ANEXO II

REPORTE FOTOGRÁFICO

El reporte muestra tres situaciones de la obra con respecto a la cantidad de agua

La primera se tomó en fecha 24 de noviembre de 2020. Es de un caudal bajo, donde no se tiene excedencia por el vertedero y se llegan a ver parcialmente los orificios de la bocatoma. Esta sesión permite revisar los componentes de la obra.

La segunda se tomó en fecha 1 de diciembre de 2020. Es un caudal mayor que la primera, tras dos días de precipitaciones. Se puede observar la cantidad de basura que ha quedado enganchada en la rejilla de protección de la bocatoma. Con este nivel más alto se tiene un exceso que cae por la zona central del vertedero, sin embargo, casi no hay agua en la escalera de peces. La abertura que da paso a la escalera de peces no tiene ningún tipo de obra de control, por lo que se puede asumir que ha sido obstruída por las ramas.

La tercera sesión es en fecha 28 de febrero de 2021. Es el mayor caudal que se ha podido observar por el autor. El día anterior se tuvieron fuertes precipitaciones. De nuevo la rejilla de la bocatoma está con muchas ramas, sin embargo, lo que llama la atención es la cantidad de agua excedente por el vertedero. En esta ocasión, toda la longitud del vertedero está en funcionamiento y la escalera de peces está totalmente cubierta.

Primera sesión

Mecanismos para la regulación de la compuerta de la bocatoma, vista de la rejilla de protección y el vertedero.

Vista de los orificios de la bocatoma. El primero aparenta estar cubierto por ramas.

Vista del vertedero de excedencias, la escalera de peces y parte de la anterior obra (al fondo, construcción de ladrillo).

Se puede observar el alto nivel de sedimentos a excepción de la entrada al orificio de la escalera de peces. También en la zona previa al cuerpo de la bocatoma.

Parte de la antigua obra, no se observó alguna relación directa con la actual, tanto en los planos como en obra.

Segunda sesión

Se puede ver que casi no hay paso de agua a la escalera de peces, aún funcionando como orificio, por ello se presume que se encuentra obstruida por ramas. La situación permite ver el estado de las paredes de hormigón en el elemento de la obra que se ve sometido a mayores velocidades (considerando que la disipación aguas abajo consiste en la roca del lugar).

Tercera sesión

Los 40 metros del vertedero están evacuando en esta situación, una lámina de agua que no aparenta ser mayor de 20 cm desde la cresta del vertedero.

ANEXO III

DATOS TÉCNICOS DE DISEÑO

(El ANEXO III es obra de la empresa en su totalidad, el autor solo ha recurrido al informe para los datos de entrada de la simulación).

DISEÑO FINAL DE LAS OBRAS

5.1. TOPOGRAFIA

Se realizó el levantamiento partiendo de un punto georeferenciado con GPS para ubicar la estación total y poder comenzar el trabajo de levantamiento topográfico.

Una vez georeferenciado la Estación Total con el punto de GPS mencionados, se procede a la medición (disparos a prismas) de distintos puntos relevantes o de importancia topográfica.

El Operador de la Estación Total, se sitúa en un lugar estratégico donde tenga una visual adecuada para observar la mayor cantidad de puntos en la franja del levantamiento.

Los operadores de Prismas (2 por Brigada), posicionan su Jalón en la mayor cantidad de puntos representativos de la topografía a levantar.

Se monumentaron puntos BM referenciados pintando en partes visibles del levantamiento topográfico, los cuales servirán para el posterior replanteo del eje y obras de drenaje ubicados en el área del proyecto.

Se relevaron:
El perfil longitudinal del eje del canal
Secciones transversales cada 20 m.
Niveles de aguas ordinarias, máximas, en quebradas y ríos, por donde pasará el eje del canal.
Elementos, puntos y zonas relevantes complementarias

Paralelamente al trabajo digital de los Equipos, se elaboran diagramas y croquis a mano alzada de los sectores levantados, para su posterior interpretación y mejor elaboración de la modelación del terreno.

Se realizó además el levantamiento detallado de los canales complementarios para la distribución del riego. Los planos a detalle del sistema de distribución complementaria del área de riego se muestran en planos bimodales, en el volumen correspondiente de planos.

5.2. HIDROLOGÍA APLICADA

Para estimar los caudales en la toma del angosto de San Luís en base a los caudales regulados en la Represa de San Jacinto, se optó por aprovechar esta información de caudales de la estación Tolomosa, para aplicar similitud hidrológica entre cuencas.

Para la estimación de los caudales anuales, se toma en cuenta las características particulares de la cuenca, como ser: la vegetación, geología, régimen pluviométrico, características geomorfológicas, etc. Método indirecto utilizado por el estudio de Factibilidad para el aprovechamiento de los recursos hídricos de la alta cuenca del Río Bermejo y Río Grande de Tarija.

Como lluvia Media anual representativa de la cuenca se toma el promedio de las Subzonas IA y IB de lluvias medias anuales.

5.2.1. CAUDALES MÁXIMOS

Rió Guadalquivir.-

En una primera instancia, se efectúo el cálculo de los caudales por el método denominado RACIONAL, aplicando:

$$Q = C\ I\ A/3.6$$

Donde:

Q = Caudal en m3/s

I = Intensidad de lluvia m m/h

A = Area de la cuenca en Km2

Tc= 7 hr.

C = Coeficiente que depende de las características del área de drenaje.

Datos:

I= 14 mm/hr.(periodo de retorno de 100 años)

A= 1536 km2

C= 0.40

Q= 2.389,00 m3/seg

Formula del análisis regional de frecuencias:

Formula determinada en un trabajo de tesis para el valle central de Tarija, fue determinada mediante la relación de lluvia media anual y área de la cuenca, en sub – cuencas de la cuenca que pertenece cuenca en estudio.

Q=2.8277*10-7 * A0.83 * R2.2977

Donde:

Q= Caudal máximo medio anual en m3/seg.

A= Area de la cuenca en Km2

R= Precipitación media anual en mm

Remplazando datos se tiene:

$$Q=2.8277*10\text{-}7 * 1560.540.83 * 670.112.2977= 393.99 \text{ m3/seg}$$

Ahora bien, el coeficiente de variación regional estimado para la zona se adopta 0.86, luego la desviación típica es:

$$Sd = 0.86 * 393.99 = 338.83$$

Empleando la ecuación de Ven Te Choow para el análisis de frecuencia y el modelo de distribución de probabilidades de GUMBEL, se tiene:

$$Qt = Q + Kd * Sd$$

Siendo Kd el factor de frecuencia que depende del periodo de retorno y del modelo adoptado es decir de GUMBEL.

Finalmente, los valores del caudal para los periodos de retorno T respectivos se muestran el cuadro siguiente:

CUADRO Nº 5.1

Caudales máximos (en m3/seg.)

para diferentes periodos de retorno

T (años)	K d	Q (m3/seg.)
25	2.04	1.085,20
50	2.59	1.271,56
100	3.14	1.457,92

Para el diseño de las obras se usa el caudal máximo para un periodo de retorno de 100 años.

A continuación se presenta un cuadro resumen de caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años.

Relacionando las cuencas que se tiene datos con la cuenca del río Guadalquivir se tiene:

CUADRO Nº 5.2.

Caudales en m3/seg.

MÉTODO		
(años)	Racional	Regional
100	2.389,33	1.457,92

Adoptamos como el caudal de diseño para el rió Guadalquivir a la altura de la obra de toma Angosto de San Luís:

Q Diseño = 2.500 m3/ seg

5.3. DISEÑO HIDRÁULICO Y ESTRUCTURAL DE OBRAS

Las características del diseño están basadas en la disponibilidad del recurso agua, la situación topográfica y el uso de las tierras agropecuarias; está planteada con una tecnología sencilla,

con el menor costo posible, asegurando la estabilidad y funcionalidad del sistema, bajo los principios del desarrollo sostenible y sustentable.

El diseño de todos los elementos de hormigón armado, incluyendo todas las obras de arte, fueron diseñados conforme especificaciones de la Norma Boliviana del Hormigón Armado (CBH-87).

Para asegurar la correspondencia del diseño de los canales primarios, en todos sus componentes, se efectuó en forma teórica, el replanteo de las obras, en referencia a la monumentación, y otros elementos de guía topográfica, que fueron medidos, archivados electrónicamente y presentados en gráficos; para una inmediata y directa utilización en el posicionamiento, durante la etapa constructiva.

Todos los precios unitarios, para cada ítem constructivo de la obra, se estiman considerando los componentes básicos: costos directos e indirectos.

Se cuida que la preparación del presupuesto esté elaborada de tal forma que la obra pueda ser licitada por componentes y contiene los resultados de las cantidades estimadas de las distintas unidades de obra, sus precios unitarios y precios totales.

Las especificaciones técnicas están redactadas en forma precisa y concreta, se limitan a las características exigidas de los insumos (materiales, mano de obra, herramientas y equipo requerido para la construcción), los procesos y detalles de ejecución, así como de los ensayos ó pruebas necesarias para la constatación de su calidad.

5.3.1. DISEÑO DE LA OBRA DE TOMA TIPO PRESA DERIVADORA

5.3.1.1. Diseño hidráulico

a) Características del vertedero:

El tipo de vertedero a utilizar será el tipo Cimacio, cuya forma de la cresta se aproxima a la superficie inferior de la lámina de agua que cae por un vertedero de pared delgada.

Sobre la base de los datos del U.S. Bureau of Reclamation, el cuerpo de ingenieros de los EE.UU ha desarrollado varias formas estándar, las cuales se representan por la siguiente ecuación:

$$Y^n = k * Hd^{n-1} * X$$

Donde X e Y son las coordenadas del perfil de la cresta, con el origen en su punto más alto, Hd es la carga de diseño excluyendo la carga de velocidad del flujo de aproximación, cuando la pendiente aguas arriba del talud es vertical, la ecuación se transforma en:

$$Y^{1,85} = 2,0 * Hd^{0,85} * X$$

b) Calculo de la obra de toma:

Haciendo que funcione como vertedero
Las dimensiones del vertedero se determinaron mediante la fórmula:

$$Q = s * M * L * a^{\frac{3}{2}}$$

$$M = \left(1.794 + \frac{0.0133}{H}\right) * \left(1 + 055 * \left(\frac{H}{H + Y1}\right)^2\right) \qquad s = \left(1 - \left(\frac{hn}{H}\right)^{\frac{3}{2}}\right)^{0.385}$$

$$Q = K * M * L * a^{\frac{3}{2}}$$

Donde:

Q = caudal de derivación, en m^3/seg
s = Coeficiente de cálculo según BAZIN (adimensional)
M = Coeficiente de cálculo según BAZIN (adimensional)
L = Longitud del vertedero (m)

a = Altura del vertedero (m)

K = Coeficiente de seguridad por obstrucción (K=0.55)

A continuación se presenta el resumen de dimensiones de la obra de toma:

Alto: 1.50 m

Ancho: 2.00m

c) Descripción de la presa

La presa de derivación es una estructura de 4.50 m de altura máxima y estará construida en hormigón ciclópeo, implantada en toda su extensión en fundación de roca a una profundidad de 1.00 m. El ancho de la presa es de 46.0 m, tiene una compuerta de purga o limpieza incorporado en el margen izquierdo cuyas dimensiones son 1.20 x 2.20m, (de madera tipo agujas) y está diseñado para un caudal de crecida de 2500 m3/s (100 años).

El nivel de la corona del vertedero es 1811.50 m.s.n.m., el ancho aproximado es de 2.40 m, y al pie cuenta con un pozo de disipación de la energía construido en hormigón ciclópeo con revestimiento de piedra con una longitud de 10 m y una profundidad de 0.50 m (pozo de disipación). La altura de la lámina de crecida es igual a 6.70 m, con un bordo libre de 0,80 m, entonces los muros de cierre con las márgenes tendrán como nivel de coronamiento 1819.20 m.s.n.m.

El cálculo estructural considera las fuerzas del peso propio, la hidrostática aguas arriba y aguas abajo, la supresión y la solidez de las fundaciones. La unión del cuerpo de la presa con la roca de fundación tiene un desarrollo rugoso para mejorar el ángulo de fricción. Los resultados dan un coeficiente de seguridad al vuelco igual a 2.22 (> a 1.20 admisible) y un coeficiente al deslizamiento igual a 1.23 (> 1.2 admisible).

Para evitar la destrucción del perfil del vertedero por el paso de material de arrastre, se protegerá la superficie del mismo con perfiles metálicos similares a los rieles, que estarán anclados en el cuerpo de la presa, separados en planta cada 0.5 m

d) Descripción de la Obra de toma

La obra de toma está ubicada en el cuerpo del muro de protección y está, constituida por una bocatoma tipo vertedero lateral de 2.00 x 1.5 m de sección, con capacidad de captación igual a 3.50 m3/s, la cual será regulada mediante una compuerta metálica. La solera al ingreso a la toma está en el nivel 1810.00 m.s.n.m.

Inmediatamente sigue un túnel abierto de 96.83 m de longitud, de 1.80 x 1.80 m de sección y con nivel de solera al final del canal igual a 1809.90 m.s.n.m., de este canal las aguas pasan a un desgravador.

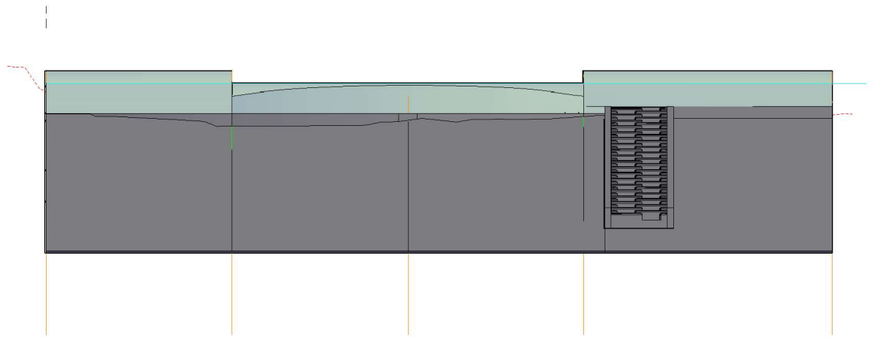
El desgravador es una estructura hidráulica de 10.50 m de longitud dotado de una compuerta de limpieza de sedimentos y un vertedero lateral de excedencias. Su función es retener las partículas sólidas menores a 2 mm en época de crecidas, en tanto que en época de estiaje las aguas del río Guadalquivir son claras y no presentan material de arrastre, por lo tanto la función del desgravador se realizará pocas veces.

Se prevé que en época de lluvias, la compuerta del desgravador estará abierta para permitir la limpieza continua del material sedimentado.

