

SIMULADOR DE MODOS PROPIOS v1.0

MANUAL DE USUARIO



Esta aplicación permite calcular y evaluar los modos propios de recintos modelados en 3D. Utiliza el motor de cálculo del programa COMSOL Multiphysics. Este documento presenta las herramientas de la aplicación y un breve tutorial de ejemplo.

Contenido

I.	Descarga e instalación.....	3
II.	Herramientas.....	3
	Importar modelo	4
	SketchUp Online.....	4
	Graficar geometría	4
	Malla.....	4
	Resoluciones.....	4
	Contornos.....	4
	Calcular.....	4
	Graficar modos.....	5
	Exportar tabla.....	5
	Generar reporte	5
	Planilla de análisis	5
	Frecuencia de Schroeder.....	5

III.	Ejemplo práctico.....	6
	Importando modelo geométrico.....	6
	Cálculo	7
IV.	SketchUp Online.....	9
V.	Pautas de dibujo.....	11

I. Descarga e instalación

Existen dos alternativas para utilizar la aplicación:

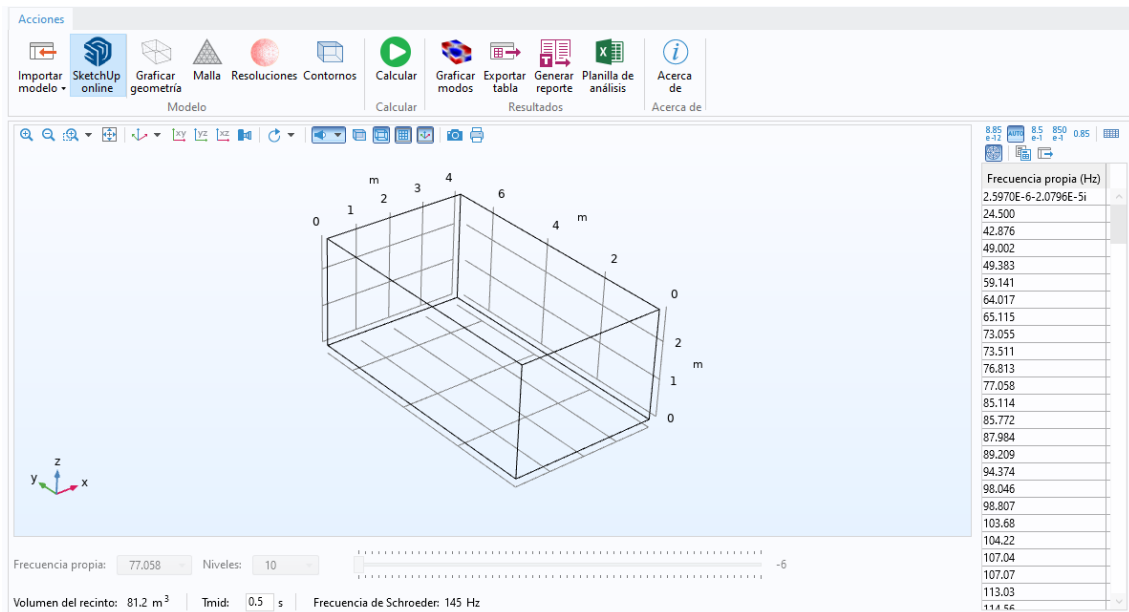
1. Mediante el archivo `Simulador_modos_propios.mph`, el cual se ejecuta utilizando el software COMSOL Multiphysics® (versión 5.6 o superior). Este archivo contiene el diseño y la implementación de los métodos necesarios para ejecutar la aplicación. Se puede descargar desde el siguiente repositorio en GitHub: <https://github.com/Ylio7/simulador-de-modos-proprios>. Las próximas versiones y actualizaciones serán publicadas en el mismo repositorio.
2. Si no se tiene instalado COMSOL Multiphysics®, se podrá utilizar la versión ejecutable para Windows que se descarga desde el siguiente enlace: <https://bit.ly/3ifNOKw>.

Pasos a seguir:

- I. Extraer el archivo `Simulador_de_modos_propios.exe` antes de ejecutarlo.
- II. Si al iniciar el programa aparece un mensaje de advertencia de Windows Smart Screen, elegir *Más información > Ejecutar de todas formas*.
- III. Si es detectado por Windows Defender, agregar el programa a la lista de permitidos.
- IV. Si es la primera vez que se ejecuta la aplicación en el ordenador, se descargará en primera instancia el *runtime environment* de COMSOL Multiphysics® necesario para correr la aplicación. Se deberán aceptar los términos y condiciones y elegir la carpeta de instalación (se recomienda dejar la que viene por defecto).

II. Herramientas

La aplicación inicia con el modelo geométrico por defecto (default) junto con la tabla de sus frecuencias propias.



