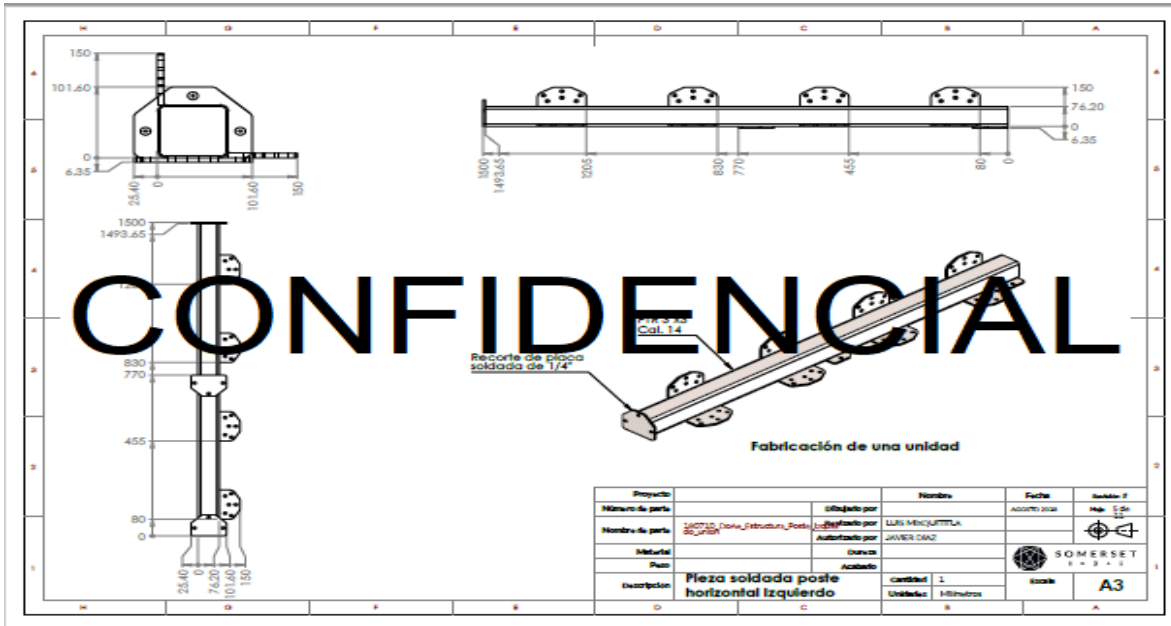
SENER. (2016). *PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES 2016-2030*. México: S. E.
Recuperado el 14 de Diciembre de 2018, de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