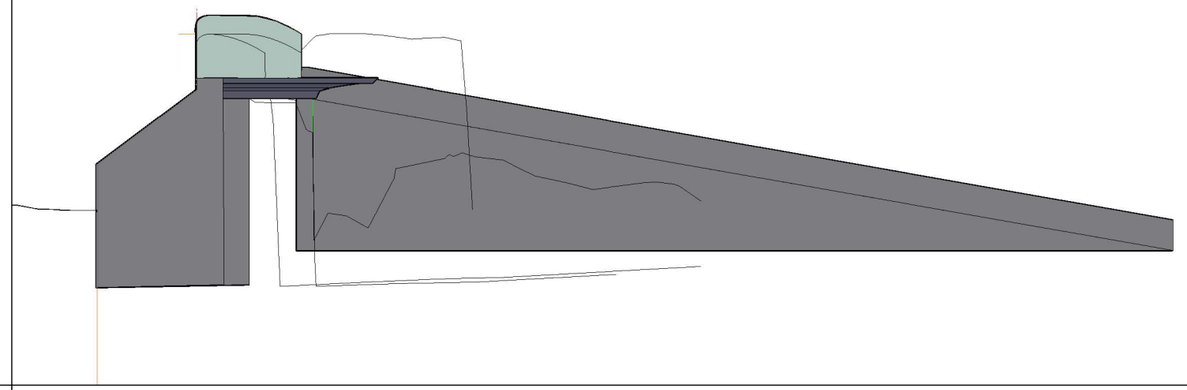
ANEXO IV

MODELO TRIDIMENSIONAL CREADO EN AUTOCAD

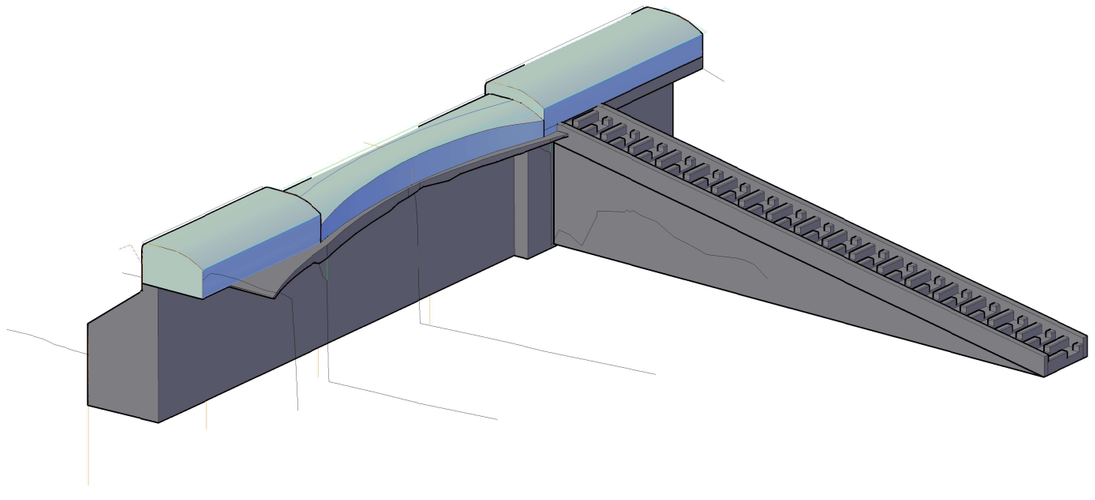
Vista frontal (Aguas abajo)



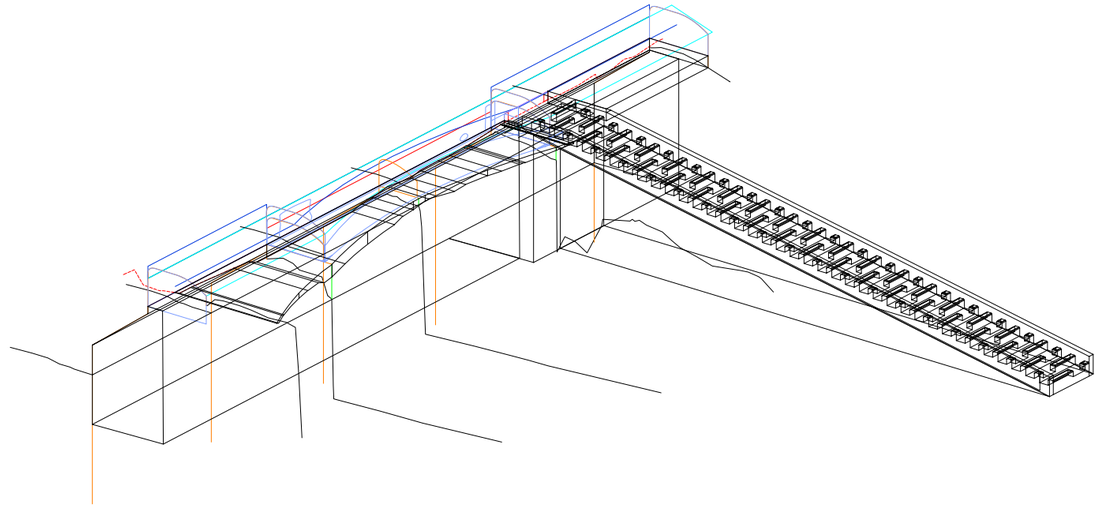
Vista lateral, perfil derecho



Vista perspectiva (Estilo Conceptual)



Vista perspectiva (Estilo Estructura alámbrica)



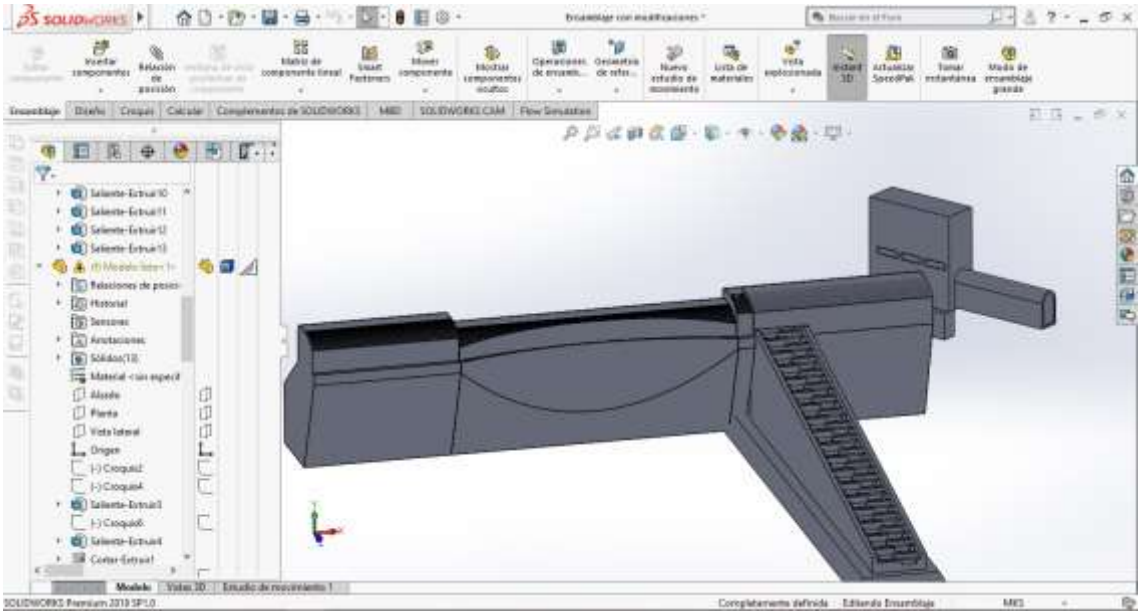
UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO	**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGIA** **CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**	**PROYECTO:** MODELACION Y SIMULACION CFD DE OBRAS HIDRÁULICAS CON SOLIDWORKS Y FLOW 3D	**UNIVERSITARIO:** BALDIVIEZO VILLENA DANIEL ROLANDO	**PLANO:** MODELO TRIDIMENSIONAL EN AUTOCAD

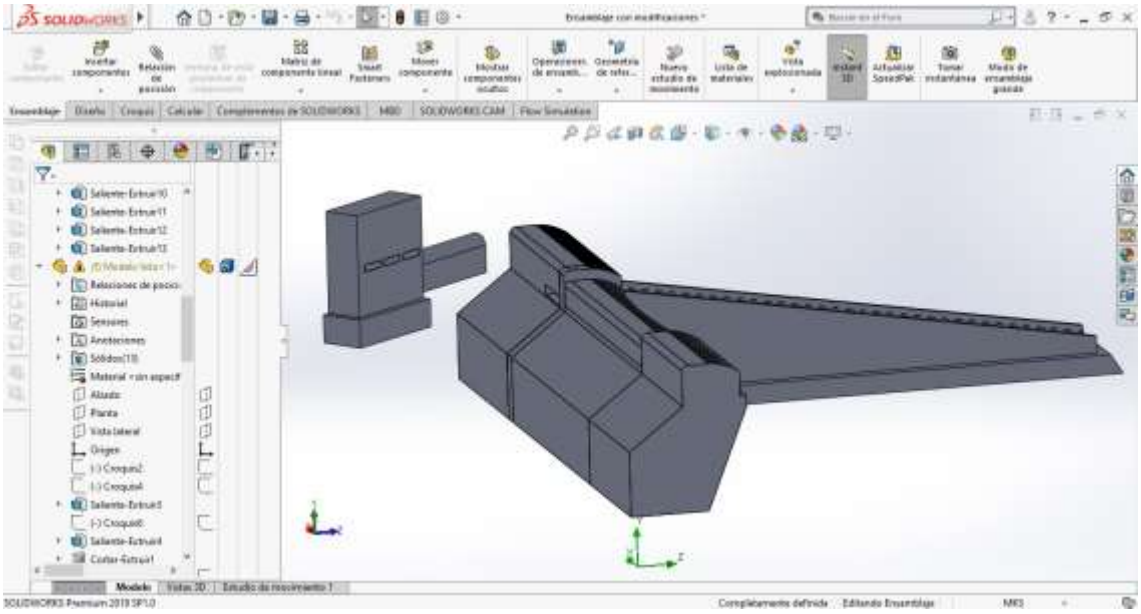
ANEXO V

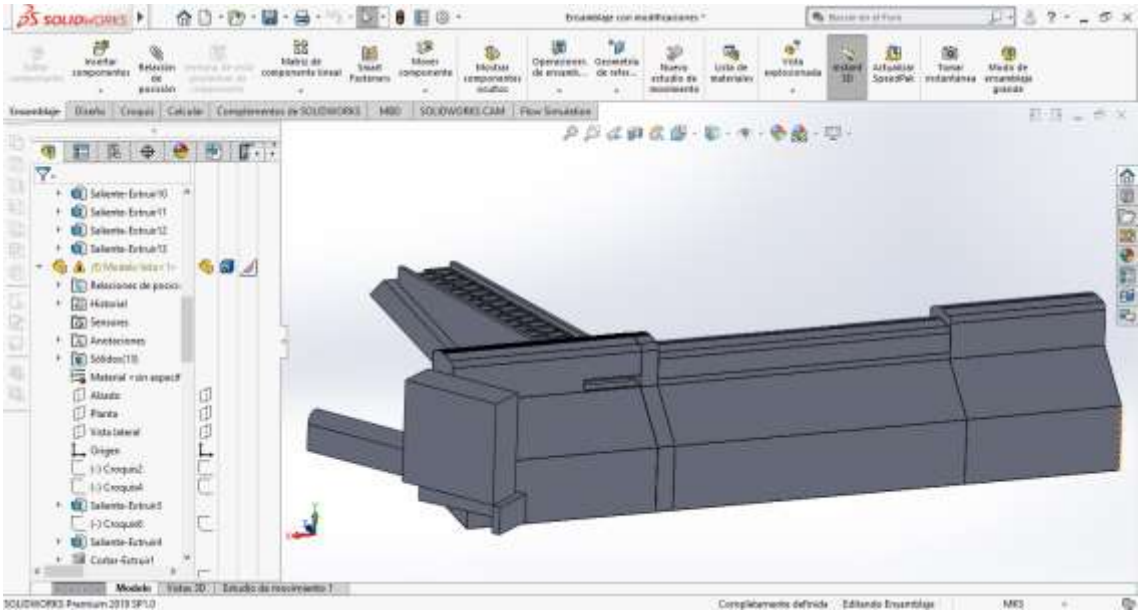
MODELO TRIDIMENSIONAL CREADO EN SOLIDWORKS

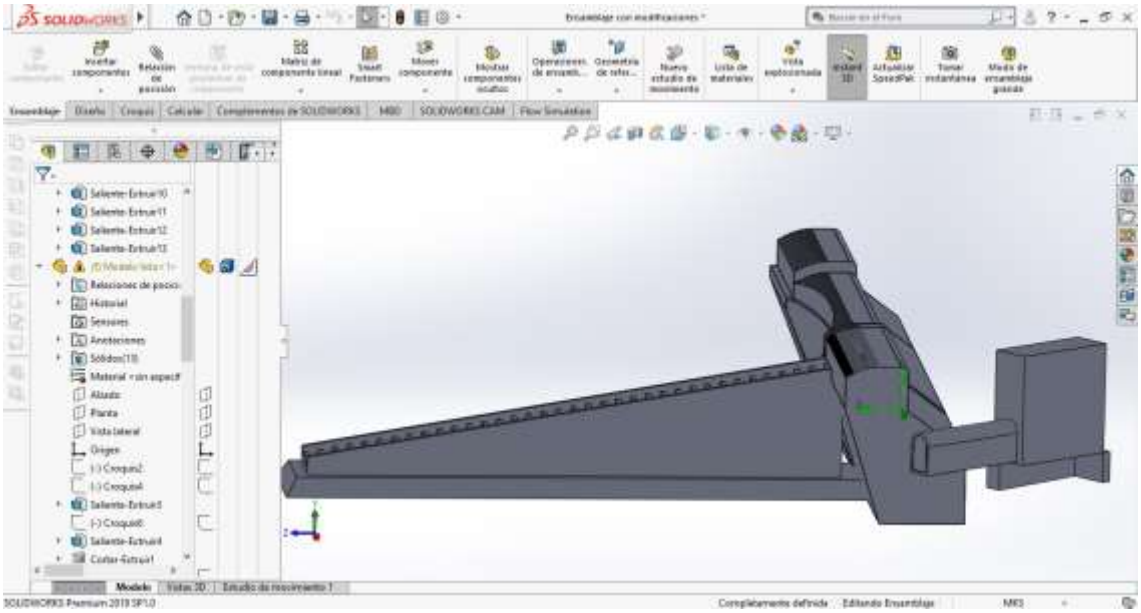
Vistas generales del ensamblaje en Solidworks.

Componentes técnicos de la obra hidráulica (Bocatoma, vertedero y escalera de peces).