Importar modelo

Permite importar modelos geométricos en formato .stl, .dwg, .dxf y otros de CAD 3D. Se recomienda que los modelos realizados en SketchUp sean exportados a formato .stl.

SketchUp Online

Abre el sitio web <https://app.sketchup.com/app> que permite realizar modelos de salas con las herramientas del software SketchUp, para ser luego importadas a la aplicación. Para más información ver [SketchUp Online](#).

Graficar geometría

Traza el modelo geométrico en el área de gráfico.

Malla

Traza la malla de cálculo en el área de gráfico.

Resoluciones

Permite aumentar la resolución de la malla y de los ángulos entre caras (este último exclusivamente para modelos .stl).

Contornos

Permite seleccionar con el mouse y ocultar contornos (caras). Útil para observar las zonas de presión e isocurvas dentro del recinto.

Calcular

Efectúa el cálculo de las frecuencias propias en base a dos parámetros de entrada:

- Cantidad mínima de frecuencias a calcular: el valor por defecto se calcula para cubrir el entorno de la frecuencia de Schroeder.
- Calcular a partir de los: indica frecuencia mínima, aunque la misma podría ser aún menor según las dimensiones del recinto. Generalmente se recomienda dejar este valor en 20 Hz.

Una vez calculadas las frecuencias propias se muestran en la tabla a la derecha del gráfico.

Graficar modos

Traza los mapas de presión e isocurvas utilizando el código de colores que se observa a la derecha y que comprende desde el azul (zonas de mínimos de presión), pasando por el blanco (zonas de cancelación) hasta el rojo (máximos de presión). Habilita los controles interactivos debajo del gráfico. Estos permiten seleccionar la frecuencia propia a mostrar, manejar con un control deslizante el comportamiento de las isocurvas y seleccionar la cantidad de niveles para subdividirlas.

Exportar tabla

Exporta la tabla de frecuencias propias calculadas a un archivo .txt.

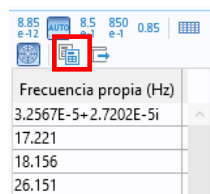
Generar reporte

Confecciona un informe automático según los siguientes datos de entrada:

- Título
- Autor
- Empresa
- Fecha
- Versión
- Resumen

Planilla de análisis

Abre la planilla Modos_COMSOL que permite observar la distribución de modos y realizar un análisis según el criterio de Bonello. Para su correcta utilización, en primera instancia se deben copiar las frecuencias propias al portapapeles utilizando la herramienta correspondiente en la tabla de resultados.



Frecuencia propia (Hz)
$3.2567E-5 + 2.7202E-5i$
17.221
18.156
26.151

Luego, en la planilla se debe clicar en el botón Importar Datos que se encargará de realizar los cálculos y generar los gráficos necesarios para el análisis. También se deberá ingresar un nombre a la sala. Los resultados se encuentran en la hoja Evaluación.

Frecuencia de Schroeder

En zona inferior de la aplicación aparecen los siguientes datos:

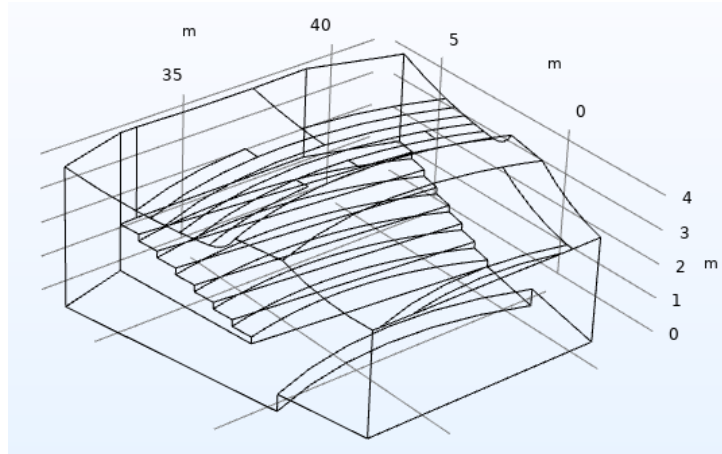
- Volumen del recinto: calculado automáticamente.
- Tiempo de reverberación a frecuencias medias T_{mid}^1 : debe ser ingresado por el usuario.
- Frecuencia de Schroeder: con los datos del Volumen y el T_{mid} , la aplicación calcula la frecuencia de corte a partir de la cual se estima que el comportamiento ondulatorio del recinto deja de ser relevante. Esta frecuencia debe tomarse a modo indicativo, ya que dependerá también de la morfología del recinto bajo análisis.

¹ Promedio del tiempo de reverberación en las bandas de 500 y 1000 Hz.