/177622/Prospectiva_de_Energias_Renovables_2016-2030.pdf

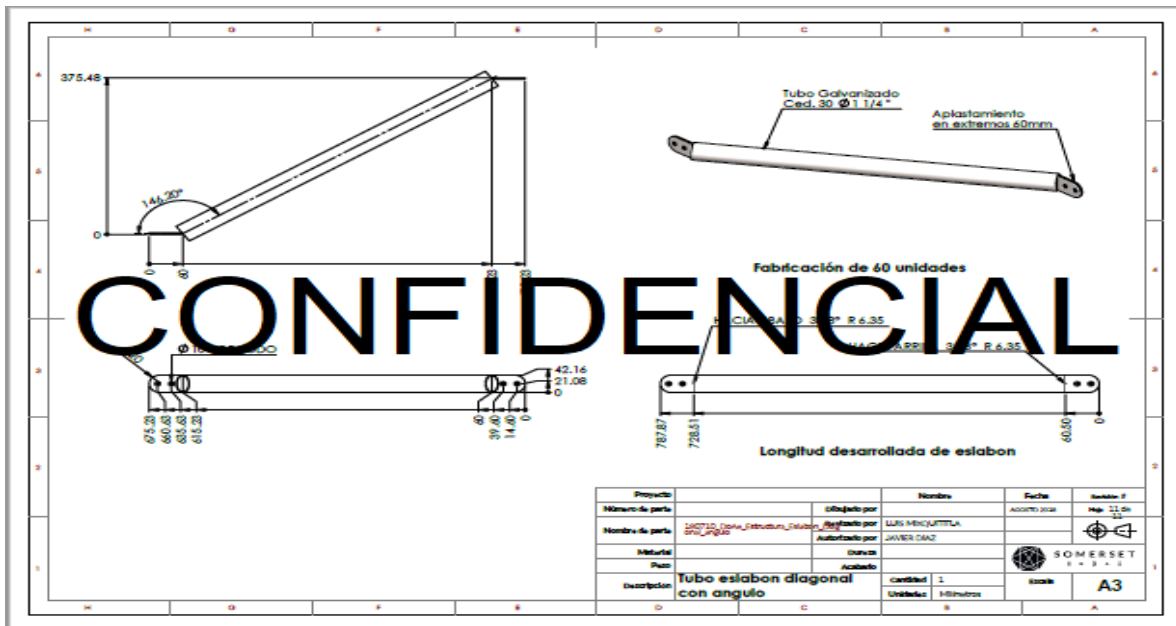
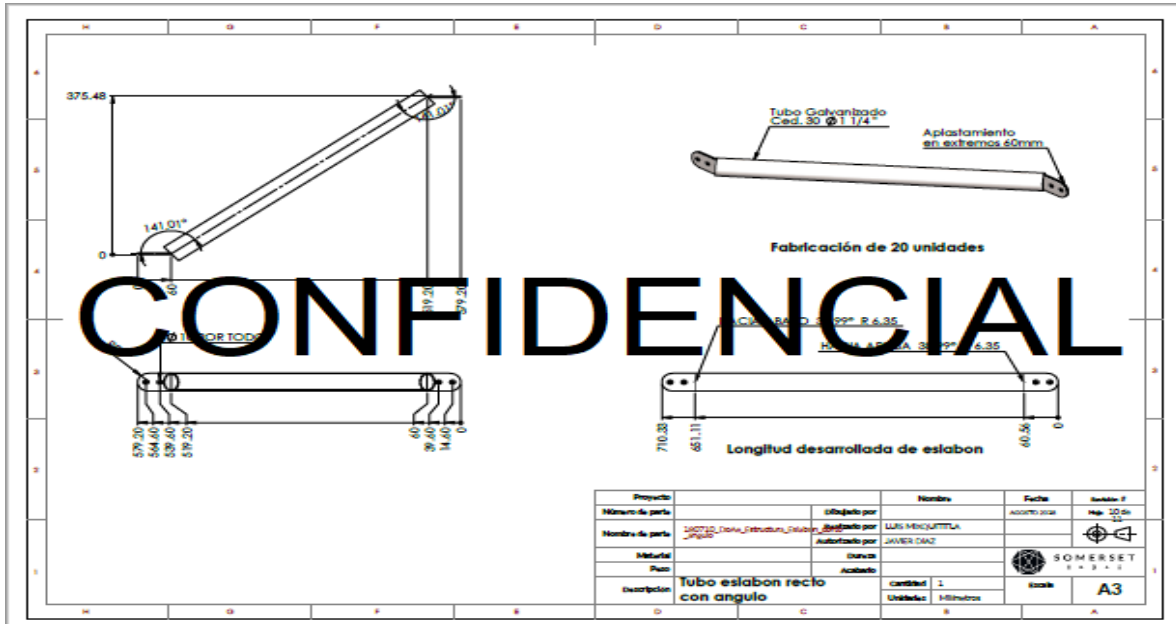
ANEXOS.

ANEXO 1. PLANOS DE DOMI