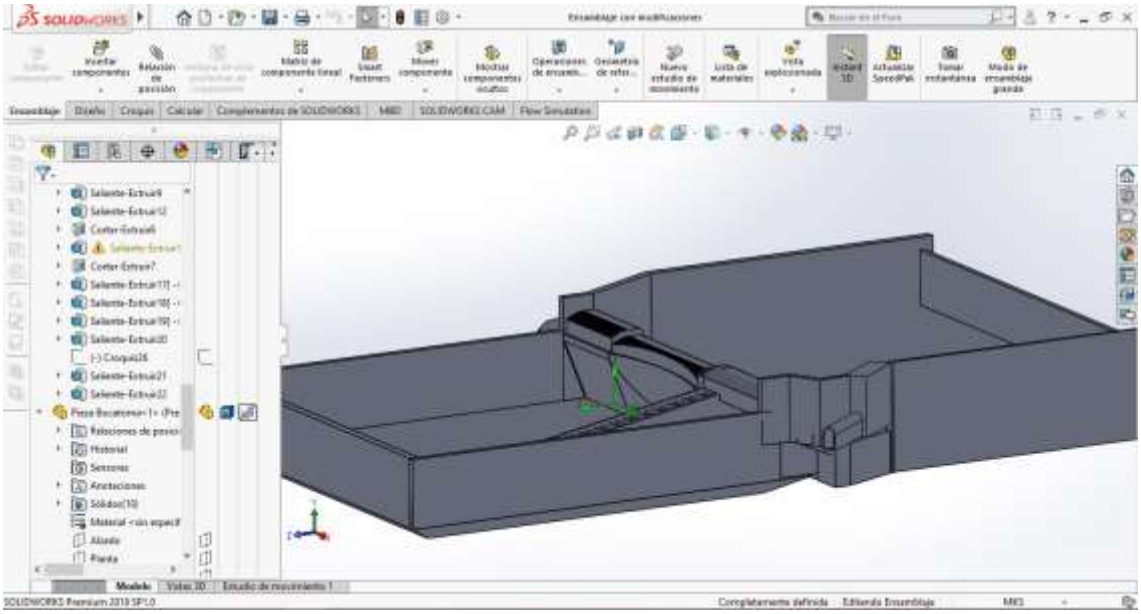


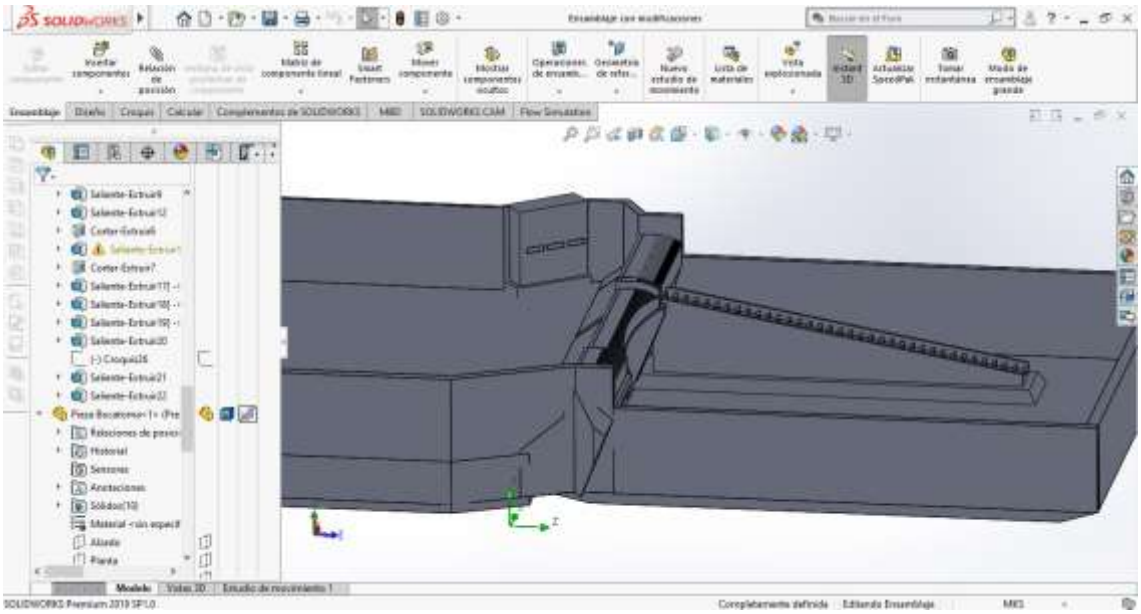




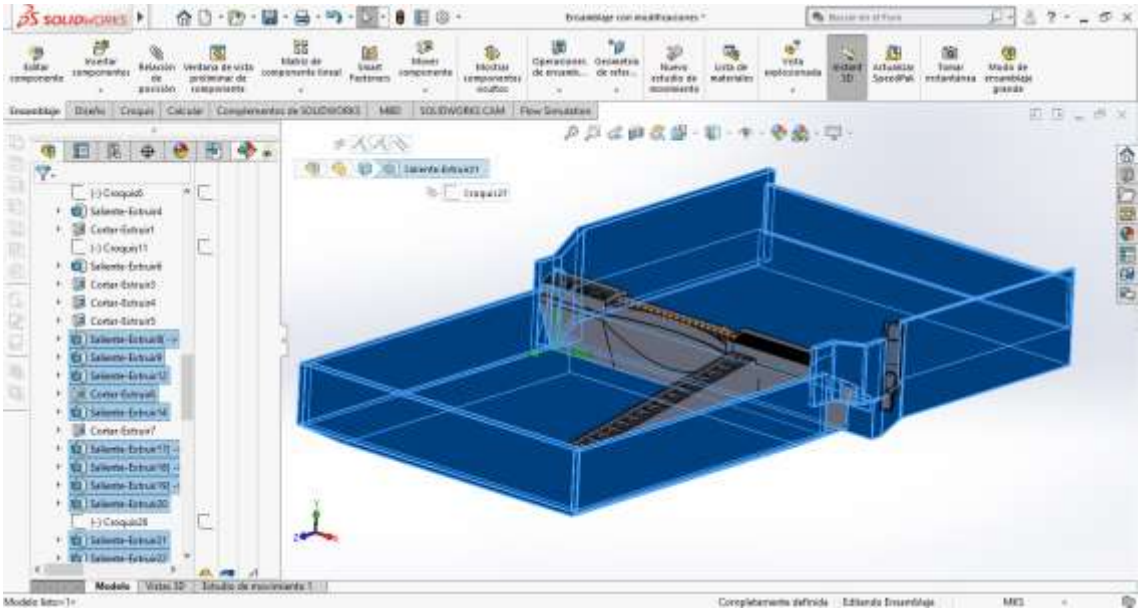


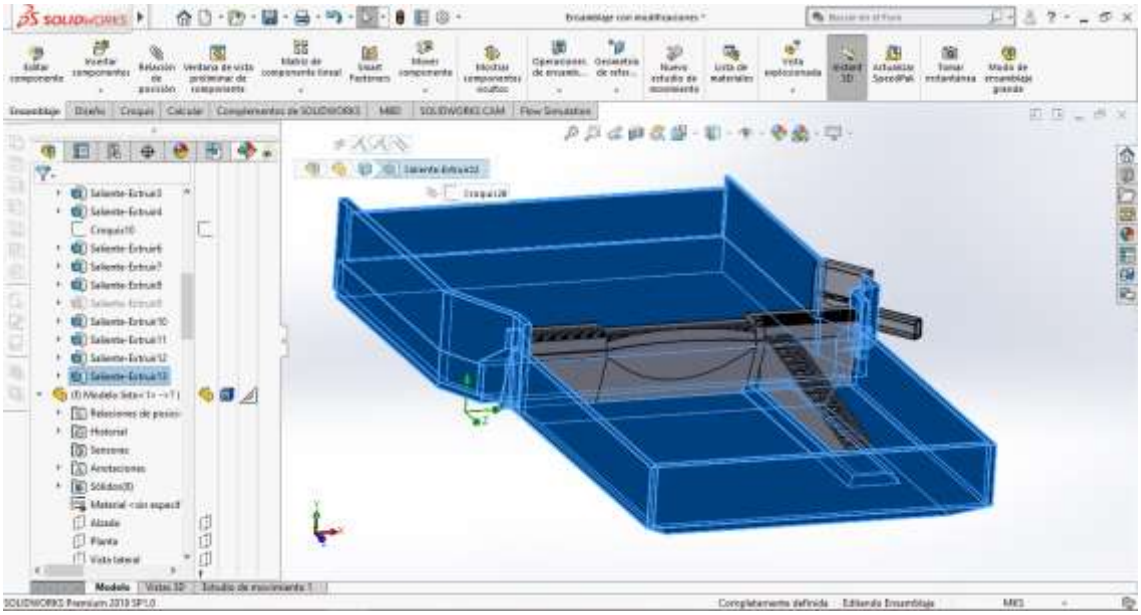
Ensamblaje con elementos auxiliares de cerramiento para simulación.

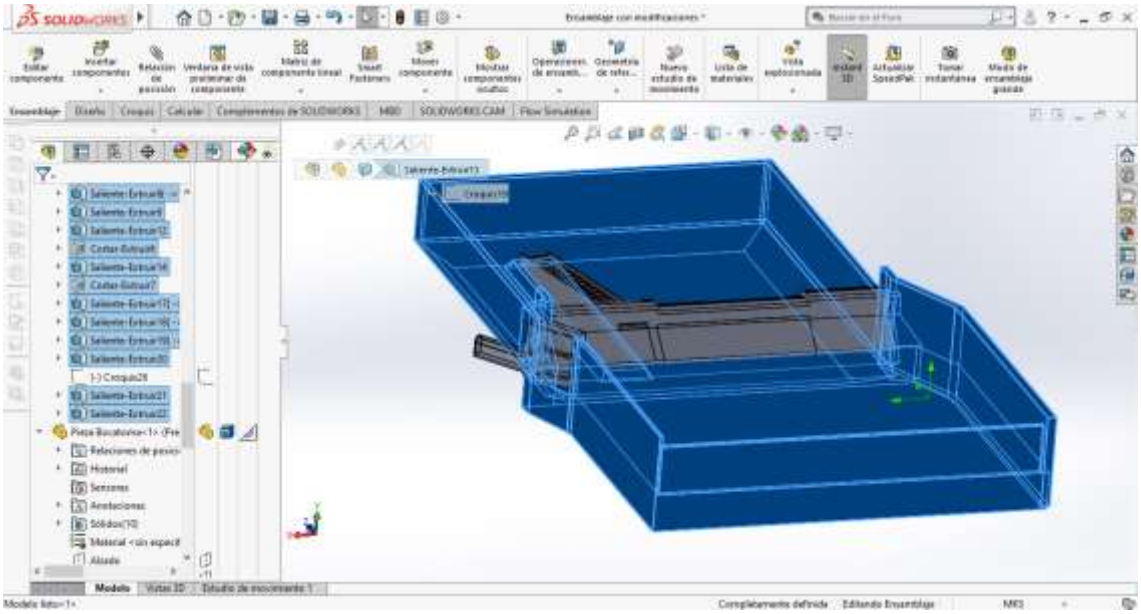




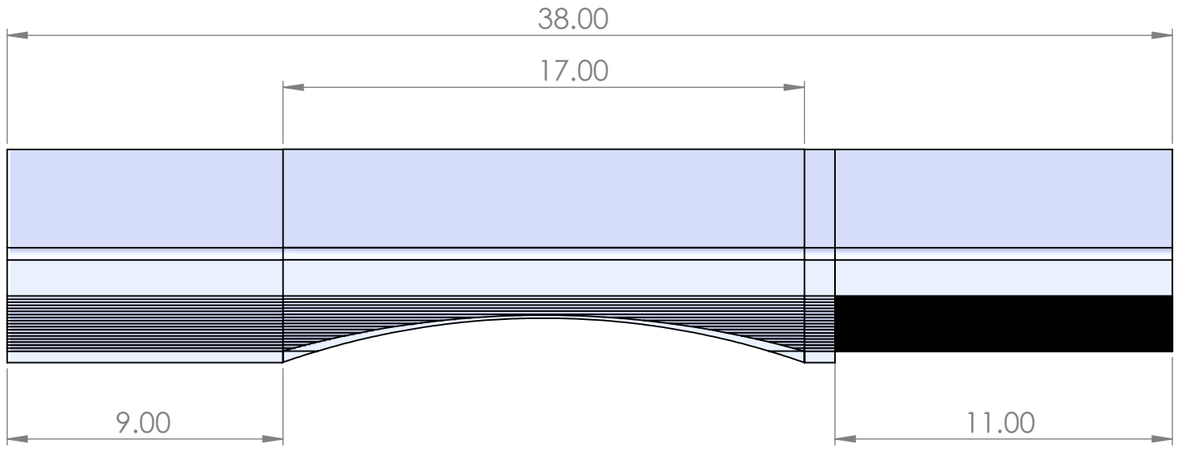
Los objetos en color azul son los auxiliares para cerrar el dominio de la simulación. No tienen una influencia directa en el comportamiento de la simulación, en cambio son necesarios para cerrar el cuerpo.