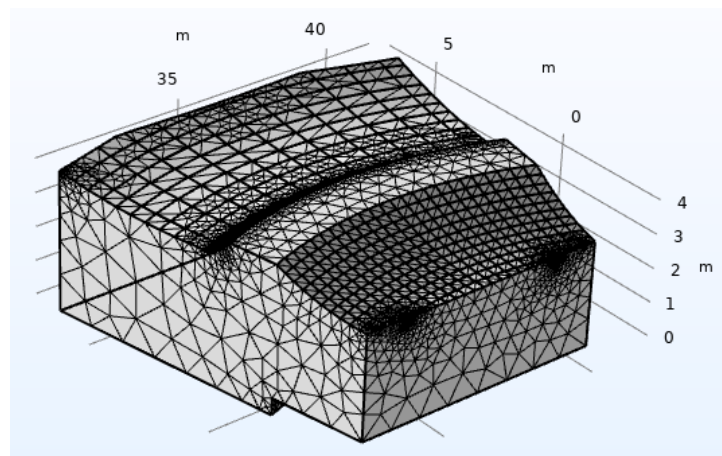
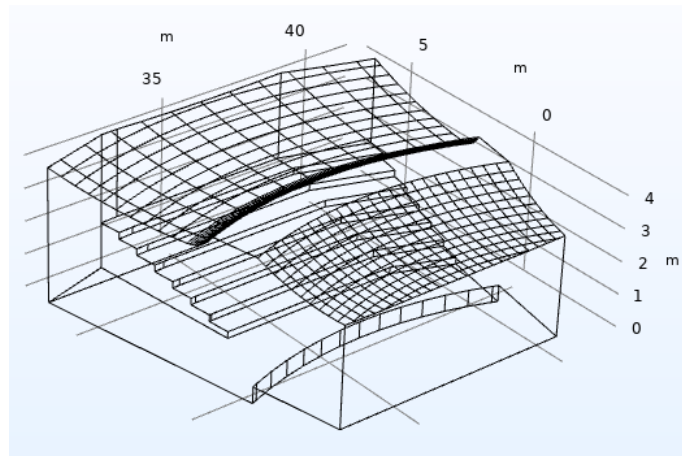
III. Ejemplo práctico

Importando modelo geométrico

Procedemos a utilizar la herramienta Importar modelo > Importar STL y buscamos el archivo conferencia.stl dentro de la carpeta models. Al finalizar se genera la geometría:



Al inspeccionar el modelo se verifica una baja calidad en la morfología de las superficies curvas. Para mejorar esto se debe utilizar la herramienta Resoluciones. Debido a que el archivo importado es .stl, es posible aumentar la resolución angular entre caras. Seleccionar la opción Extra alta y verificar que las curvas han sido mejoradas considerablemente.



La resolución de la malla también puede aumentarse (lo que incrementará el tiempo de cálculo). Generalmente deberá utilizarse la opción Normal que viene por defecto.

Cabe destacar que el ajuste de estas resoluciones no es obligatorio, dependerá exclusivamente de la complejidad del modelo. El cálculo puede efectuarse directamente luego de importar el modelo ya que la aplicación utilizará las resoluciones por defecto (Normal).

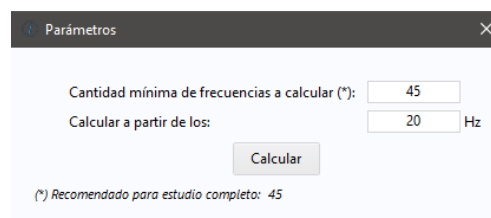
Con el mouse es posible interactuar con la geometría. Con el botón izquierdo se rota la vista y con el derecho se desplaza el plano actual. Manteniendo apretado el botón central y moviendo el mouse hacia arriba y abajo se logra hacer zoom-in y zoom-out. Estas acciones también pueden llevarse a cabo con los controles superiores del panel gráfico.

Cálculo

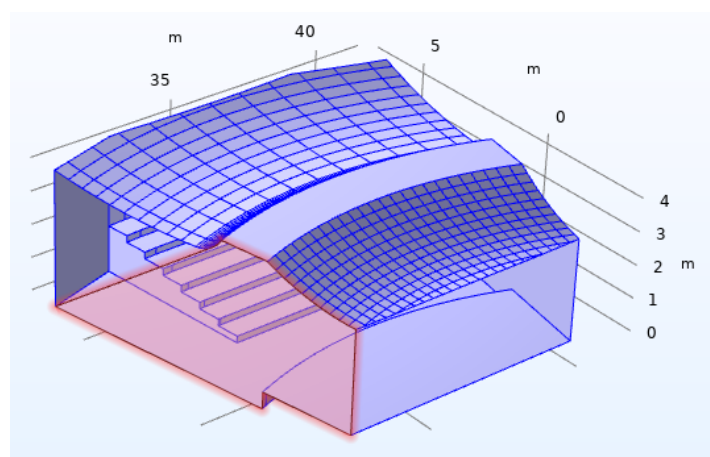
Una vez importado el modelo se deberá ingresar el valor del T_{mid} . Para este ejemplo utilizaremos el valor de 0.90 segundos, por lo que la frecuencia de Schroeder será de 96.6 Hz.