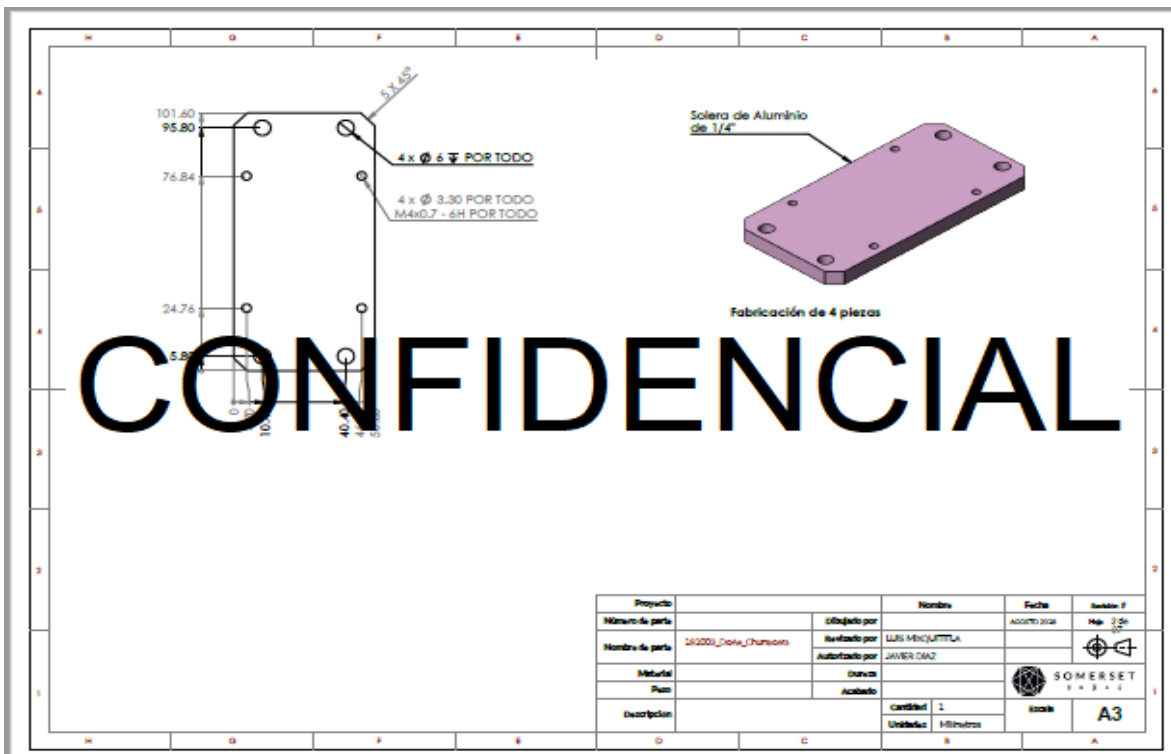
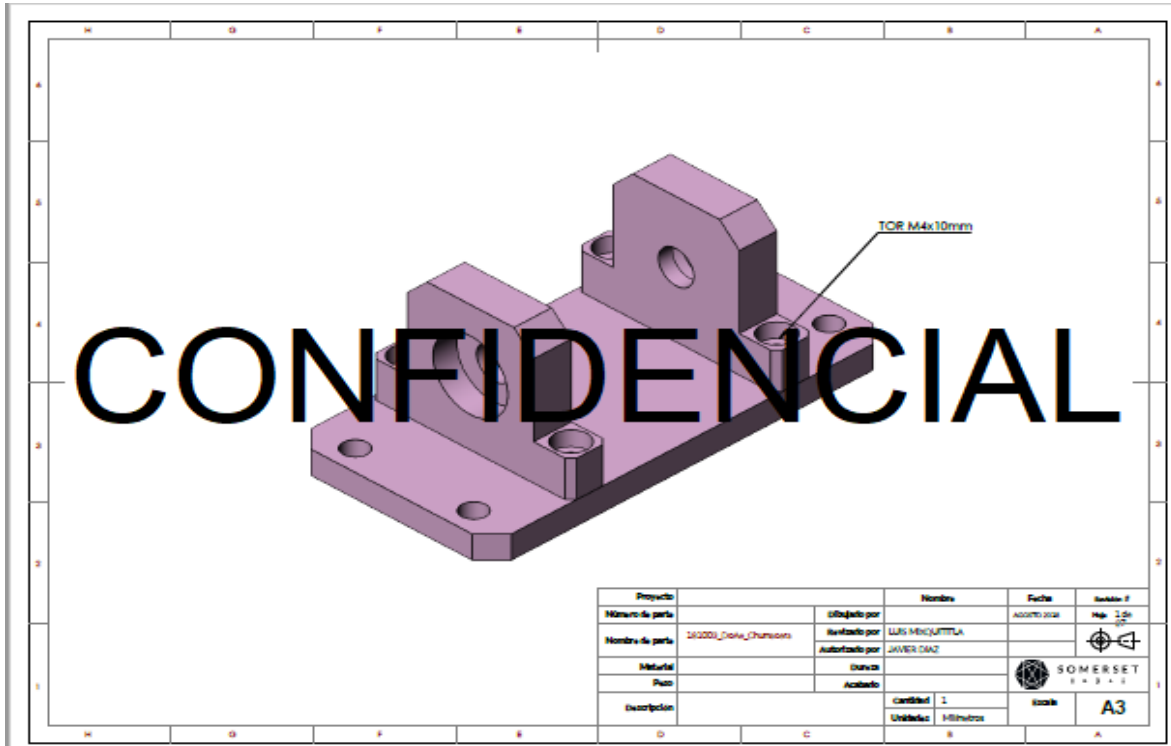


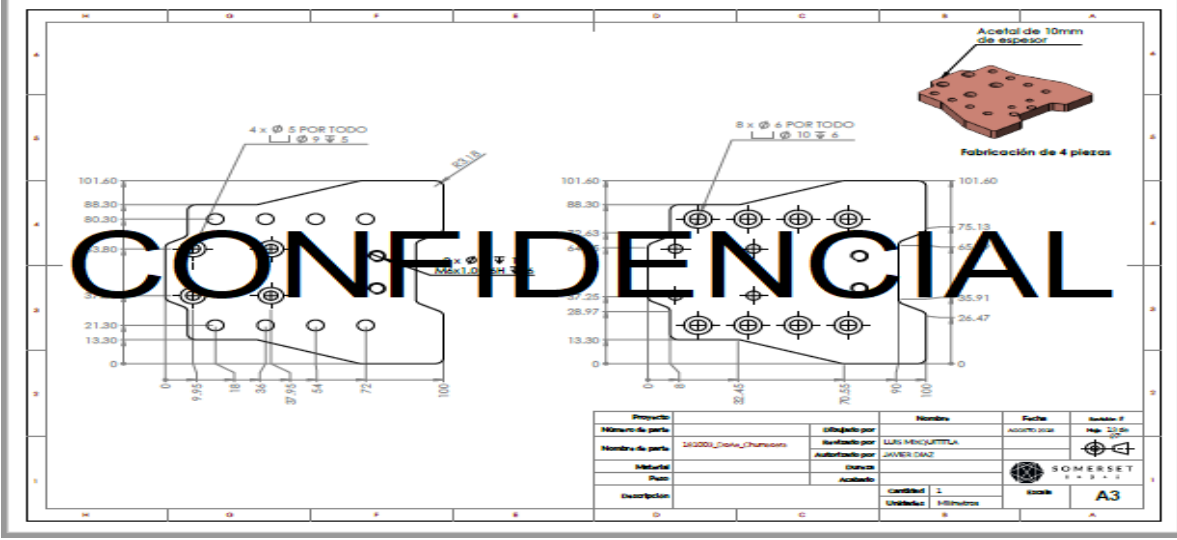
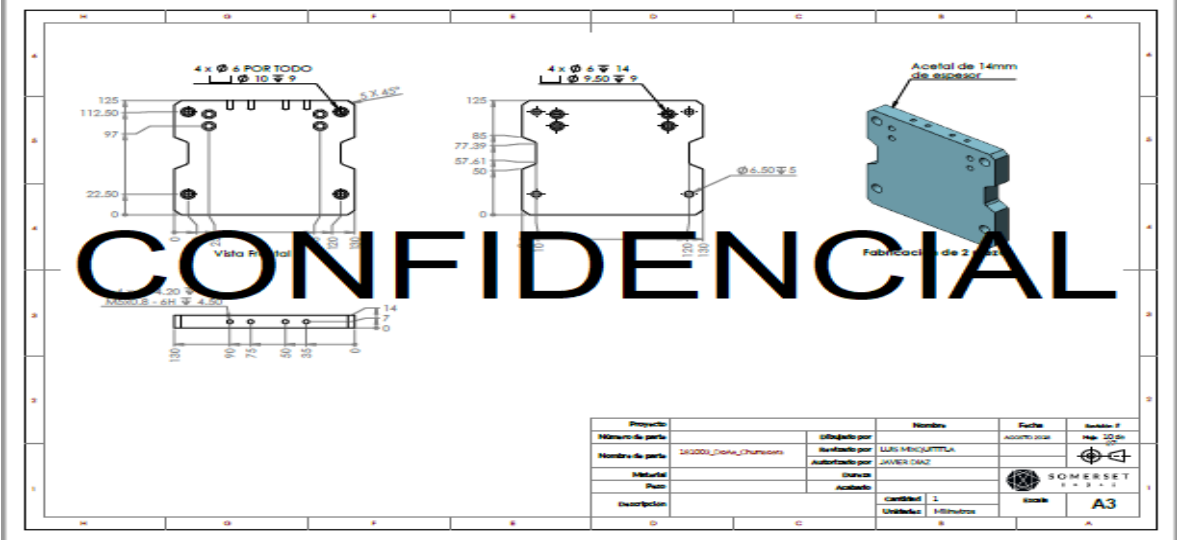
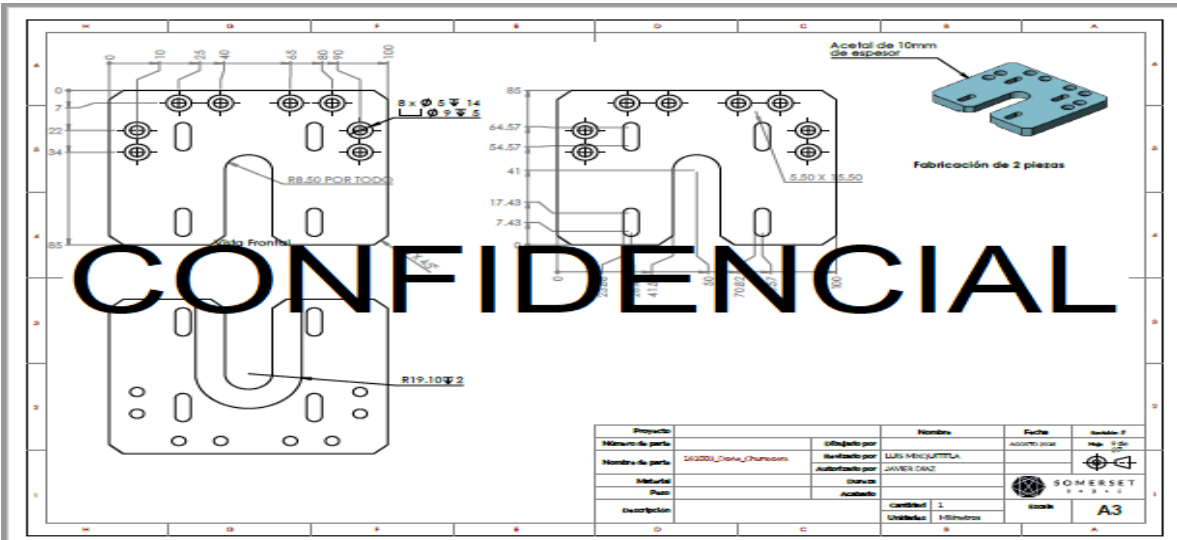


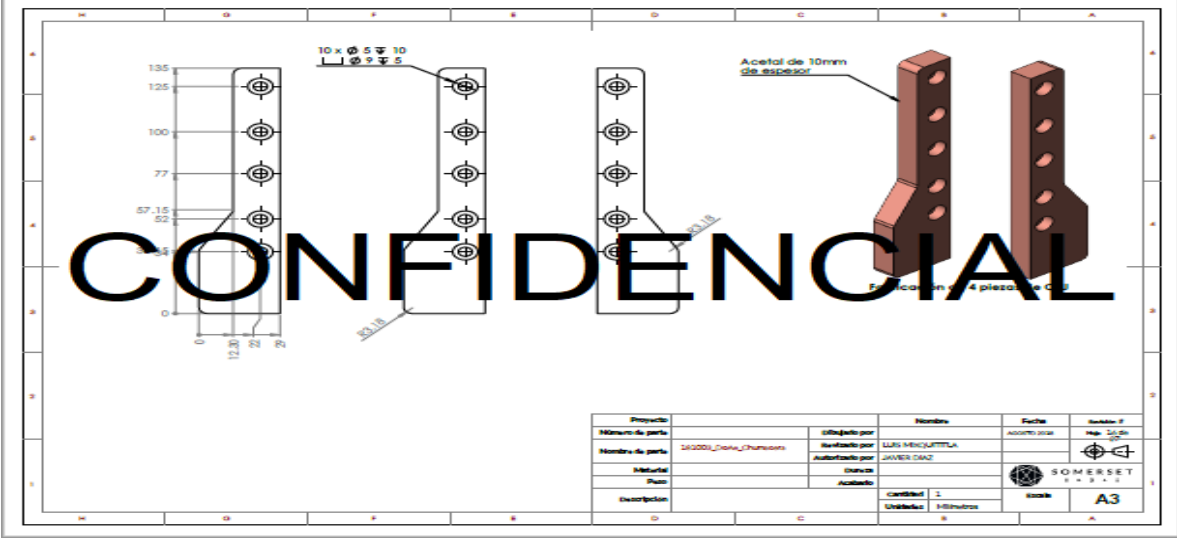