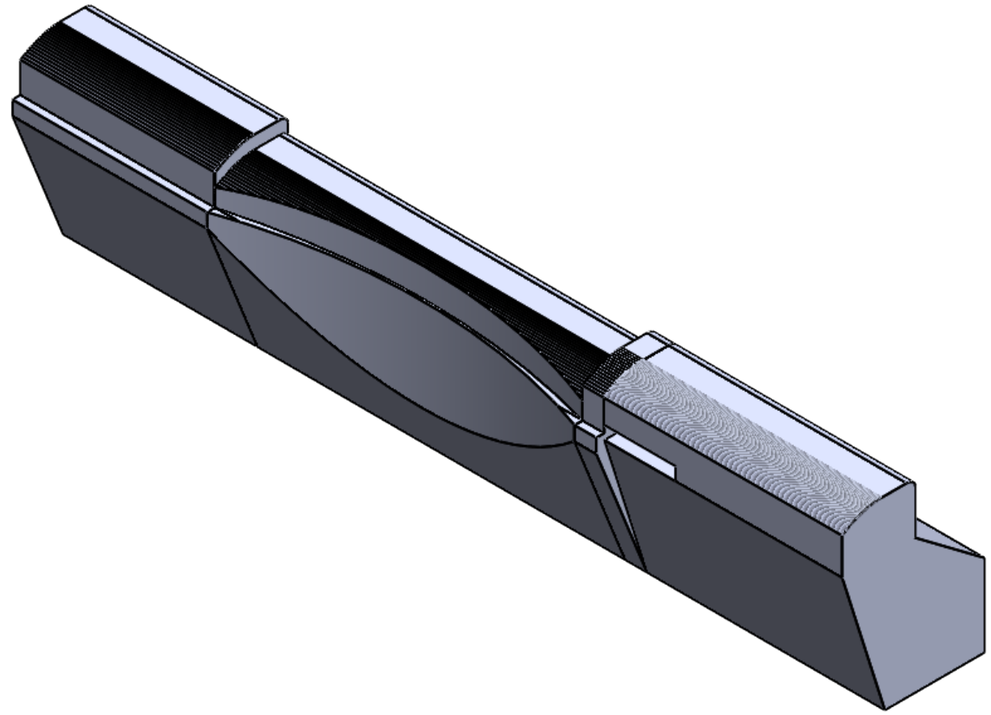


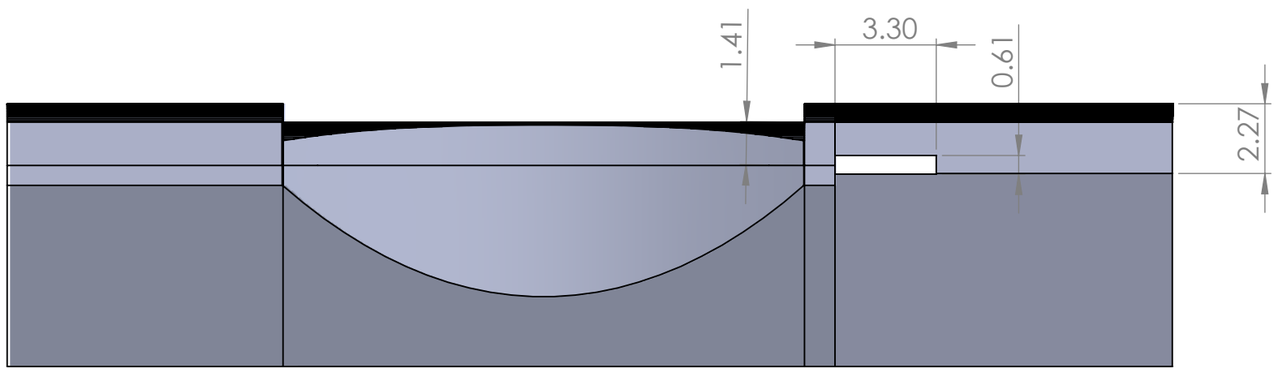


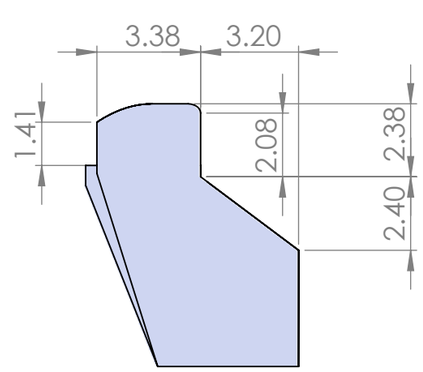


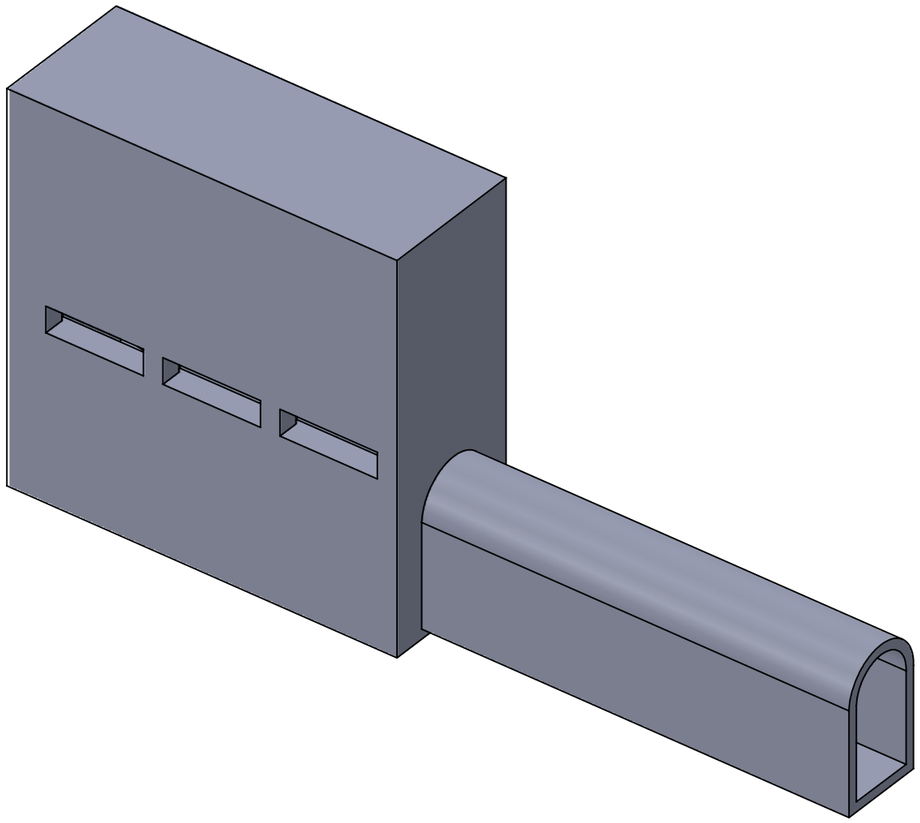
A continuación se presentan las vistas generadas por el software a partir del modelo 3D.

