

Una lección sobre el croquizador

Christoph Blaue

con especial agradecimiento a los miembros del Foro de FreeCAD:

bejant, TheMarkster, openBrain, MSOlsen65

Traducido al español por:

Juan Carlos Ruiz Gómez (jruiz).

13 de mayo de 2020

Índice

I	Bases	6
1.	Crea un croquis	6
1.1.	Crea un croquis desde el banco de trabajo croquizador (Sketcher)	6
1.2.	Crea un croquis desde el banco de trabajo diseño de parte	7
2.	La ventana del croquizador	9
3.	Observaciones generales sobre los grados de libertad	11
4.	Restricciones automáticas	14
4.1.	Restricciones automáticas habilitadas	14
4.2.	Restricciones automáticas inhabilitadas	17
II	Elementos geométricos	19
5.	Uso común	19
6.	Segmento de recta (<i>line</i>)	20
7.	Circunferencia	23
8.	Arco	28
9.	Polilínea	30
10.	Rectángulo	33
11.	Polígono	34
12.	Ranura	35
13.	Interpolaciones segmentarias (<i>BSplines</i>)	38
14.	Secciones cónicas	43
14.1.	Creando y usando secciones cónicas	43
14.2.	Tangencia y perpendicularidad sobre secciones cónicas	44

15.Geometría de construcción	44
16.Punto	46
III Restricciones	48
17.Seleccionando restricciones	48
18.Aplicando restricciones	49
19.El solucionador	50
19.1. Resolviendo un croquis	50
19.2. Croquis que se voltean	51
19.3. Mensajes del solucionador	53
19.3.1. Mensajes que quieres ver	53
19.3.2. Mensajes no deseados	54
20.Coincidencia	58
21.Punto sobre objeto	59
22.Vertical	60
23.Horizontal	61
24.Paralela	62
25.Perpendicular	62
26.Tangencia	65
27.Igualdad	70
28.Simetría	71
29.Bloque	76
30.Distance horizontal	77
31.Distance vertical	78
32.Bloqueo	78

33.Longitud	79
34.Radio y diámetro	80
35.Ángulo	80
36.Más de lo que debes hacer y no debes hacer con las restricciones	83
37.Dimensiones conducidas	85
38.Geometría externa	86
 IV Creando objetos basados en croquis	 91
39.Croquis para extrusiones y bolsillos	91
40.¡Usa la simetría!	91
41. <i>Placement and AttachmentOffset</i>	91
42.Valida los croquis	91

Introducción

Esta lección se creó para FreeCAD 0.19. Todo se probó con la versión 0.19.21007 o alguna más nueva. Lo que se describe aquí pudiera no estar disponible o pudiera tener otra apariencia en otras versiones de FreeCAD.

Los croquis sirven como entidades básicas en la mayoría de los objetos del banco de trabajo Diseño de Parte y también se usan a menudo en el banco de trabajo Parte. En esta lección mostraré cómo crear un croquis y cómo manipular los distintos elementos geométricos y las distintas restricciones.

Antes de trabajar usando esta lección deberías familiarizarte con la forma de crear un documento FreeCAD y con las nociones de banco de trabajo y cómo cambiarlo. Deberías saber lo qué es la vista 3D y tener un conocimiento básico respecto a la organización de un cuerpo en un diseño de parte.

Parte I


Bases

1. Crea un croquis

Existen dos posibilidades para crear un croquis. Ambas, aunque son muy parecidas, no son idénticas.

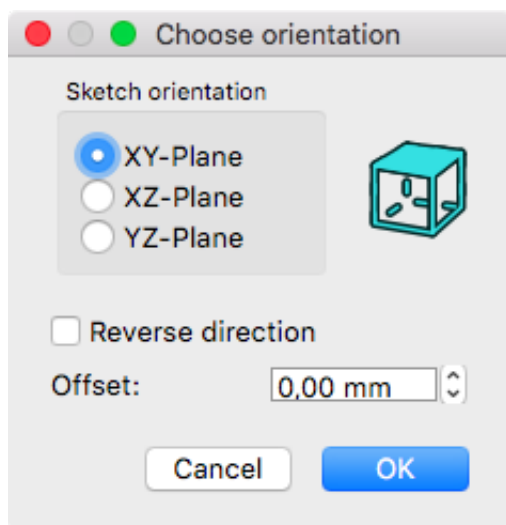
1.1. Crea un croquis desde el banco de trabajo croquizador (Sketcher)

En el banco de trabajo croquizador puedes crear un croquis a partir del menú:

Croquizador → Crea croquis. Pero en lugar de esto probablemente usarás el ícono .