Volúmen del recinto: 329.9 m³ | TRmid: 0.9 s | Frecuencia de Schroeder: 96.6 Hz

A continuación, hacemos clic en Calcular y vemos que la aplicación recomienda obtener, al menos, 45 frecuencias para alcanzar a cubrir la frecuencia de Schroeder². Sin modificar estos valores, procedemos a calcular.

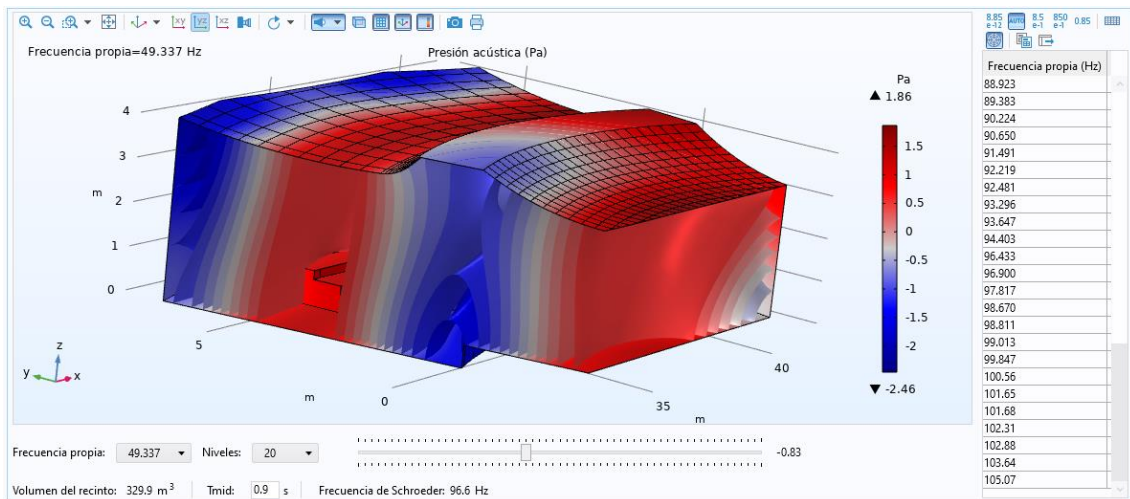


Una vez finalizado, observamos que se han generado el gráfico de modos y la tabla de resultados con las frecuencias propias, la cual alcanza hasta los 105 Hz, por lo que alcanza a cubrir la frecuencia de Schroeder. Para inspeccionar dentro de la sala, hay que ocultar algunas caras utilizando la herramienta Contornos. Luego, volvemos a Graficar modos para continuar con la inspección.



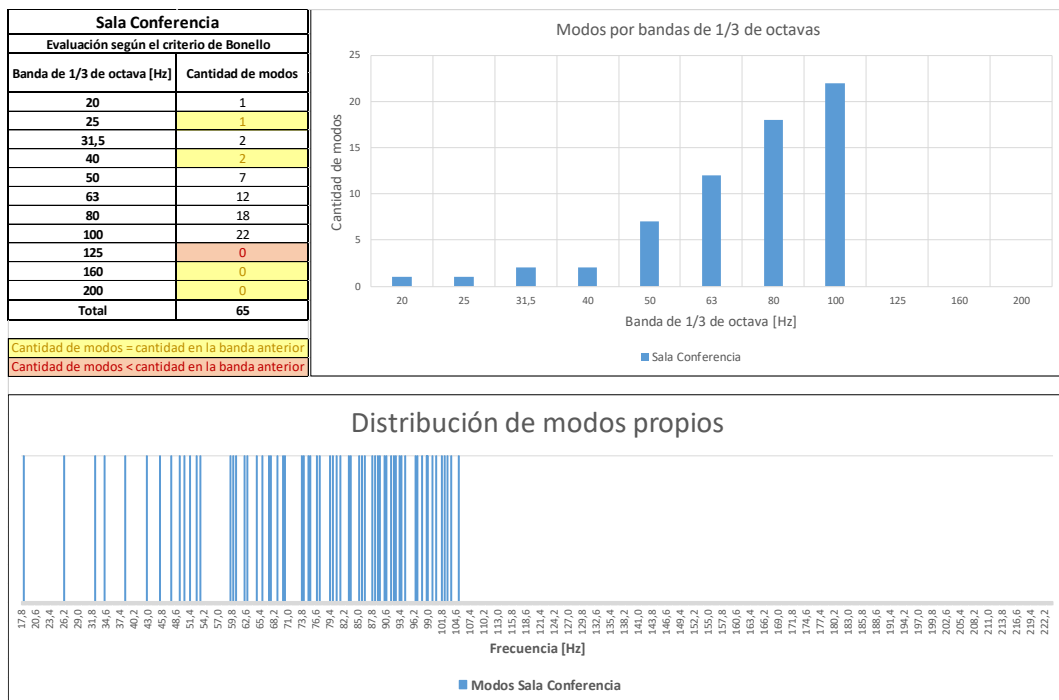
Ajustamos la vista, seleccionamos la frecuencia de 49.3 Hz, una división de niveles de 20 e interactuamos con el control deslizante para observar el comportamiento de las isocurvas.