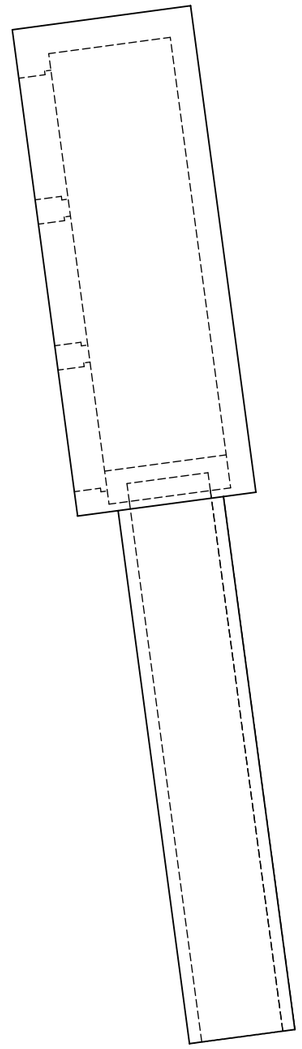

38.00
17.00
9.00
11.00

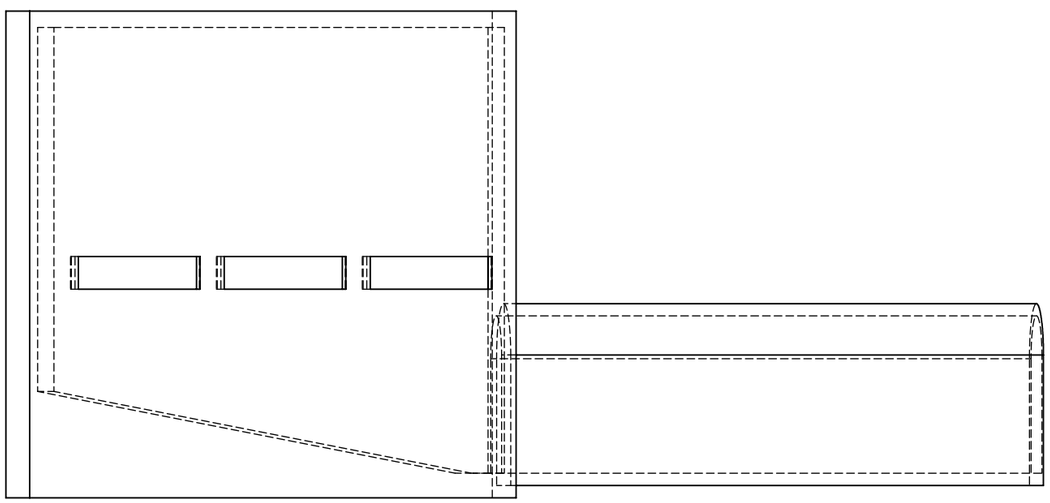


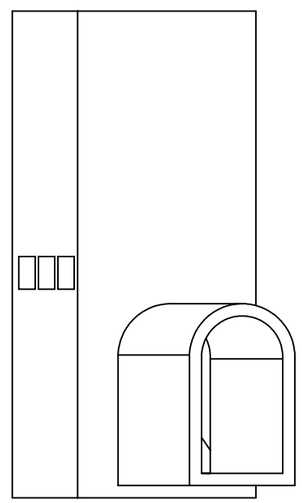

1.41
3.30
0.61
2.27

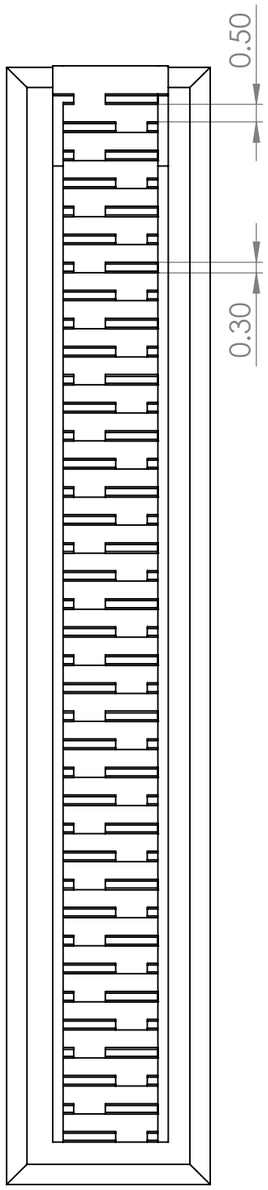

3.38
3.20
1.41
2.08
2.38
2.40

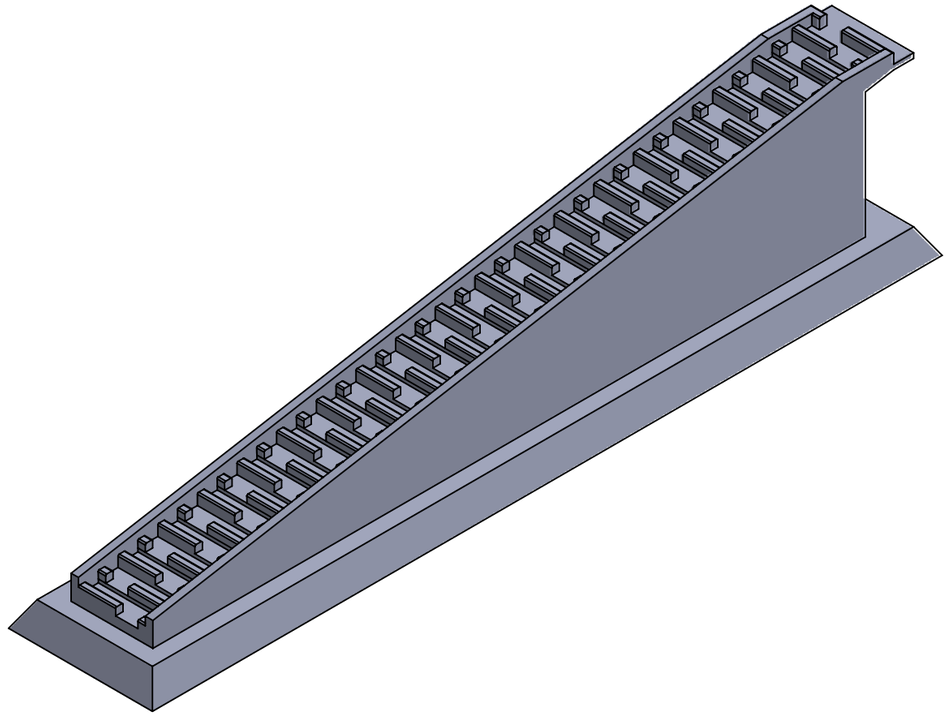


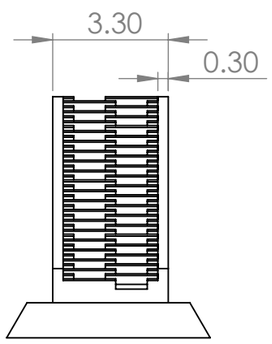


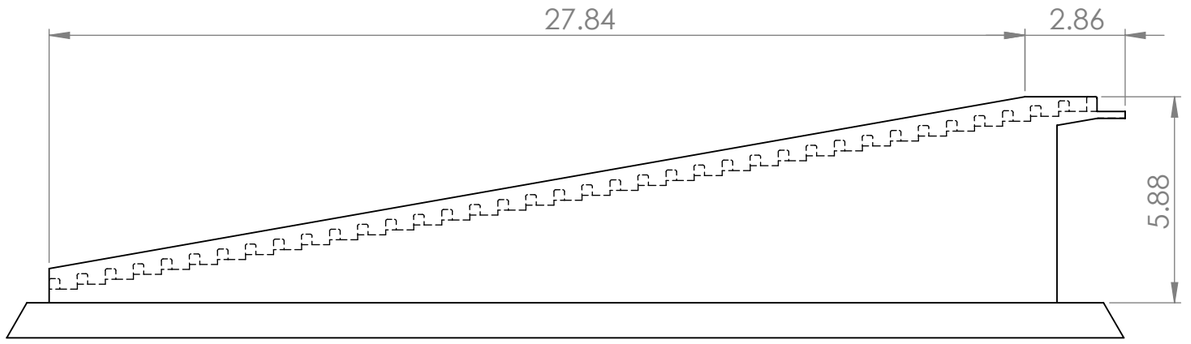


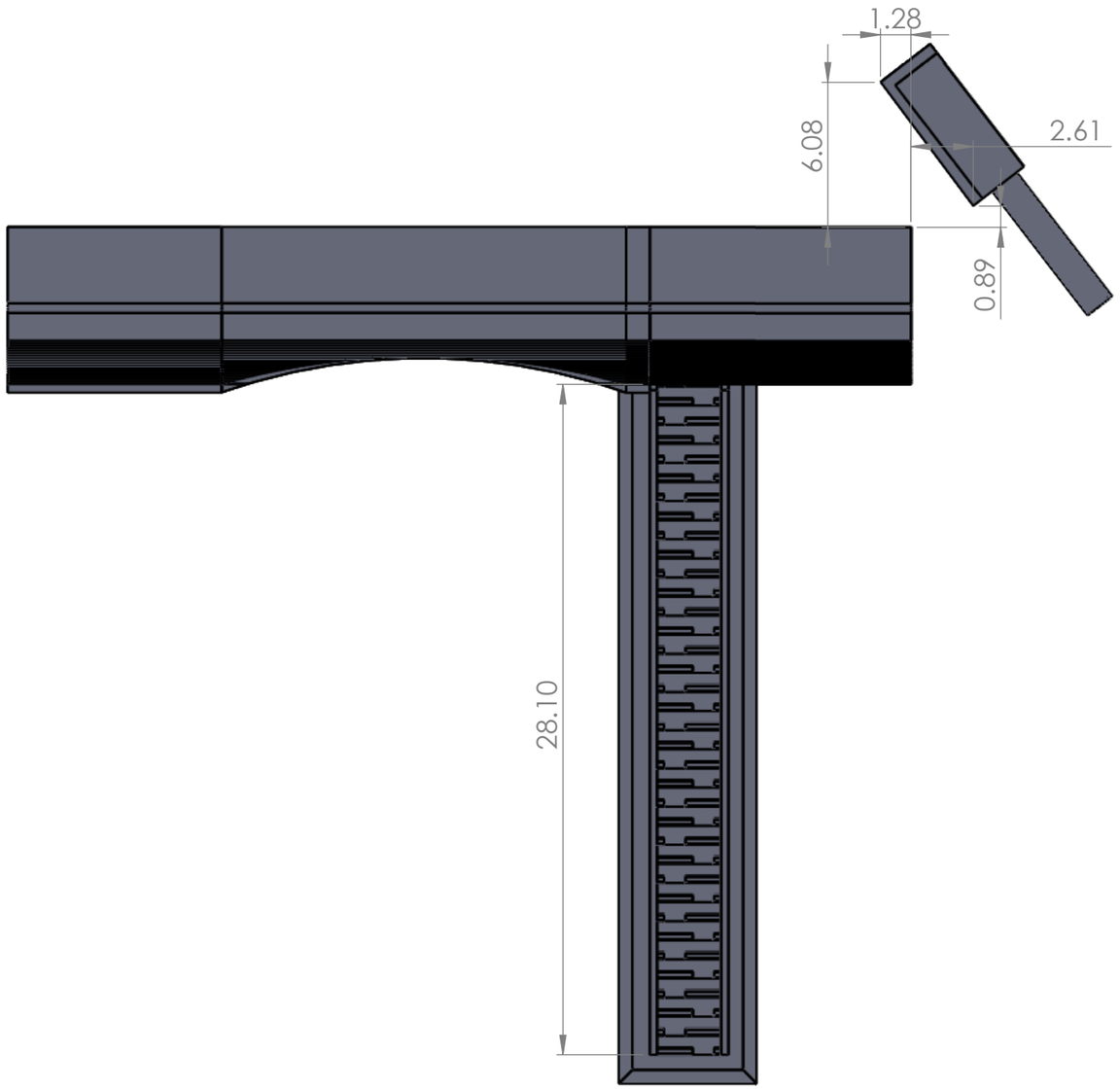


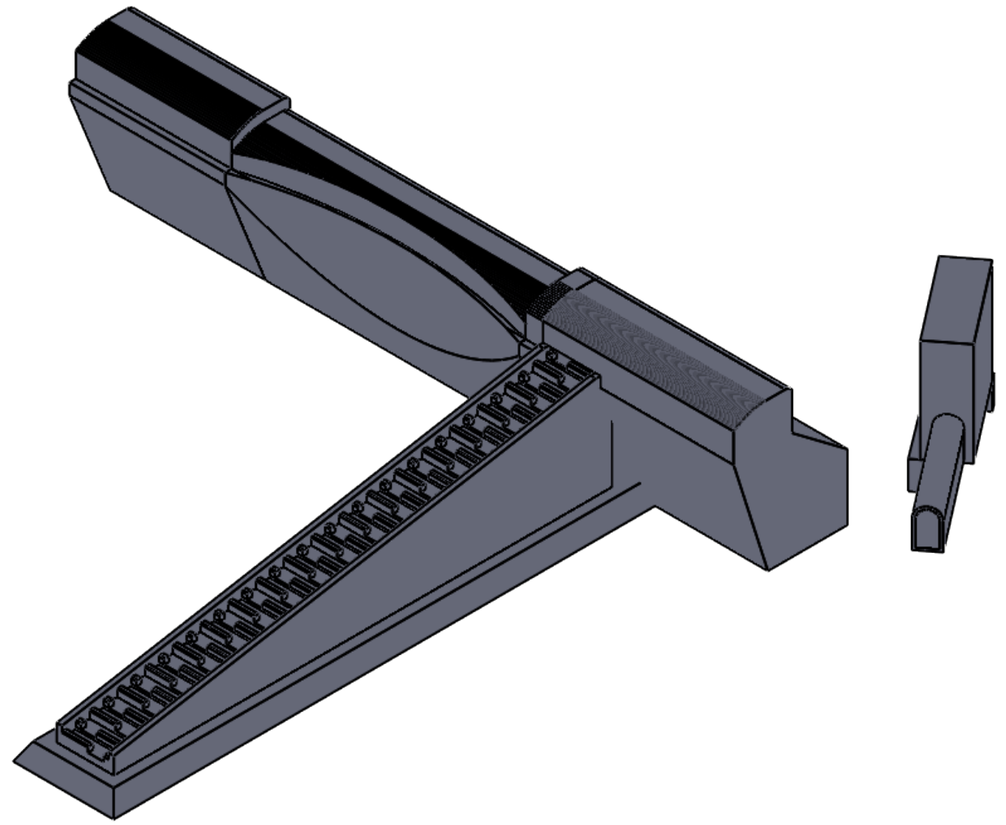

0.50
0.30

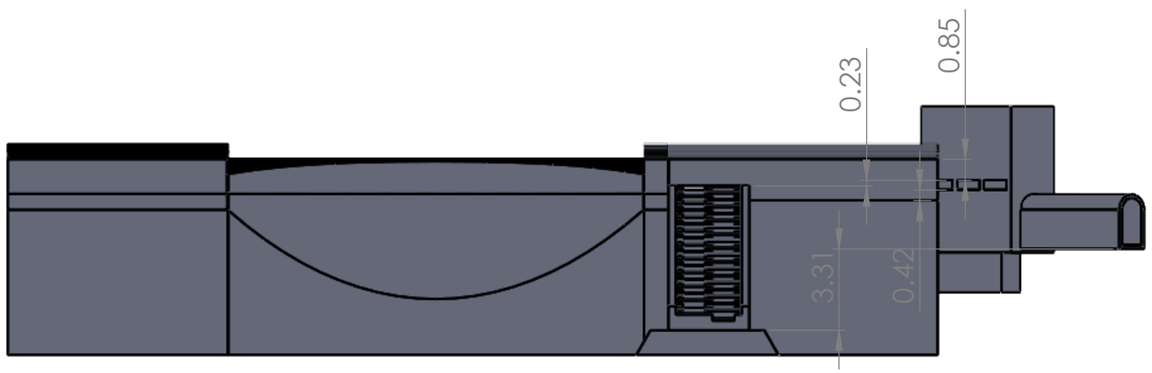


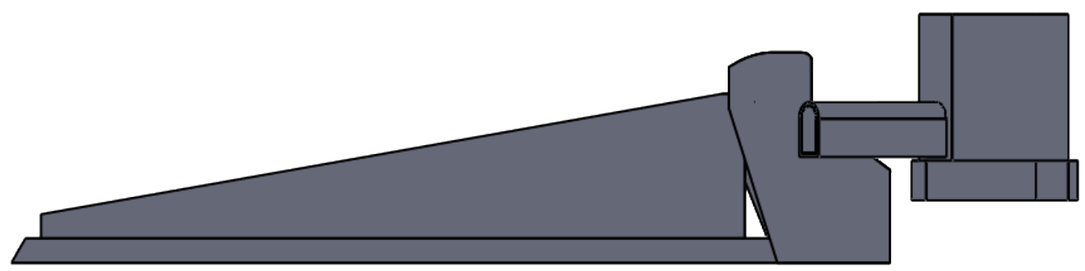

3.30
0.30


27.84
2.86
5.88


1.28
6.08
2.61
0.89
28.10

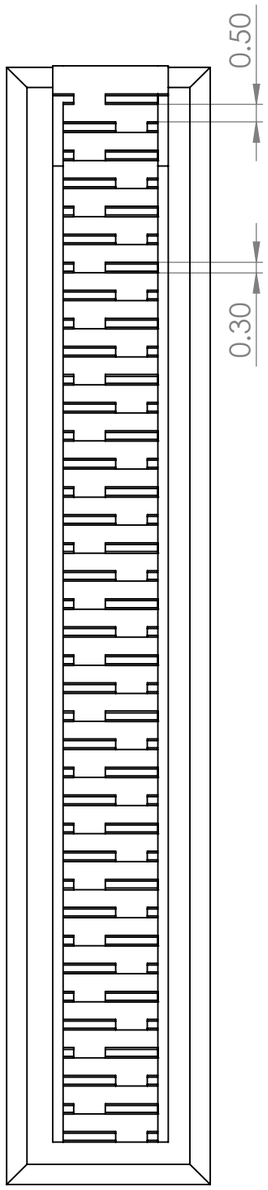


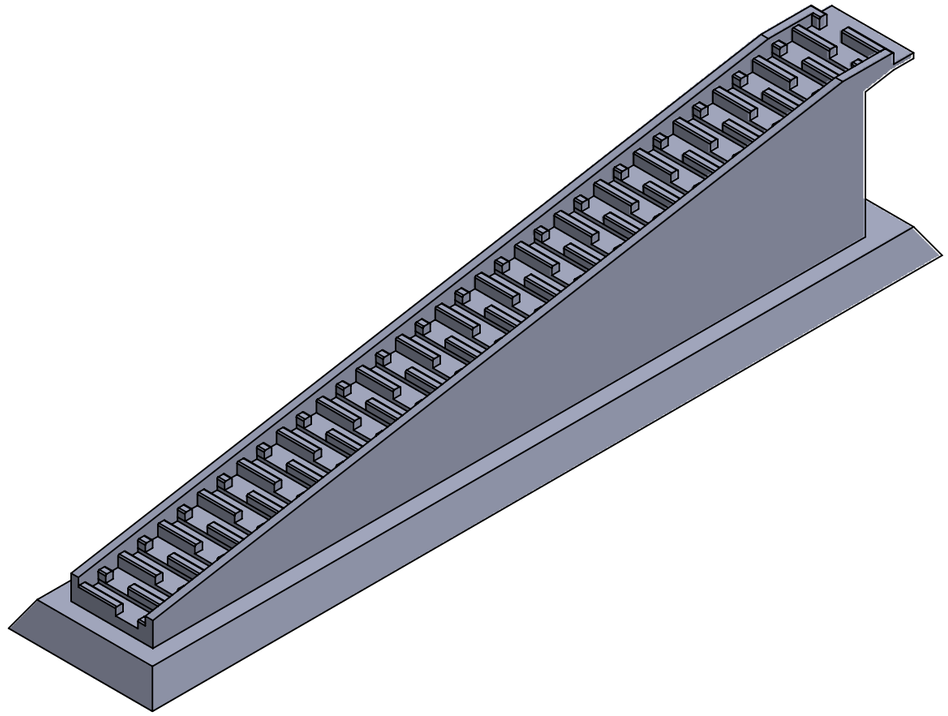

0.23
0.85
3.31
0.42

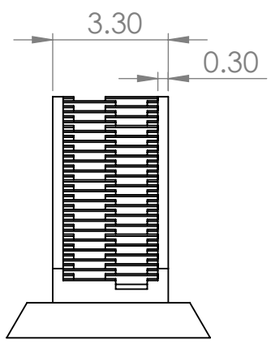


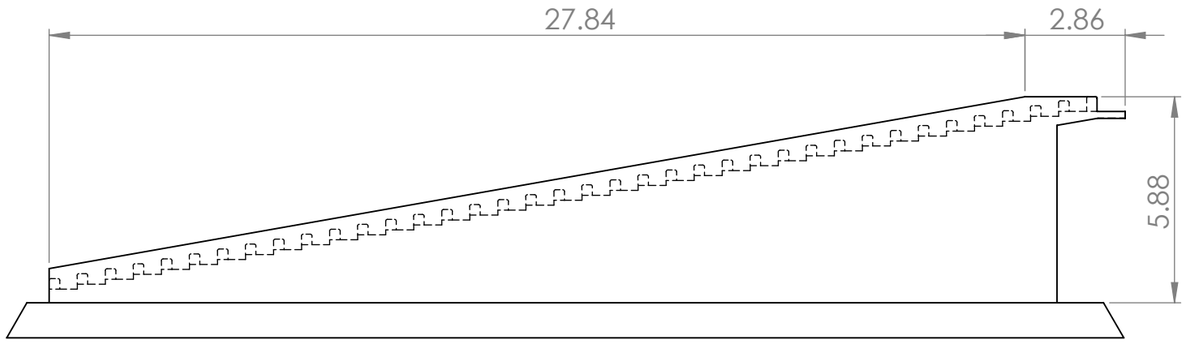
ANEXO VI

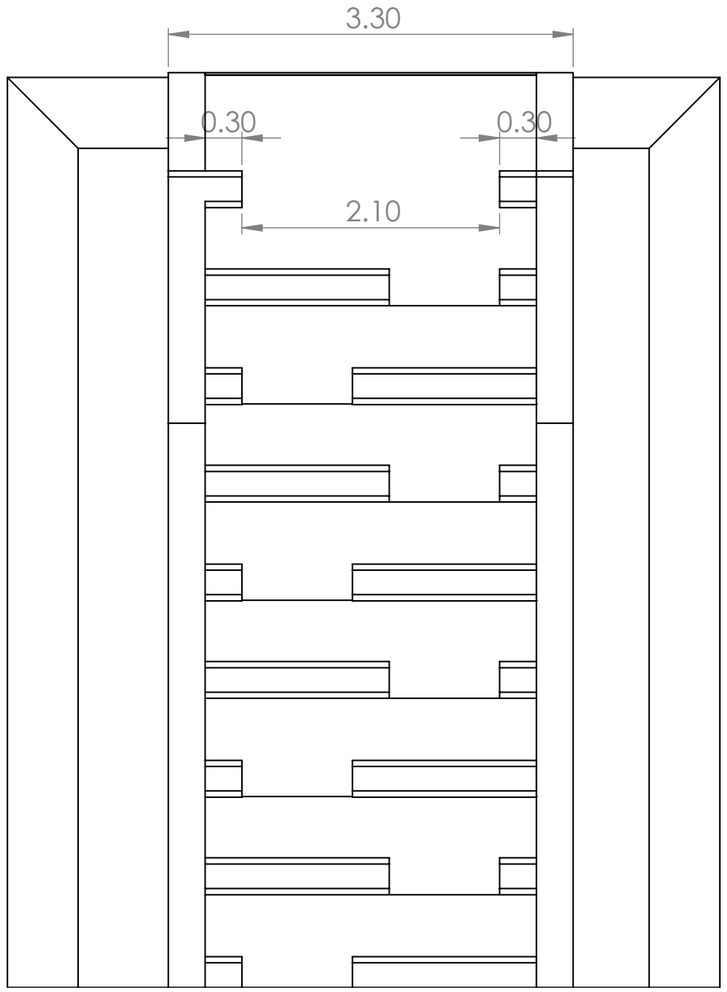
PLANOS DE ALTERNATIVAS

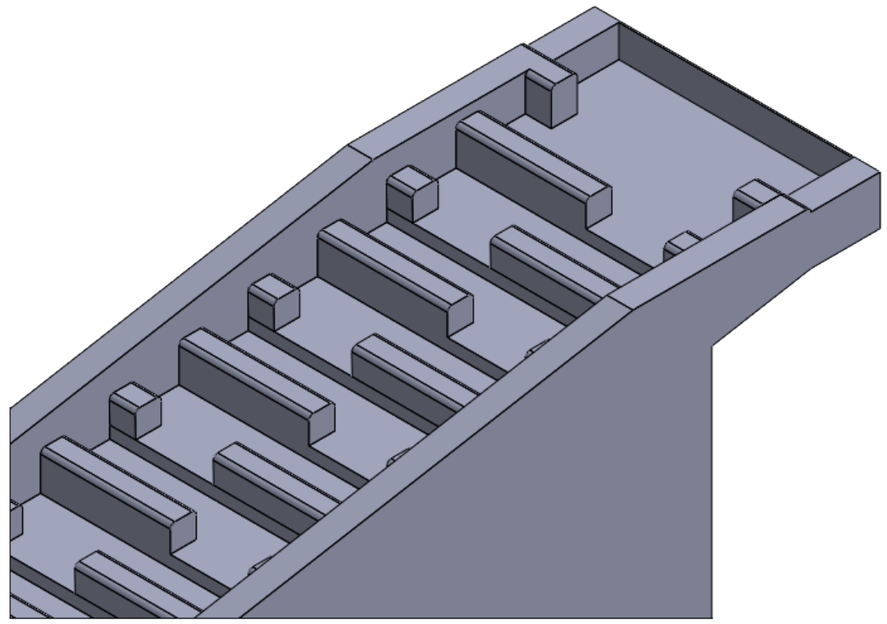

0.50
0.30

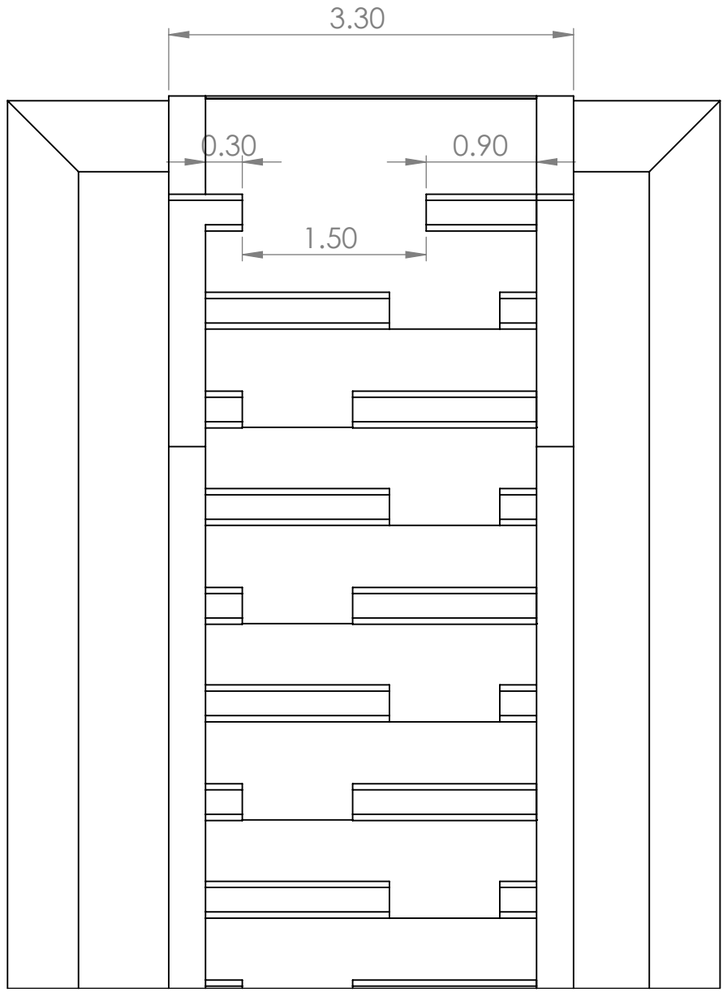


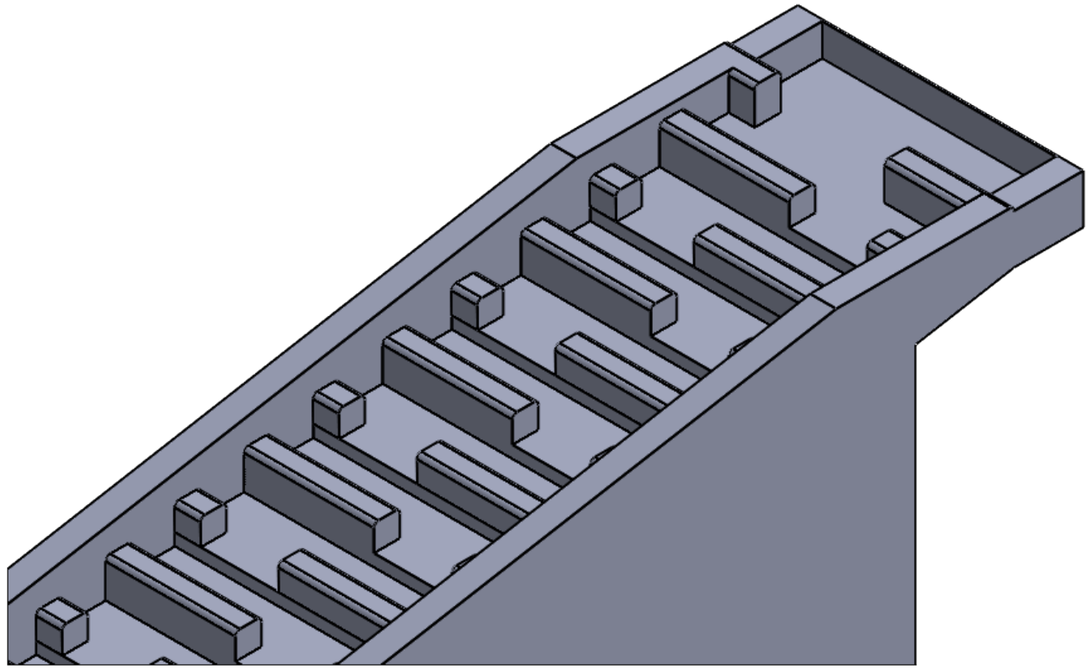

3.30