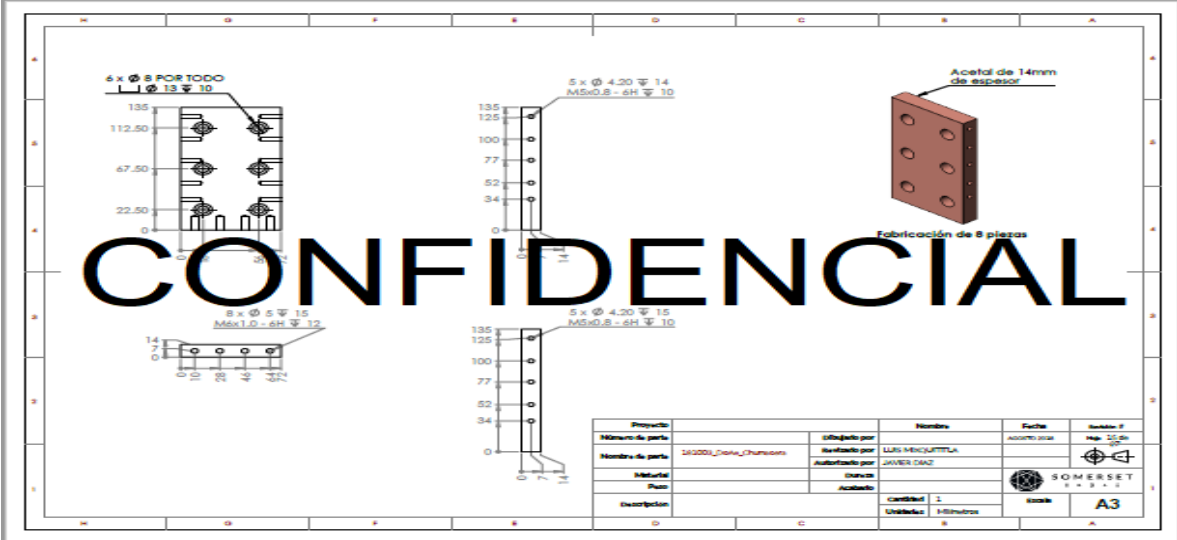
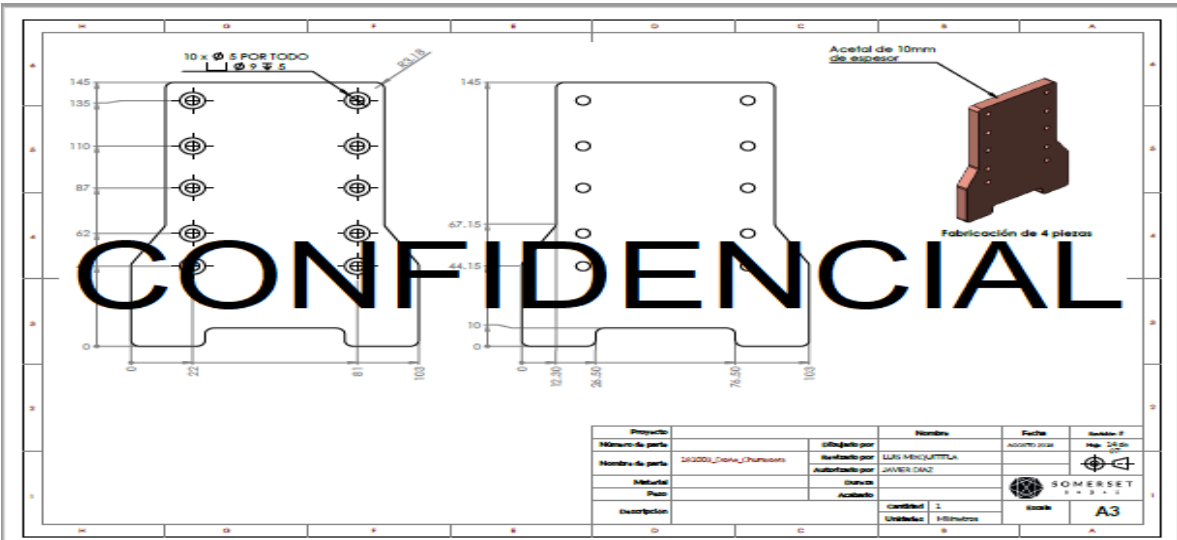




ANEXO 2. PLANOS DE ARVIS







CONFIDENCIAL

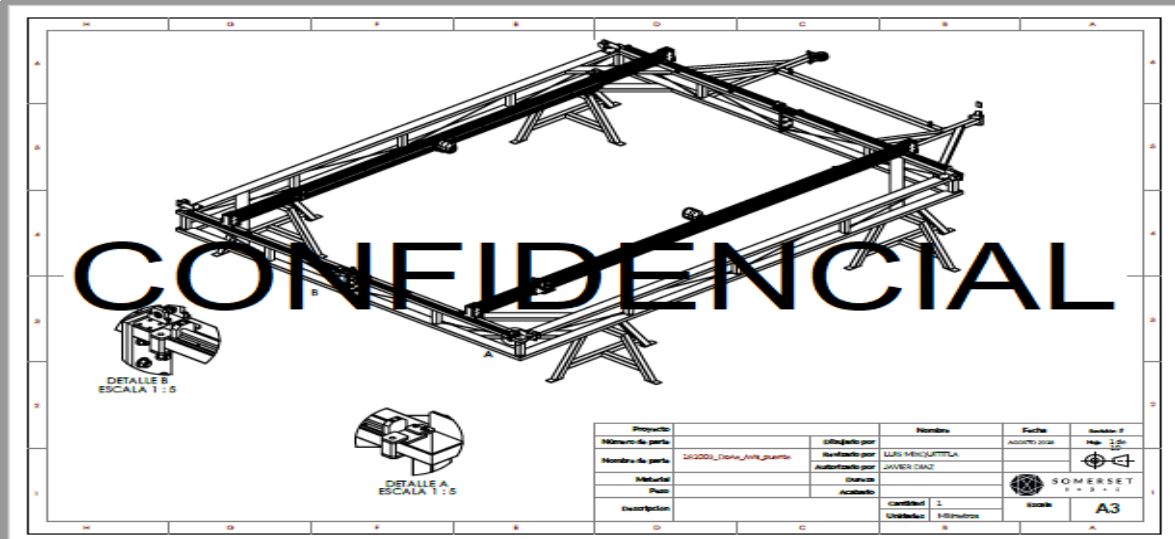