² Este valor es estimado y podría requerir ser ajustado por el usuario.



Finalmente, procedemos a realizar el estudio de distribución de modos y el análisis según el criterio de Bonello. Para esto, copiamos el contenido de la tabla de resultados al portapapeles

con la herramienta . Luego, clic en Planilla de análisis . Una vez abierta, clic en el botón Importar Datos para importar las frecuencias. A continuación, nombramos la sala como Conferencia y observamos en la hoja Evaluación los siguientes resultados:

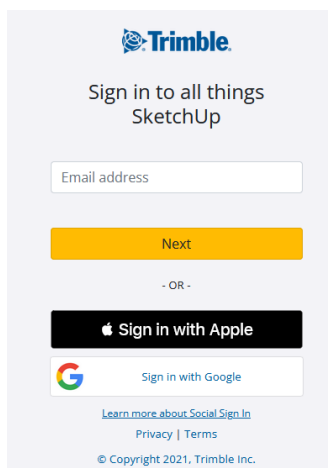


Según se aprecia, el estudio alcanza hasta la banda de tercio de octava de 100 Hz, debido al corte por la frecuencia de Schroeder. En este ejemplo, la distribución de modos cumple con el criterio de Bonello.

IV. SketchUp Online

Es recomendable realizar los modelos utilizando el programa de dibujo SketchUp, fundamentalmente por su sencillez y rapidez. El mismo permite exportar los modelos al formato .stl para ser luego importados a la aplicación.

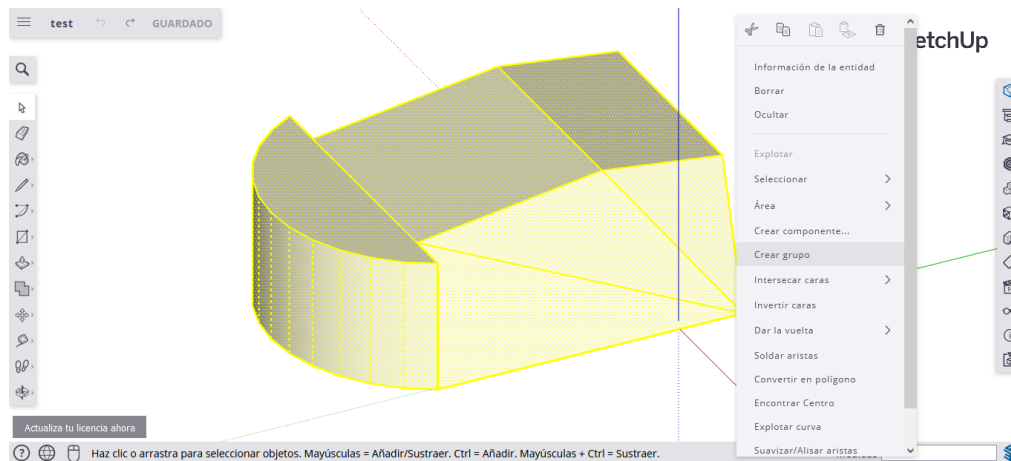
En caso de no contar con este programa, existe una versión online que permite diseñar y modelar salas de manera gratuita. Al hacer clic se abrirá la pagina de inicio de sesión. Se podrá crear una cuenta de Trimble o conectarse con una cuenta de Google o Apple.