0.30

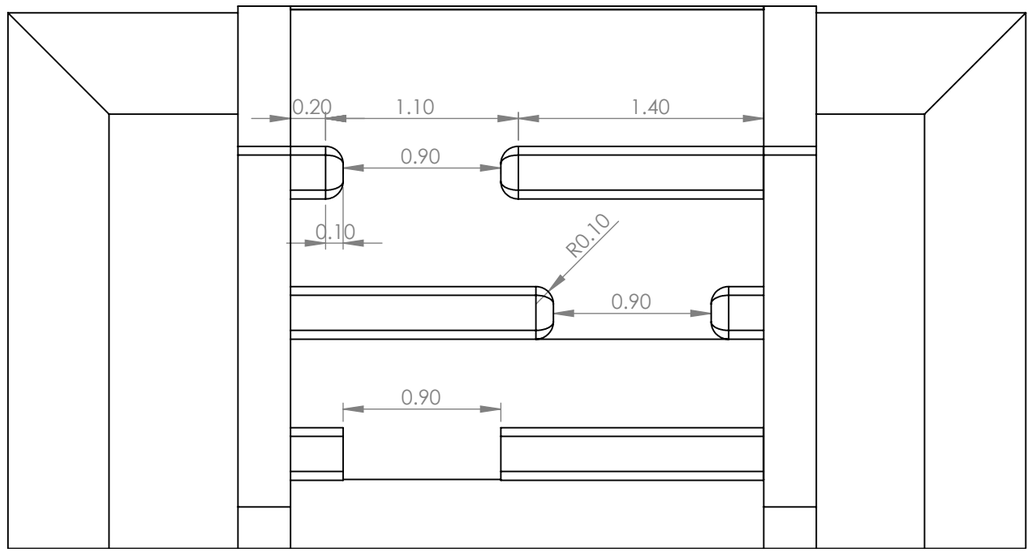

27.84
2.86
5.88

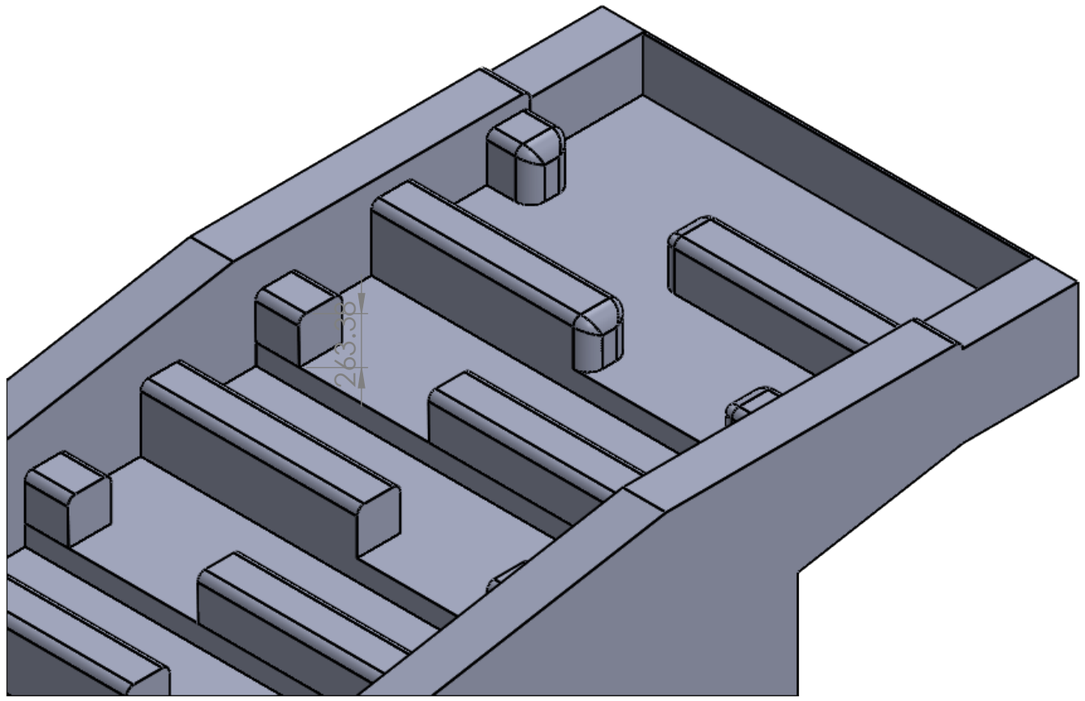

3.30
0.30
0.30
2.10

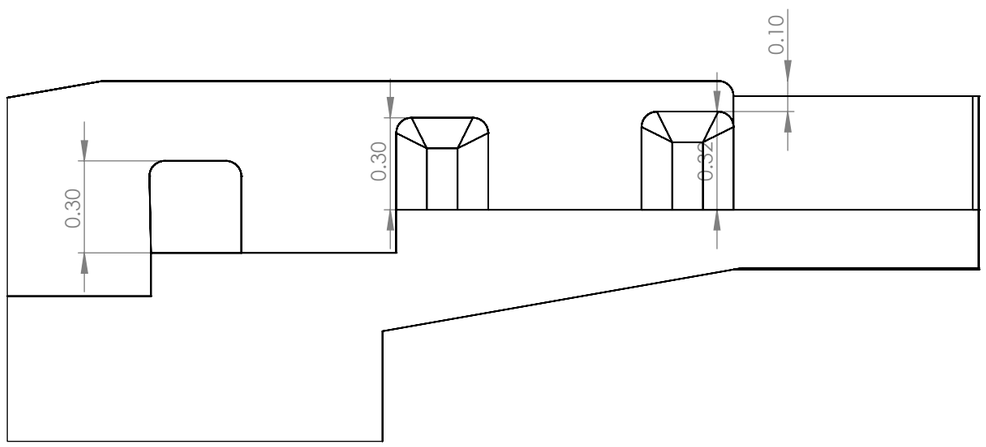



3.30
0.30
0.90
1.50




0.20
1.10
1.40
0.90
0.10
R0.10
0.90
0.90


26.35


0.10
0.30
0.30
0.32

ANEXO VII

GUIA DE SIMULACIÓN EN SOLIDWORKS BAJO CONDICIONES DE FLUJO LIBRE

Esta guía está orientada a la simulación computacional en Solidworks Flow Simulation de obras hidráulicas que funcionen en condiciones de superficie libre.

Índice de contenido

1. Inicio de la herramienta 3
2. Crear un nuevo proyecto 3
   2.1. Tipo de análisis 3
   2.2. Características físicas 5
   2.3. Fluidos 5
3. Dominio computacional 5
4. Condiciones de contorno 6
5. Goals 13
   5.1. Tipos de metas u objetivos 13
   5.2. Definición de objetivos 14
6. Malla computacional 14
7. Iniciar el solucionador 17

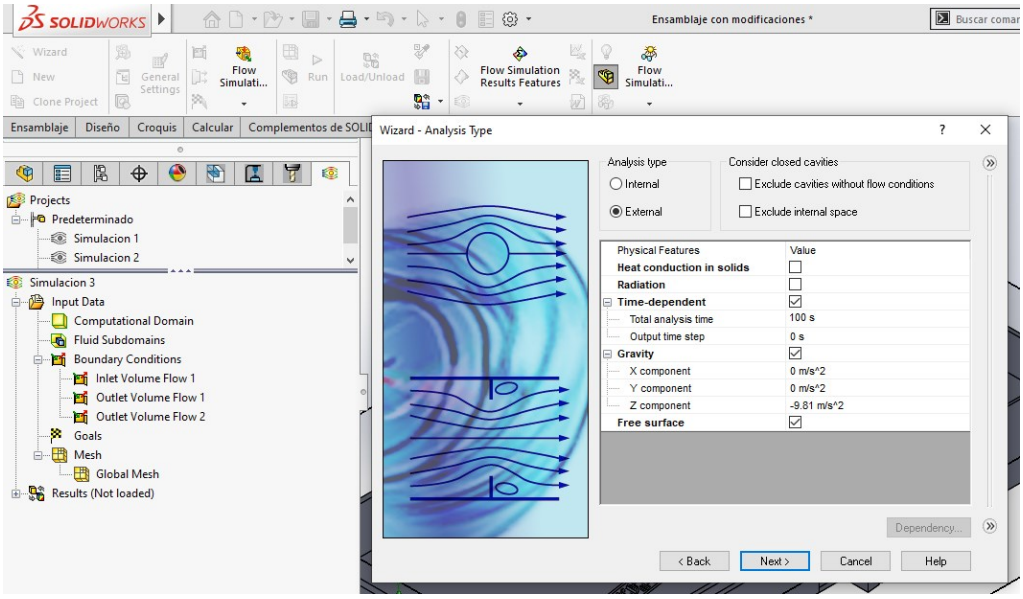
1. Inicio de la herramienta

Para comenzar a configurar la simulación se debe entrar a la pestaña *Flow Simulation*.