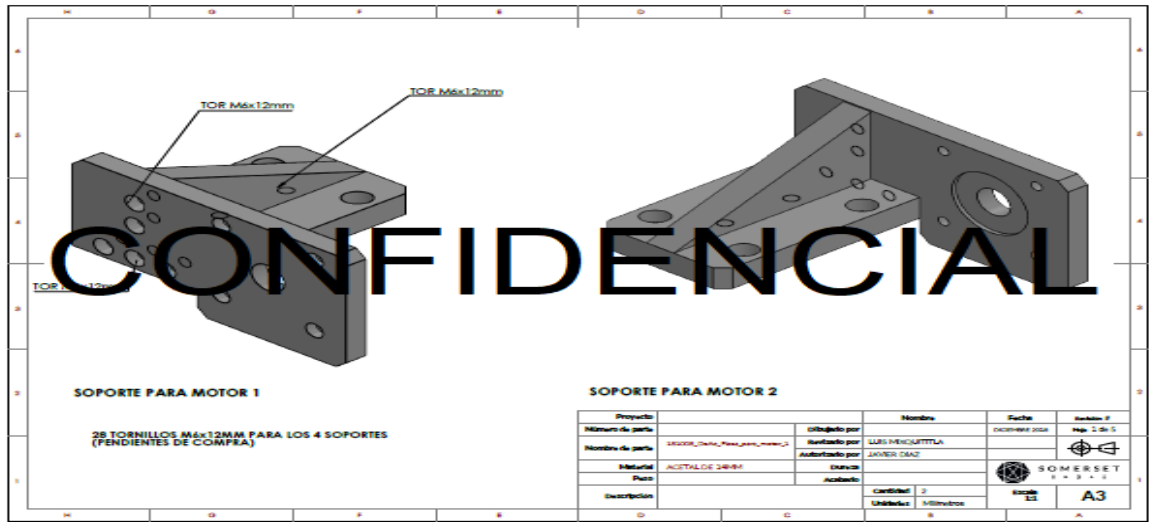
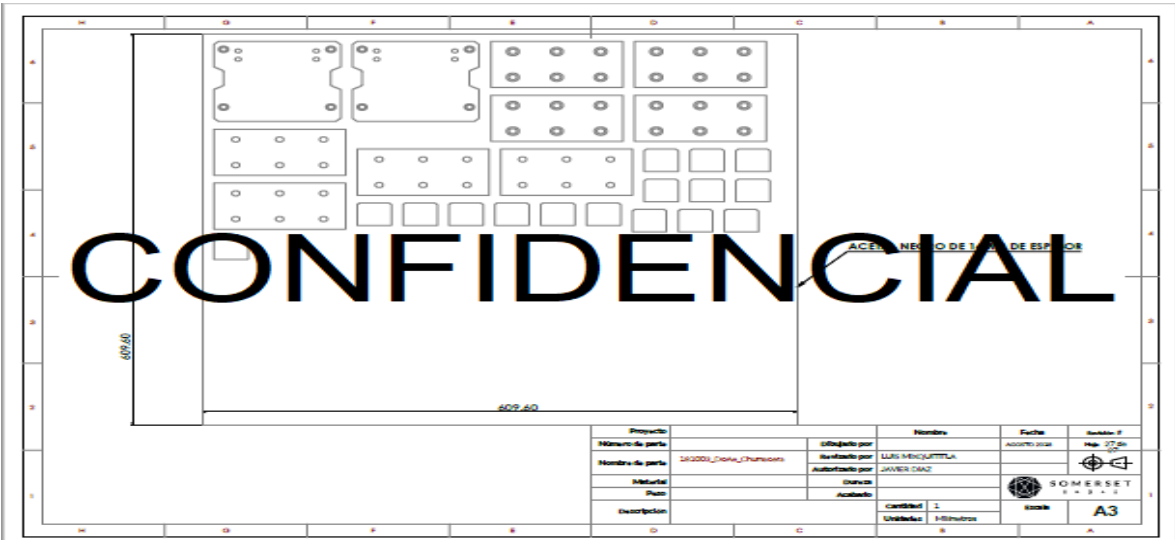
Proyecto	Nombre	Fecha	Escala
Número de parte	Elaborado por	ACOSTA 2024	1:1
Nombre de parte	Aprobado por		
Materia	Dibujado por		
Plano	Revisado por		