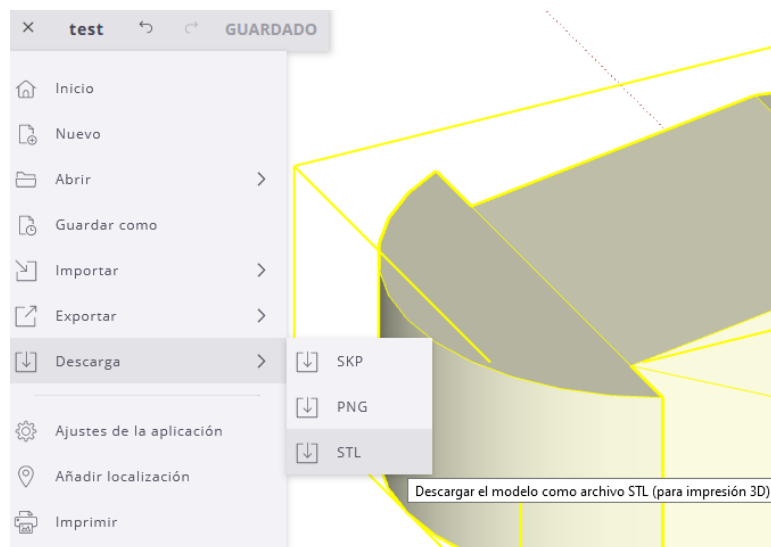
Una vez creado nuestro usuario, aparecerá la pantalla de inicio en donde se mostrarán los modelos realizados. Para comenzar uno nuevo, clic en Crear nuevo. También permite abrir un archivo .skp almacenado en el ordenador.



Una vez modelada la sala, es buena práctica seleccionar todas las caras, hacer clic derecho y elegir la opción Crear grupo. De este modo, haciendo nuevamente clic derecho y seleccionando la opción Información de la entidad, deberá informarnos del volumen de la sala. En caso contrario, habrá que revisar el modelo ya que el mismo no se ha cerrado, lo que producirá errores al intentar importarlo en la aplicación.



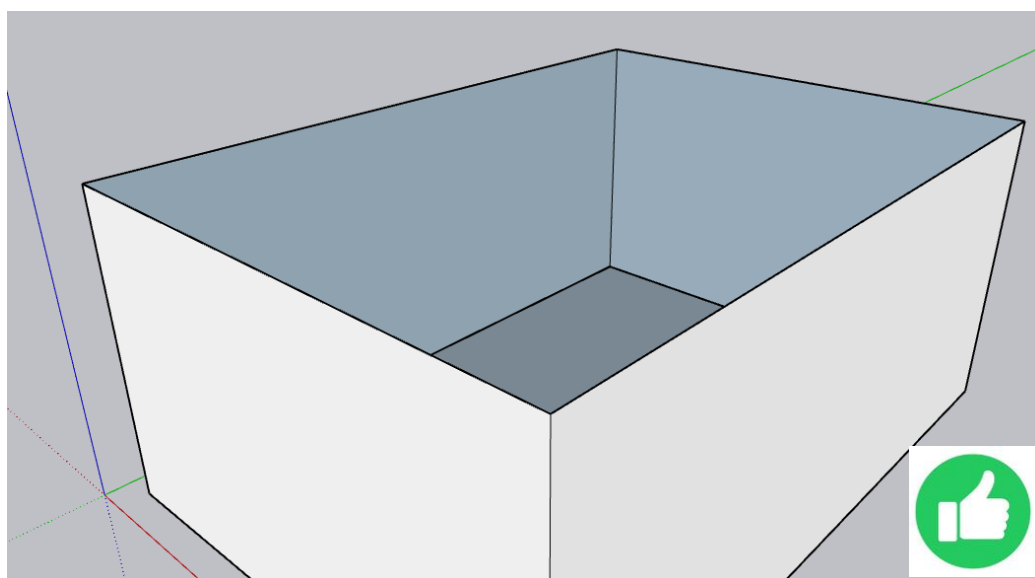
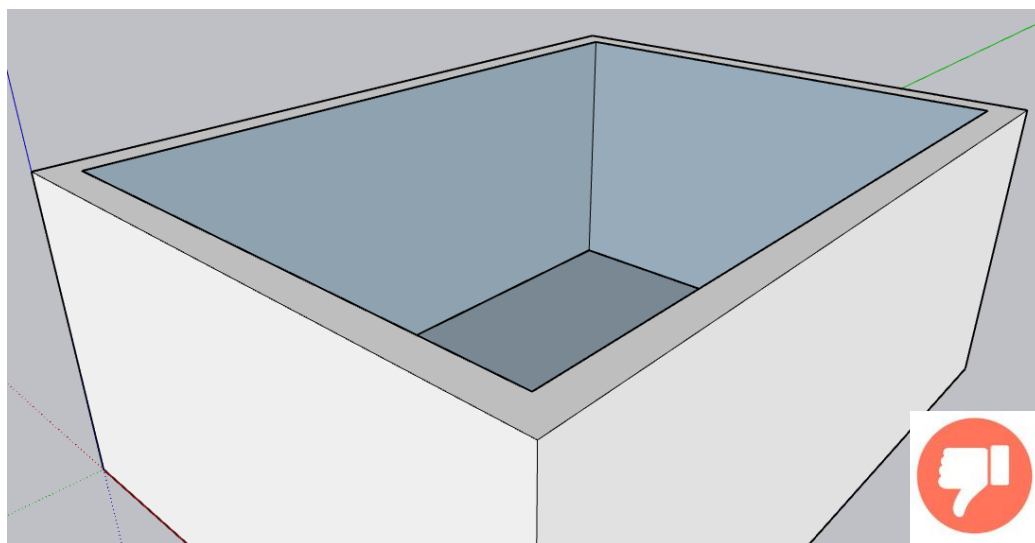
Finalmente, para guardar el modelo en el ordenador se debe hacer clic en el menú desplegable y elegir la opción Descargar > STL. Este archivo es el que se importará a la aplicación.