2. Crear un nuevo proyecto

Primero se inicia un nuevo proyecto con **Wizard**.

En la ventana de configuración del nuevo proyecto se modifican los siguientes parámetros para el análisis en condiciones de flujo abierto.



Condiciones de Tipo de Análisis

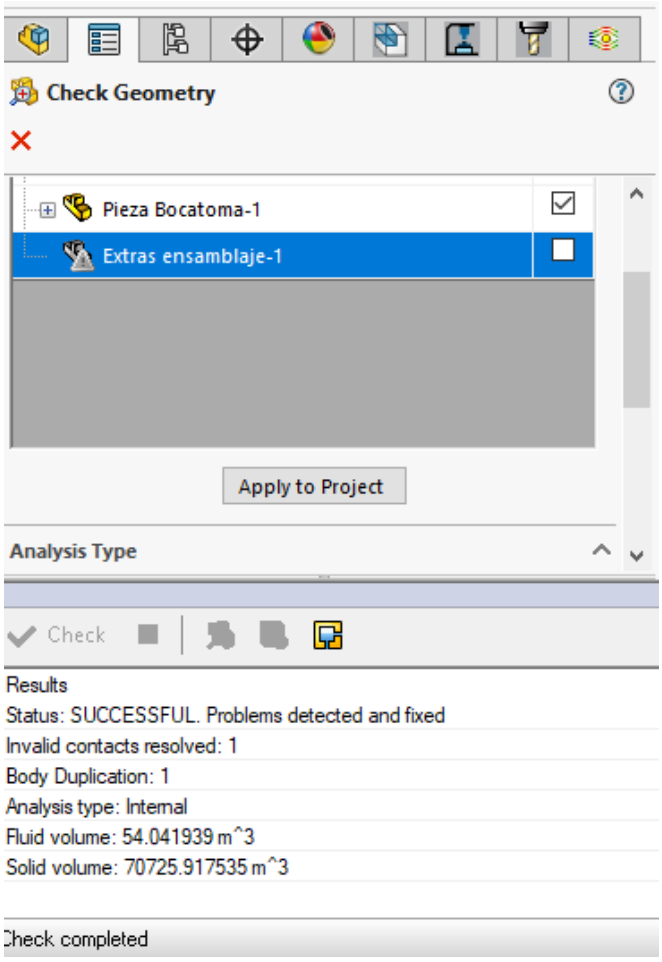
2.1. Tipo de análisis

El tipo de análisis depende de si el flujo se produce al interior del modelo o por fuera del mismo. En este proyecto se podría considerar que, tanto en el vertedero como en la escalera de peces, el flujo se produce en el exterior, en cambio en la bocatoma es al interior.

La diferencia entre ambos reside en el hermetismo del cuerpo a la hora de ser analizado. Bien sabemos que es un flujo libre, a presión atmosférica, por lo que todos los cuerpos son abiertos y no hay espacios cerrados, en cambio al hacer el análisis el software requiere

un cuerpo cerrado, aquellos orificios por donde se tiene contacto con el exterior del modelo son las tapas (Lids) donde se establecerán las condiciones de la simulación.

Para un análisis de tipo interno (**Internal**) se requiere que el espacio donde se produce el flujo esté totalmente cerrado. Para verificar que sea estanco se puede utilizar la herramienta **Check geometry** (Ilustración 3-14), donde debe arrojar un resultado de volumen interno, si no es así significa que no está totalmente cerrado.



Herramienta Check Geometry

En cambio, para un análisis de tipo externo (**External**) el programa no requiere de espacios cerrados, en este caso se puede reducir la cantidad de cálculos señalando las opciones en ***Consider closed cavities.***

Se recomienda utilizar la opción de Análisis interno, añadiendo cuerpos para cerrar el modelo donde se requiera.

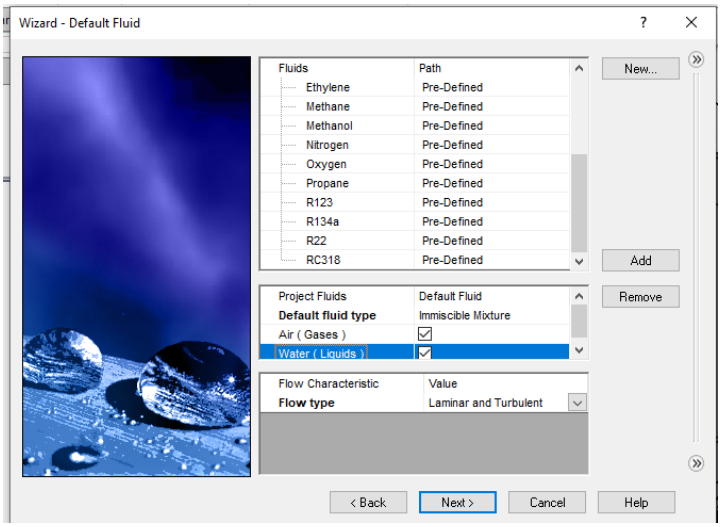
2.2. Características físicas

Al ser una simulación de flujo abierto se debe seleccionar **Free Surface,** lo que indicará la necesidad de habilitar la dependencia de tiempo (**Time dependent)** y la gravedad **(Gravity).**

- La gravedad se debe introducir en el vector que corresponda a la altura, considerando el signo negativo.

2.3. Fluidos

En la sección de fluidos se añaden aire (por ser el fluido inicial) y agua. Ambos deben tener su casilla marcada.



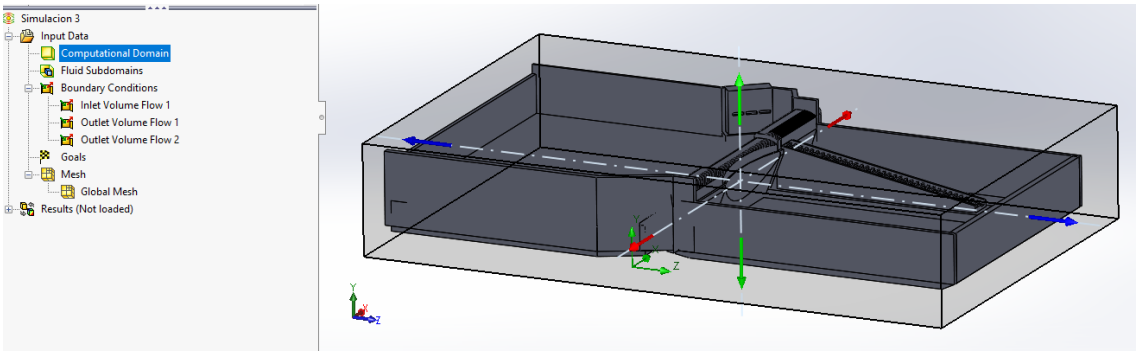
Condiciones por Tipo de fluido

Todos los demás parámetros por defecto son útiles para la simulación, pues no hay condiciones de temperatura en **Wall conditions.**

3. Dominio computacional

Lo siguiente es definir el campo de dominio (**Computational Domain)** donde se realizará el análisis. Si en las condiciones de diseño se ha escogido **External** es importante que el dominio sea lo más ajustado posible al modelo, puesto que el número de cálculos será menor.

Para definirlo se puede introducir por coordenadas, o más sencillo ajustar las flechas al tamaño del modelo.



Dominio computacional

El tamaño del dominio computacional influirá en la cantidad de cálculos que requiera hacer el solucionador. En caso de tener dominios muy grandes o de componentes separados, se recomienda dividir las simulaciones (en el ejemplo se utilizan tres espacios, una entrada a la obra hidráulica, el cuerpo de la bocatoma y la escalera de peces).

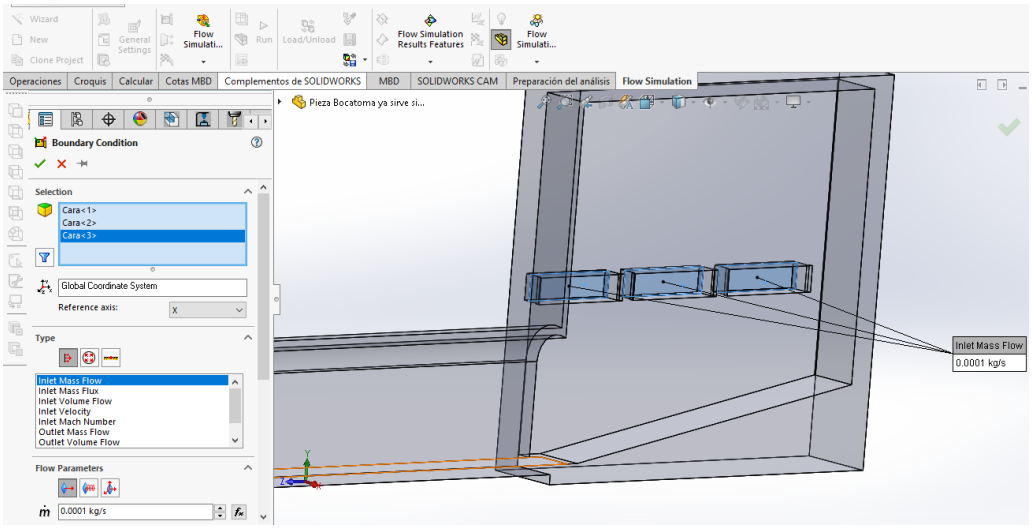
4. Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno o condiciones de frontera (**Boundary conditions**) son las restricciones necesarias para resolver un problema de valor de frontera.

Para las fronteras se definen las condiciones del flujo, considerando masa, momento y energía de las ecuaciones diferenciales correspondientes.

Se introducen las condiciones de cálculo por medio de las caras de la geometría.

En primer lugar, se escoge insertar. Al abrirse la herramienta de **Boundary conditions** primero se deben escoger las caras del modelo donde se implementará la condición.



Herramienta Boundary Conditions

Lo siguiente es escoger qué tipo de condición se impone, estas pueden referirse a:

A) Flow openings

- Inlet/Outlet Mass Flow

Es la cantidad de masa que fluye por la sección en una unidad de tiempo. Se define como la derivada de la masa respecto del tiempo. El símbolo es $\dot{m}$ (m-dot). El cambio de masa es la cantidad que fluye en un tiempo a través de un límite, no la cantidad inicial de masa en el límite menos la cantidad final en el límite, ya que el cambio en la masa que fluye a través del área sería cero para un flujo constante.

Es una medida del número de moléculas que fluyen independientemente del espacio que ocupen esas moléculas.

En el asistente se introduce con unidades [kg/s]

- Inlet/Outlet Mass Flux

Es la tasa de flujo por unidad de área de un fluido. Por lo que queda definido con las unidades [kg/(s*m^2)]

- Inlet/Outlet Volume Flow

Tasa de volumen fluido, tasa de flujo volumétrico o velocidad de volumen, es el volumen de fluido que pasa a través de una superficie por unidad de tiempo, mejor conocido como caudal. Se representa por Q y tiene unidades de [m^3/s].

Viene definido como la derivada del volumen respecto del tiempo. Este cambio de volumen es la cantidad que fluye después de cruzar el límite durante un tiempo, no confundir con la cantidad inicial de volumen en el límite menos la cantidad final en el límite, ya que el cambio de volumen que fluye sería cero para el flujo constante.
Es una medida del espacio que ocupa el fluido bajo una condición de presión y temperatura.

Consideración diferencia entre Mass Flow y Volumetric Flow

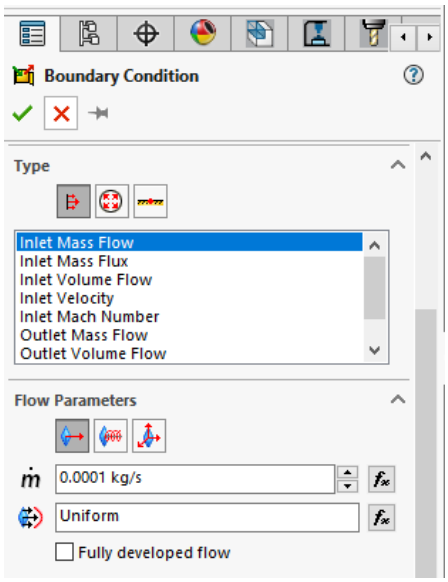
La diferencia entre ambos se centra en la presión y la temperatura, por lo que los más afectados son los gases que, a diferencia de los líquidos, sufren cambios notables bajo estas condiciones.
El Mass Flow (Flujo másico) es preferible cando la medición sea del fluido en sí, controlando el número de moléculas, sin considerar las condiciones de presión. En cambio, el flujo volumétrico se utiliza cuando el objetivo es medir lo que se encuentra dentro del volumen de fluido, es decir, el número de partículas dentro del volumen de fluido en las condiciones definidas. (Alicat Scientific, 2018)

- Inlet/Outlet Velocity

Es la velocidad del fluido que circula a través de la superficie de contorno. En este caso está en unidades de [m/s]

- Inlet/Outlet Mach Number

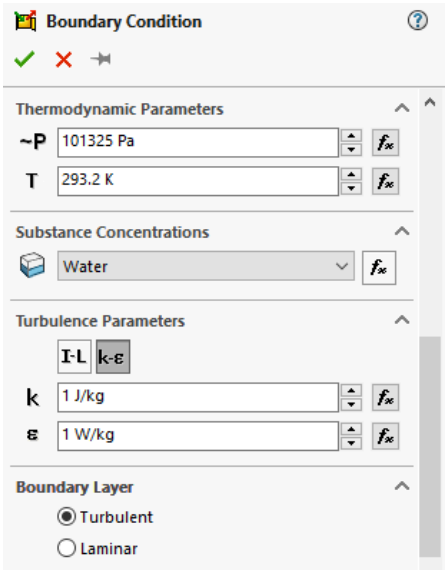
El número Mach es una cantidad adimensional que representa la relación entre la velocidad del flujo supersónico y la velocidad del sonido en ese fluido.
La velocidad del sonido marca el límite entre una velocidad subsónica y una supersónica. En los fluidos a velocidad subsónica las pequeñas ondas de presión se pueden propagar tanto aguas arriba como aguas abajo, en cambio en los fluidos que están a velocidades supersónicas las pequeñas ondas de presión no se pueden propagar aguas arriba.