Descripción	Acabado		
	Cantidad	1	
	Unidades	14 piezas	
			A3

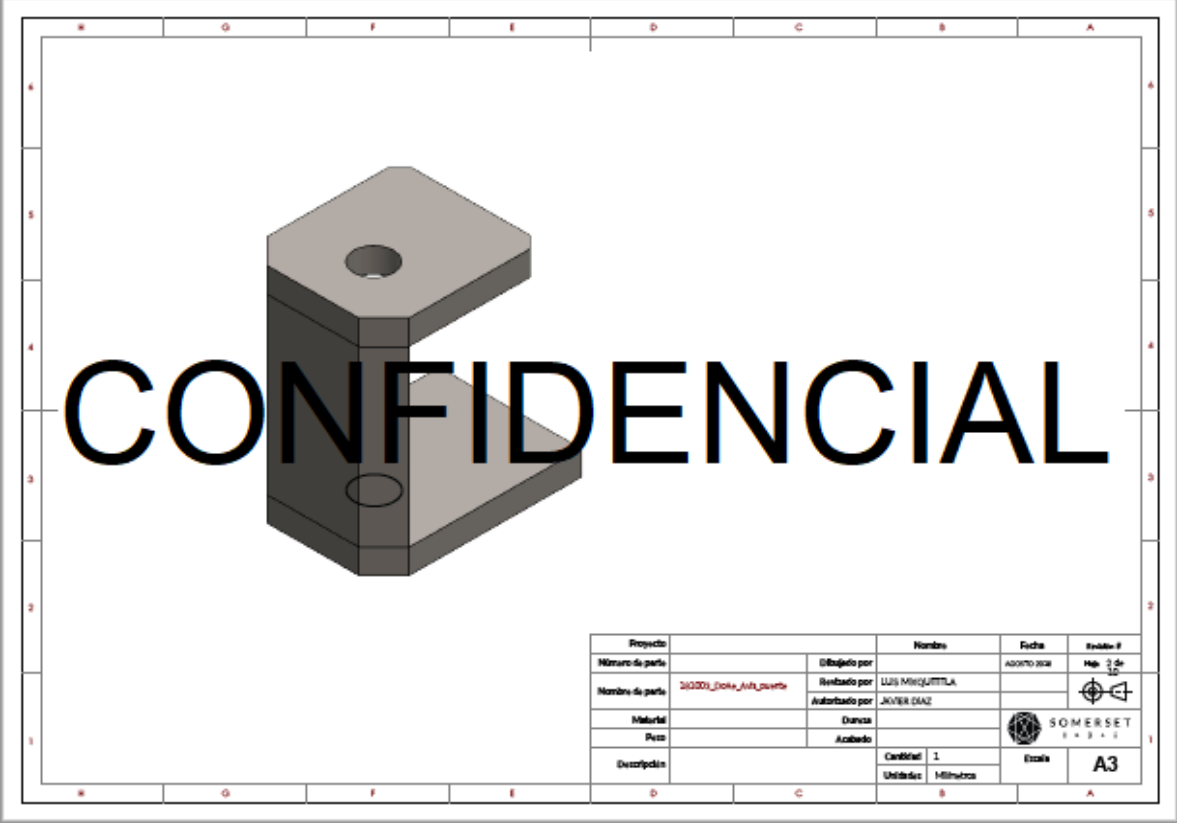
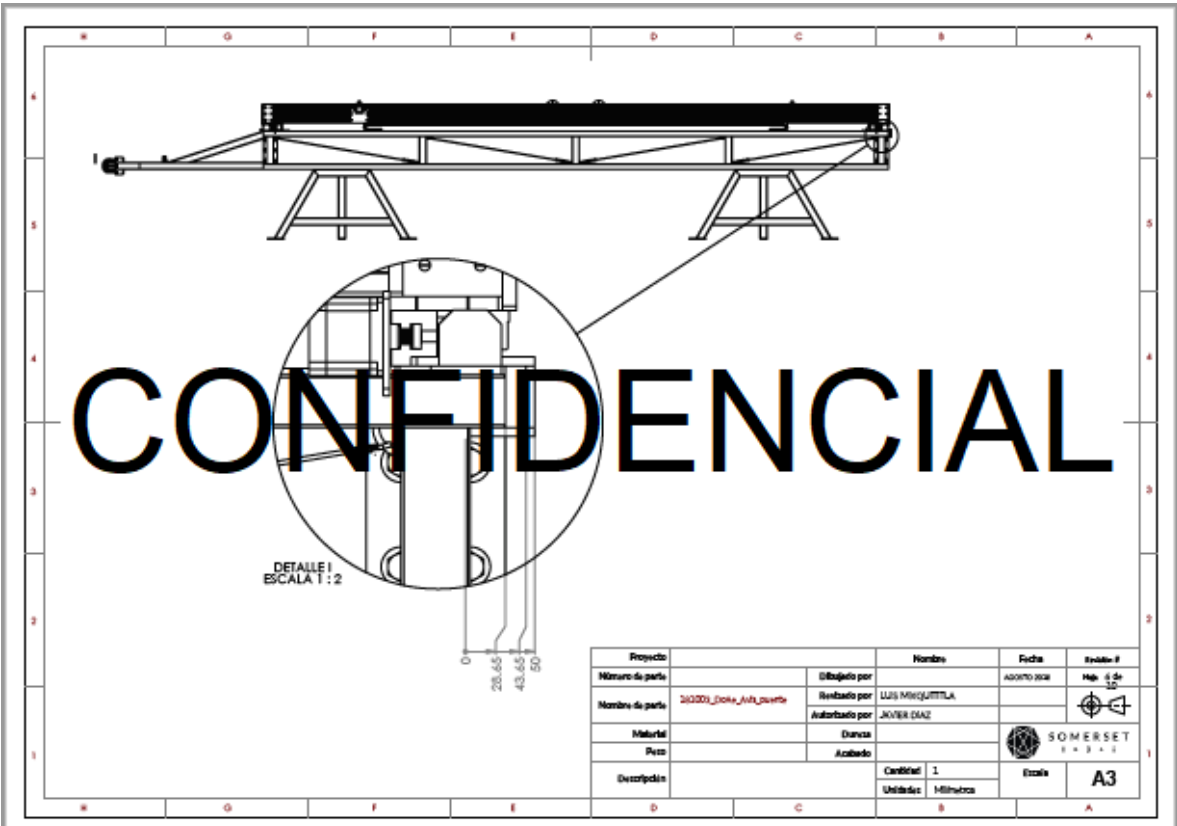
CONFIDENCIAL

Proyecto	Nombre	Fecha	Escala
Número de parte	Elaborado por	ACOSTA 2024	1:1
Nombre de parte	Aprobado por		
Materia	Dibujado por		
Plano	Revisado por		
Descripción	Acabado		
	Cantidad	1	
	Unidades	12 piezas	
			A3

CONFIDENCIAL

Proyecto	Nombre	Fecha	Escala
Número de parte	Elaborado por	ACOSTA 2024	1:1
Nombre de parte	Aprobado por		
Materia	Dibujado por		
Plano	Revisado por		
Descripción	Acabado		
	Cantidad	1	
	Unidades	12 piezas	
			A3





ANEXO 3. EVIDENCIAS DE RESIDENCIA