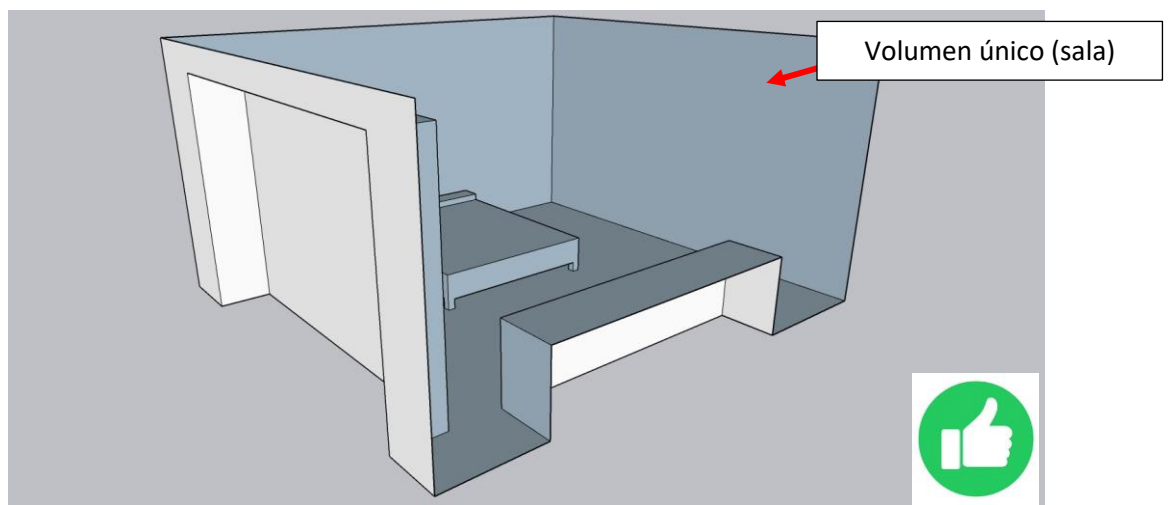
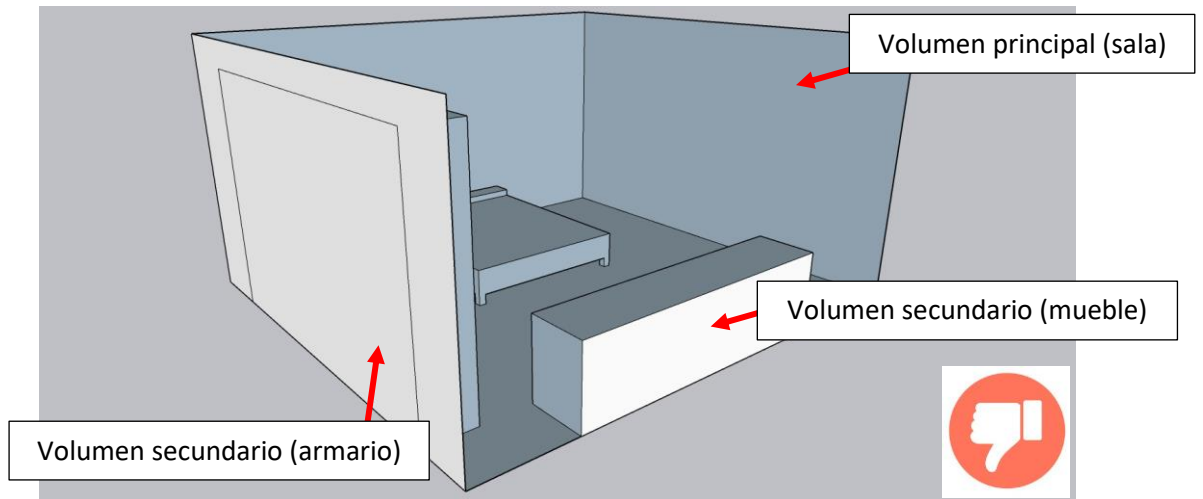


V. Pautas de dibujo

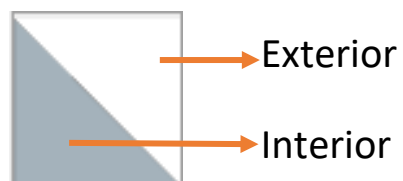
Más allá del programa de dibujo utilizado para modelar las salas, se deben respetar algunas indicaciones necesarias para que el modelo sea importado y evaluado de manera óptima. A continuación, se enumeran y ejemplifican algunas de ellas.