Herramienta Condiciones de contorno

Para todas las opciones de entrada o salida de fluido, tenemos los apartados de:

- *Parámetros termodinámicos* para Presión y Temperatura del fluido que circula
- *Concentraciones de sustancias* para escoger qué fluido circula
- *Parámetros de turbulencia,* donde se puede introducir la intensidad y longitud de turbulencia o energía de turbulencia y disipación. Ambas opciones tienen valores que el programa entrega por defecto, por fines prácticos se dejarán los valores por defecto para análisis de obras hidráulicas.
- *Capa límite*, donde se define el tipo de flujo que circula.



Parámetros de condiciones de contorno

B) Pressure openings

- Environment Pressure

La presión ambiental se refiere a una presión que no ha sido medida, considerando que esa apertura solo está libre al medio ambiente. En los parámetros se puede observar que el símbolo para presión es una Po y una P al otro lado de las flechas, indicando que es una presión atmosférica.

- Static Pressure

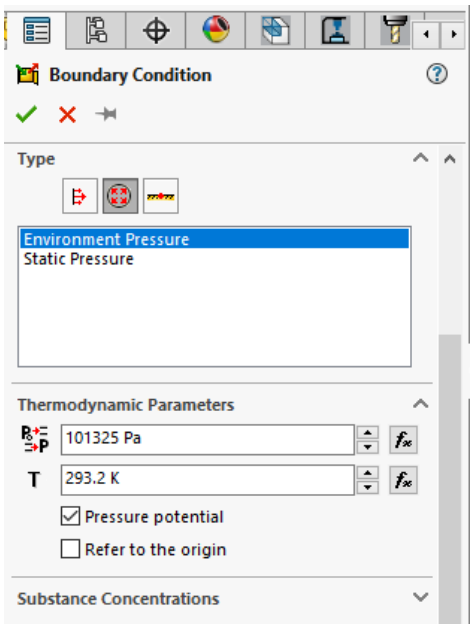
La presión estática se refiere a una presión medida o conocida en el límite del dominio.

En ambos casos la presión se introduce en Pascales y la temperatura en Kelvin (de acuerdo a las unidades escogidas en **Wizard**).

A continuación, aparece una casilla con el nombre **Pressure potential**. Esta casilla solo aparece si en los ajustes del proyecto hemos seleccionado la opción **Gravedad**. García explica que esta opción produce un cambio en la referencia que se utilizará para el cálculo de la presión. Al estar habilitado, Flow Simulation asigna la presión introducida en los ajustes generales a la altura donde se sitúa el origen del plano de coordenadas. También García ilustra cómo esta opción puede malograr los cálculos de la simulación en el tanque

de una pecera, señalando que en el fondo de la misma (donde está ubicado su origen) se ha introducido una presión de 1 atmósfera, haciendo erróneo el resultado.

Para tener una idea clara, esta opción debe ser marcada en caso que el modelo se haya ubicado correctamente con respecto al origen de coordenadas. También se puede habilitar la casilla **Refer to the origin** para asignar un valor de altura apropiado al modelo. En caso de no estar así es aconsejable deshabilitar esta opción (Garcia, s. f.)



Pressure openings

En la opción de **Substance Concentrations** escogemos el fluido que se encuentra para iniciar el cálculo. Solo se puede escoger entre los fluidos introducidos en los ajustes generales. Como estamos considerando que el agua entrará por las cavidades de la bocatoma y fluye hacia el conducto y la tapa donde estamos indicando esta opción, la sustancia que se tiene inicialmente es aire.

Es importante mencionar que los parámetros de las condiciones de contorno se pueden introducir por medio de ecuaciones con el cuadro **fx** para detallar más aún las condiciones del flujo o el caso a evaluar.

C) Wall

- Real Wall

La pared que está en contacto con el fluido tiene adherencia con el mismo, es decir, la condición real de que el muro está provocando fricción con el fluido y generando un gradiente de velocidad en el mismo (GoEngineer, s. f.).

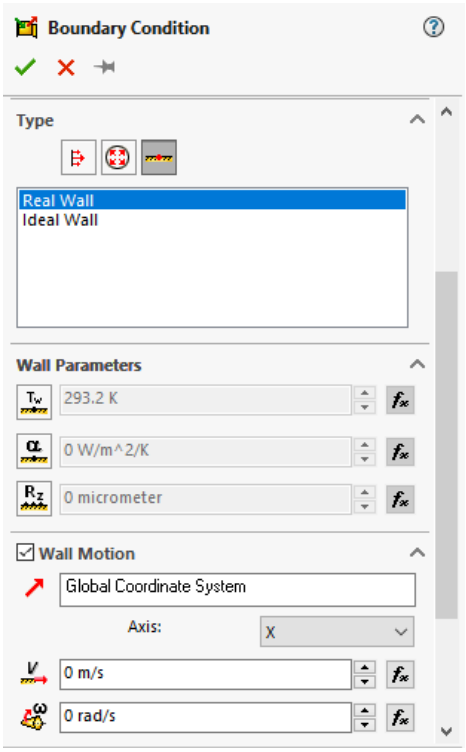
Se puede observar que con esta opción se despliegan los parámetros de Temperatura, Coeficiente de transferencia de calor y Rugosidad de la pared.

La casilla **Wall Motion** permite introducir una condición de movimiento en la superficie, identificando una velocidad lineal o angular a la que se desplaza.

- Ideal Wall

La pared en contacto se considera ideal y no provoca fricción en el fluido, solamente funciona como contenedor del mismo.

En esta opción no se tienen más parámetros que incluir, puesto que no afecta en nada al flujo.



Type Wall, condiciones de pared

5. Goals

Los objetivos, o metas, son una herramienta que utiliza Flow Simulation para tres propósitos en específico:

- Definir los objetivos de diseño

Define cuáles son los objetivos clave que se está buscando con la simulación. Una velocidad máxima, o una presión negativa, por ejemplo. Al resolver el problema se puede observar cómo están variando estos objetivos y se puede exportar una tabla resumen de forma automática en Excel.

Galliera menciona que se puede comparar diseños de forma rápida con una tabla de objetivos entre dos modelos donde se ha variado la geometría (Galliera, 2015).

- Control de convergencia

La simulación se resuelve de manera iterativa, por lo que los parámetros se actualizan hasta hallar la solución. Los objetivos no varían en gran medida, sin embargo, añadir las metas hace que la solución converja dando al usuario la confianza de que los criterios clave se mantienen y el diseño es preciso.

- Finalizar el cálculo

El solucionador itera sucesivamente cambiando muy poco con cada iteración. Este proceso lo puede realizar desde menos de 30 segundas hasta sobrepasar a los 15 minutos (experiencia tomada por el autor con un tiempo de 16 minutos para una solución). Es por esto que los objetivos son una excelente manera de indicar al solucionador que debe finalizar el cálculo.

Para ciertas situaciones es de utilidad usar las metas, en cambio en problemas con una solución transitoria, podría no llegar a converger en ningún momento, requiriendo asignar un tiempo físico para el cálculo.

5.1. Tipos de metas u objetivos

Al insertar un objetivo, el simulador ofrece varios tipos de metas.

- Objetivos Globales

Es un parámetro físico que se considera en todo el dominio computacional definido donde se resuelve la simulación.

- Objetivos Puntuales

Es un valor en un punto en específico. Se puede introducir mediante valores de coordenadas o por una referencia. Este tipo de meta se puede aplicar para comparar los resultados calculados en un punto con una medición de pruebas físicas.

- Objetivos de Superficie

Es un valor que se aplica en la superficie seleccionada. Por ejemplo, al utilizar un objetivo que limite la entrada o salida a través de una superficie.

- Objetivos de Volumen

Es un parámetro que se puede asignar a un volumen especificado.

- Objetivos de Ecuación

Un objetivo de ecuación se puede definir combinando los otros tipos de objetivos, bajo la relación que se requiera verificar. Galliera expone como ejemplo la caída de presión en un sistema, restando la presión superficial en la entrada con la presión superficial en la salida del sistema. También para verificar la eficiencia de intercambio de calor o eficiencia de la bomba.

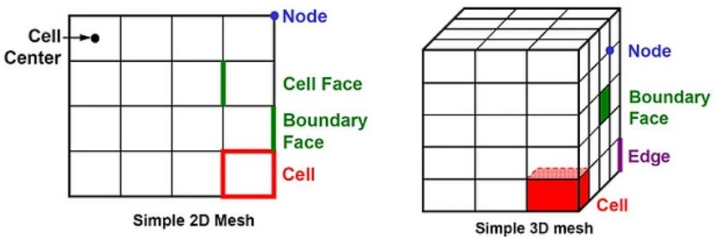
5.2. Definición de objetivos

Una vez escogido el tipo de objetivo y la zona donde se aplicará, se seleccionan las casillas correspondientes a los parámetros que se pueden introducir. Se puede escoger entre Mínimo, Promedio (Av), Máximo y Promedio masivo (Bulk Av). La casilla *Use for Conv*. determina que ese objetivo se usará como control de convergencia.

6. Malla computacional

Al aplicar el método de elementos finitos o volúmenes finitos se menciona la aplicación en nodos o volúmenes que forman el dominio sobre el que se calcula. Los nodos se unen formando células o celdas, que a su vez se unen formando mallas. Por lo tanto, la malla es el conjunto de celdas y nodos que se unen a lo largo de todo el dominio en el que se

produce el flujo, estas mallas son las que utiliza la calculadora del CFD para resolver las ecuaciones.



Partes de una malla

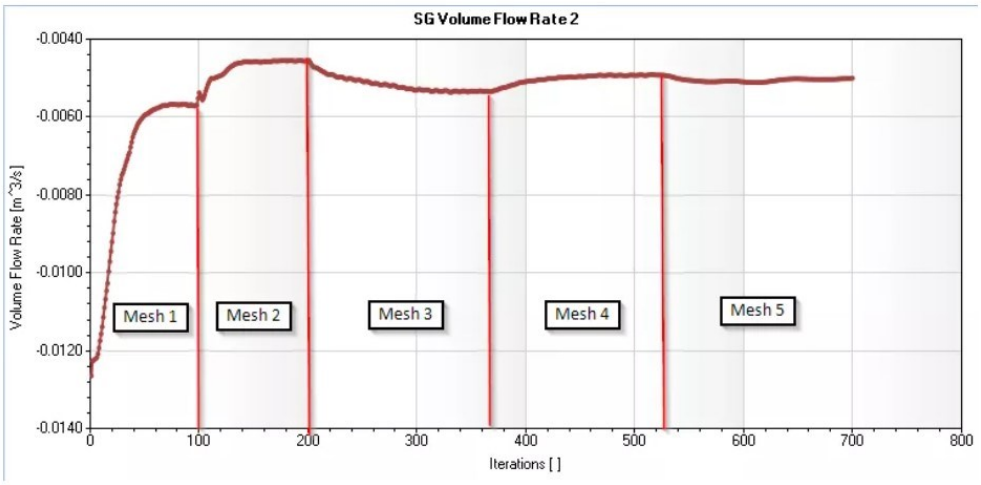
Fuente: SolidSolutions, 2016

Es así que la definición de la malla puede hacer variar el resultado del modelo, o incrementar notablemente el tiempo de cálculo. Entonces surge la pregunta de ¿Cómo hallar la malla más adecuada para la simulación?

La definición óptima de la malla es aquella que garantiza que la solución alcanzada sea convergente e independiente de la malla.

El blog SolidSolutions explica que la convergencia de los valores regula lo satisfactoria que es la simulación. La convergencia se produce cuando el solucionador (*solver)* encuentra que los parámetros alcanzan valores constantes a través de iteraciones consecutivas, deteniendo el cálculo.

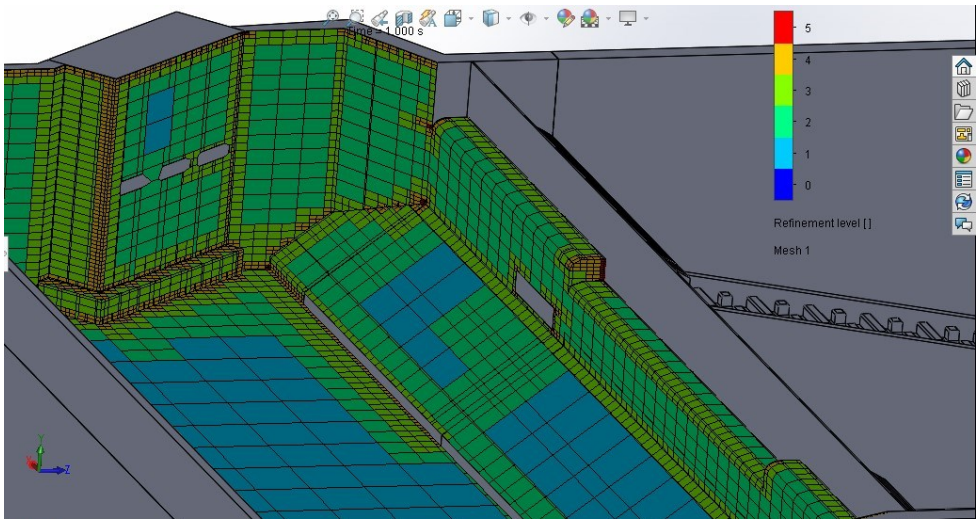
Sin embargo, "se puede obtener una solución convergente a partir de una malla gruesa y una solución convergente completamente diferente utilizando una malla fina" (*Finding a Good Mesh Fast in SOLIDWORKS Flow Simulation*, s. f.), por lo que la convergencia de parámetros no implica haber hallado una buena solución. Entonces se entra a un proceso de prueba y error, modificando el refinamiento de la malla. El proceso puede ser largo, pero Flow Simulation lo puede manejar en un único estudio, donde el refinamiento varía cada vez que los parámetros convergen, buscando que el refinamiento de la malla no altere el resultado donde se produce la convergencia. Por así decirlo, los parámetros deben converger en las iteraciones y también en el refinamiento de la malla.



Convergencia en refinamiento de mallas

Fuente: SolidSolutions, 2016

En la ilustración se puede observar cómo con una primera malla los parámetros convergen, al refinar a la segunda malla la convergencia se halla en un valor bastante mayor. En cambio, en el refinamiento de la malla 4 a la malla 5 la convergencia alcanza un resultado muy similar, por lo que se reconoce a este como el resultado de la simulación.



Refinamiento de malla

En la ilustración se muestra el estado de la malla para la cual se ha obtenido la convergencia en el estudio de la obra, se puede observar cómo se ha refinado en las esquinas especialmente para que la variación del flujo tenga un mayor detalle.

7. Iniciar el solucionador

En la pestaña de Flow Simulation se escoge la opción *Run* (Ejecutar), donde surge una ventana.

En la primera ejecución se marcará por defecto la opción de calcular la malla, en cambio en siguientes ejecuciones podemos escoger si iniciar el cálculo de cero o continuar tras la última iteración, pudiendo recalcular la malla también.