Dependiendo de la selección que hagas aparecerán diferentes cosas.

- Si no se ha seleccionado nada, se te preguntará por la orientación del croquis:




Deberás seleccionar el plano en dónde quieres que descansa el croquis que quieres crear. Si seleccionas además *Reverse direction*, creará el croquis en la parte “posterior” del plano seleccionado, como dibujar en la parte trasera de una hoja de papel. El *Offset* (compensación) mueve el croquis perpendicularmente al plano seleccionado.

- Si seleccionaste una cara plana, entonces el croquis se adhiere a esa cara, *i. e.* es como diagramar en esa cara.
- Si necesitas opciones para ubicaciones más sofisticadas mira la sección 41.

Luego de presionar el botón OK entramos al modo de edición del croquizador inmediatamente

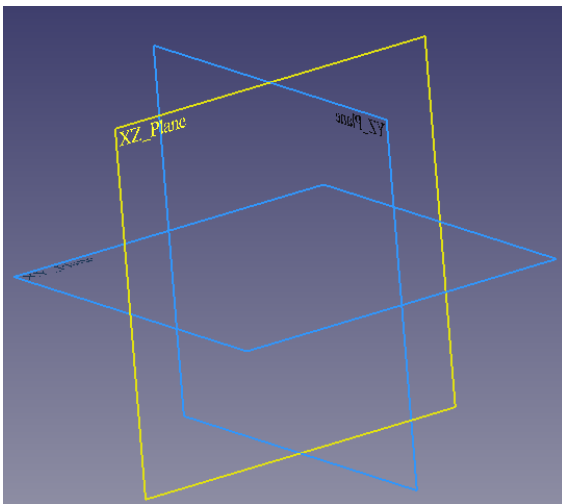
1.2. Crea un croquis desde el banco de trabajo diseño de parte

En el banco de trabajo diseño de parte (*Part Design*), tienes el mismo ícono , pero como en el banco de trabajo diseño de parte, todo sucede dentro de un cuerpo, cuando le das un clic, pasa lo siguiente:

- Si no tienes un cuerpo en tu documento, se crea uno nuevo y se activa. Luego se crea un nuevo croquis dentro del cuerpo.
- Si tienes únicamente un cuerpo en tu documento, éste se activa y se crea un croquis nuevo dentro de él.
- Si existe un cuerpo que esté activo, el croquis nuevo se crea dentro de él. Esto sucede independientemente del número de cuerpos que contenga el documento.
- Si el documento posee varios cuerpos pero ninguno está activado, se mostrará un mensaje de error, solicitando que se active algún cuerpo.

Además de este comportamiento, dependiendo de la selección hecha con anterioridad, puede suceder lo siguiente:

- Si no se ha seleccionado nada, se abre un panel nuevo y tendrás que seleccionar la orientación del croquis nuevo en el panel o en la vista 3D (está a la derecha) mediante la selección de uno de los planos principales. En la imagen siguiente, está preseleccionado el plano XZ.



En esta etapa, sin escoger nada en la caja de selección, presiona OK.