1. Las superficies límite de la sala y los elementos internos no deben tener espesor, es decir, deben ser un plano simple sin volumetría. El cálculo se realiza únicamente considerando la cara interna de las superficies, por lo que agregarle espesor producirá errores en la importación del modelo y/o errores de cálculo. No deben existir volúmenes interiores, solamente debe modelarse un único volumen que contenga toda la sala.

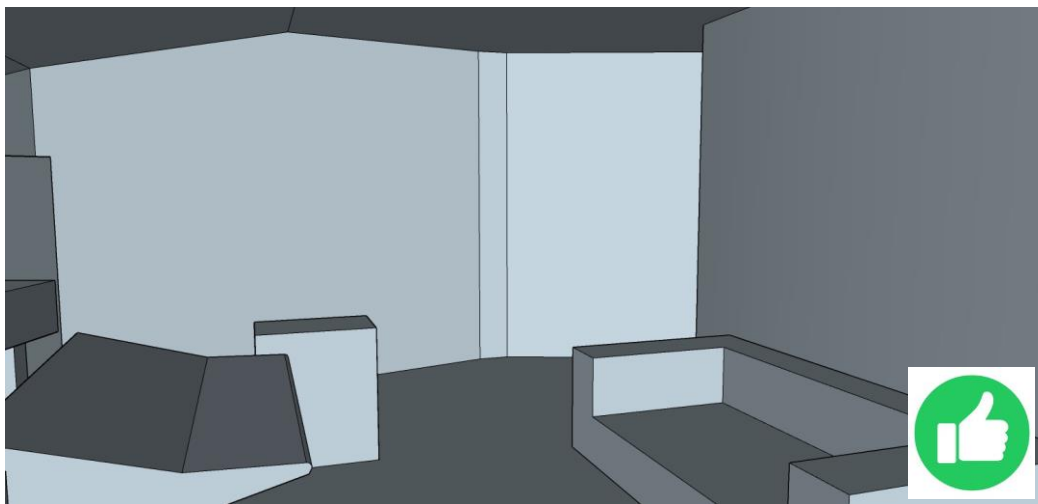
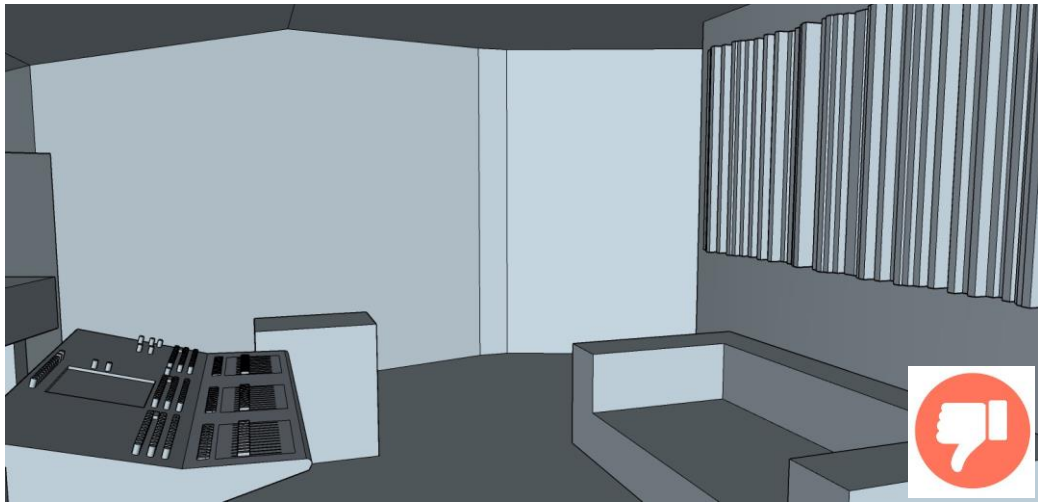




2. Verificar la correcta orientación de las caras de cada superficie. En SketchUp, los colores por defecto identifican las caras exteriores e interiores mediante el siguiente código de colores:



3. Realizar modelos simplificados. Por la naturaleza de este tipo de estudios, modelar superficies de pequeñas dimensiones o con un alto grado de detalle, no modificará sustancialmente los resultados y aumentarán considerablemente el tiempo de cálculo.



4. Verificar que, una vez finalizado el modelado, el programa de diseño permita calcular el volumen total del recinto. En caso de no ser así, podría existir alguna falla en el dibujo. La extensión Solid Inspector² (<https://extensions.sketchup.com/extension/aad4e5d9-7115-4cac-9b75-750ed0902732/solid-inspector>) permite verificar este tipo de fallas en SketchUp.