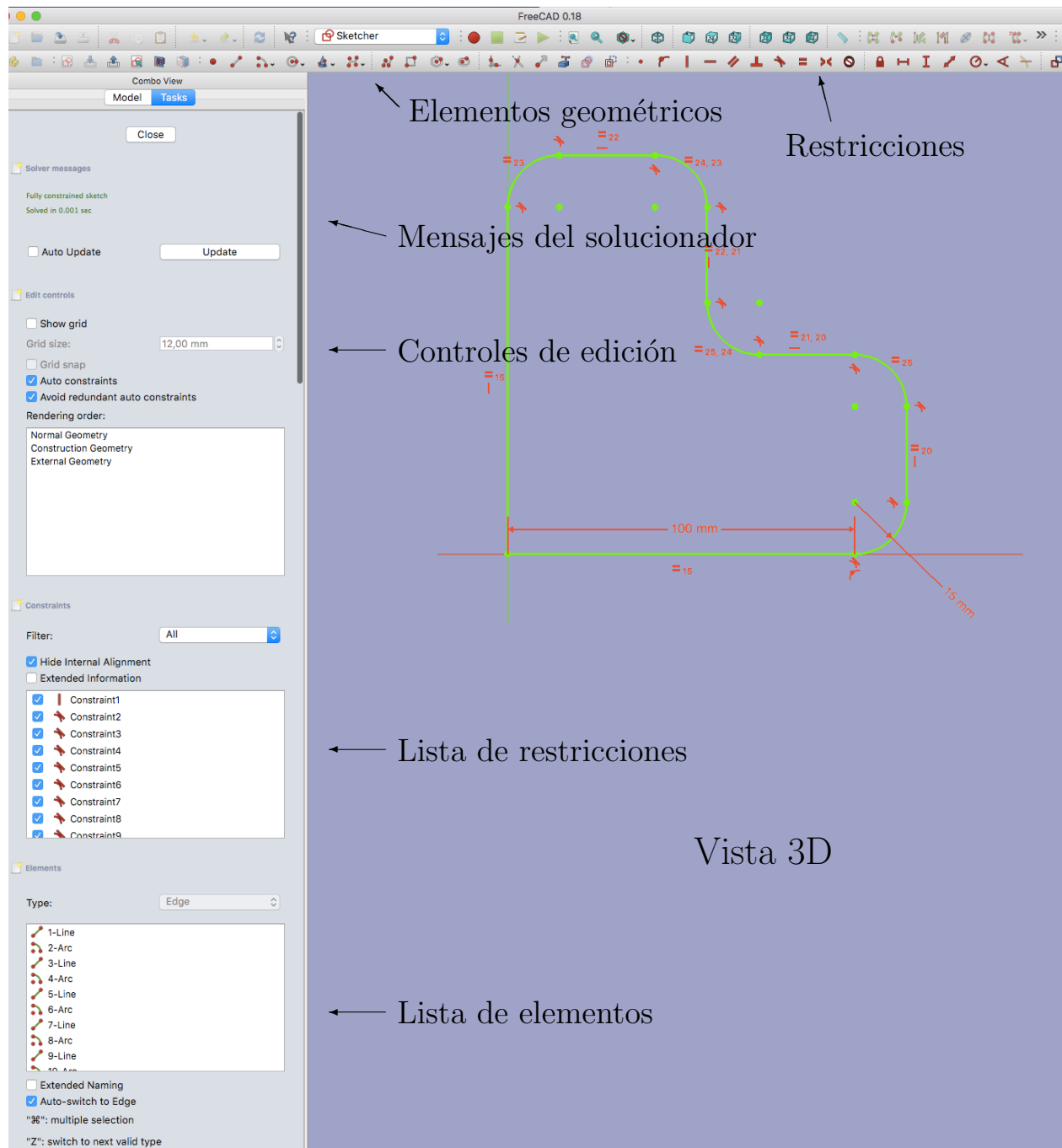
- Si se selecciona una cara o un plano dentro del cuerpo activo o del único cuerpo que exista, el nuevo croquis se adherirá a esa cara, *i. e.* es como diagramar sobre esa cara.
- Si se selecciona una cara fuera del cuerpo activado (o del único cuerpo que exista), surgirá una pregunta sobre cómo enlazar esa cara. Sinceramente, no recomiendo este esquema de trabajo. Particularmente prefiero crear un *ShapeBinder* por mi mismo para así tener un mejor control de las caras que se incluyan.

- La opción “Haga una copia independiente”, crea un *ShapeBinder* no enlazado al cual se adhiere el croquis.
- La opción “Haga una copia dependiente”, crea un *ShapeBinder* enlazado al cual se adhiere el croquis. Si se realizan cambios en el otro objeto, el *ShapeBinder* hará lo consiguiente.
- La opción “Crear un referencia cruzada” crea un enlace prohibido (mensaje: *El enlace se sale del alcance permitido*). No recomiendo usar esta opcion jamás.

Ahora entras al Croquizador.

2. La ventana del croquizador

No usaremos todos los *widgets* en la ventana del croquizador, sino una rápida mirada a aquellos usados. Espero que esto ayude a esclarecer lo que voy a hablar después.



Panel del Croquizador

Vista 3D. Los croquis se editan en la vista 3D. No obstante, los croquis son estrictamente bidimensionales.

El panel del Croquizador. Al lado izquierdo de la figura, se puede ver el panel del Cro-

quizador en la vista de combo. Si fuera necesario, puedes cambiar a la vista de árbol y regresar.

Hay regiones diferentes (o “*widgets*”) en el panel que controla la información adicional respecto al croquis. Puedes contraer o expandir los mensajes del solucionador, los controles de edición, las restricciones y los elementos.

El botón de cerrar. Ubicado en la parte superior, termina la sesión de edición del croquizador.

Mensajes del solucionador. Debajo del botón de cierre, puedes ver los mensajes del solucionador mostrando “Croquis vacío” hasta que agregues algún elemento a tu croquis. El área de mensajes del solucionador es muy importante y recomiendo no contraerla. En lugar de esto, préstale muchísima atención.

La rejilla. Por ahora abre los “controles de edición” y desmarca la opción “Muestra la rejilla”. Aunque la rejilla puede ser útil para ubicar elementos geométricos, es importante saber que:

- En el croquizador, los elementos geométricos ubicados en las intersecciones de la rejilla nunca están asegurados a ella: se pueden apartar de sus intersecciones si se aplican algunas restricciones.
- Las piezas separadas que comparten un mismo punto de ajuste en la rejilla, no están aseguradas una a la otra y pueden separarse inesperadamente hasta que se les aplique una restricción entre los puntos que se comparten.

Si tienes habilitado el ajuste a la rejilla, pudiera parecer que los puntos ajustados tienen sus posiciones ya definidas por las intersecciones de la rejilla, cuando en realidad son libres de moverse. Por todo esto Yo prefiero mantener esta opción deshabilitada para evitar alguna confusión.

La lista de restricciones. Esta parte se discutirá luego en esta sección. Deja la caja de opciones como está *i. e.* Conjunto de filtros: a Todos, “Oculta alineamientos interno”: habilitado, “Información extendida”: deshabilitada.

La lista de elementos. Esto también se discutirá después en esta sección.

Herramientas de geometrías del croquizador. Se usan para crear puntos, segmentos de recta, arcos y otros elementos geométricos.



Herramientas de restricción del croquizador. Hablando a grandes rasgos, se usan para definir posiciones de los elementos geométricos y sus relaciones mutuas.




3. Observaciones generales sobre los grados de libertad

Un croquis, posee determinados elementos geométricos como segmentos de recta y arcos, los cuales tienen ciertas posiciones en el plano del croquis 2D. Estas posiciones se controlan mediante medidas y por otras relaciones entre otros puntos, segmentos de recta o arcos. El número de *grados de libertad*, o “DOF” (por sus siglas en inglés) es el número de posibilidades hacia donde los elementos se pueden mover.

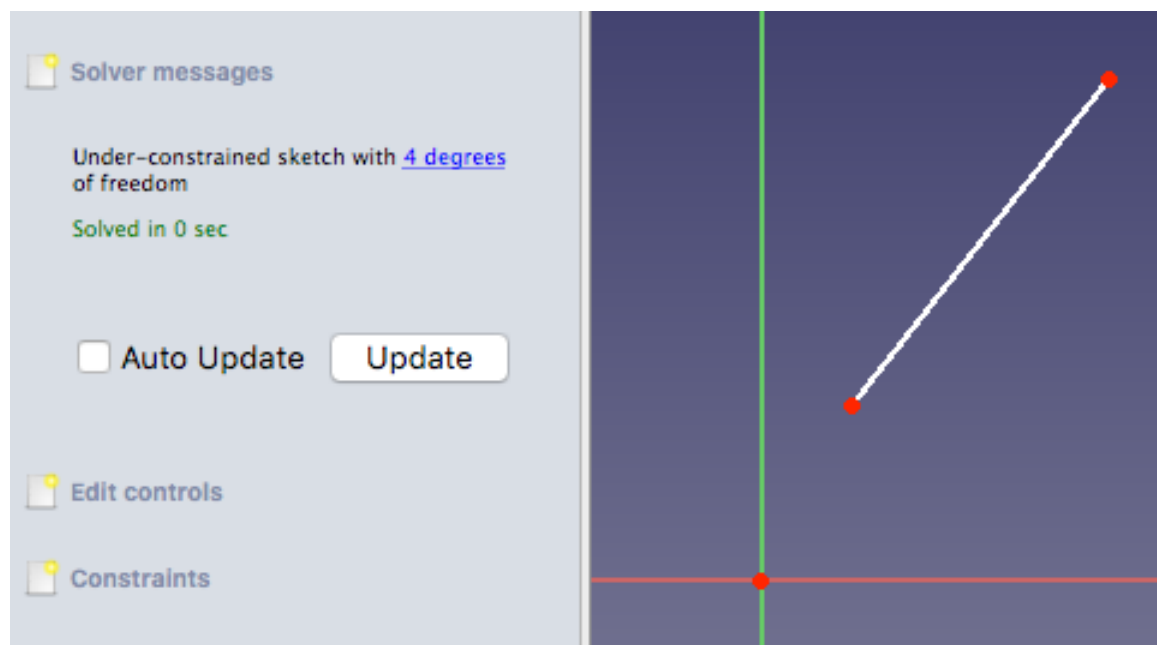
Puedes concebir esta idea como el total de las medidas de las coordenadas x y y del plano que necesitas para fijar todos los puntos, bien sea que estén en solitario o en el extremo de un segmento de recta o de un arco.

Ejercicio 1 *Crea un segmento de recta inclinado sin que ninguno de sus extremos descansa sobre los ejes X o Y*

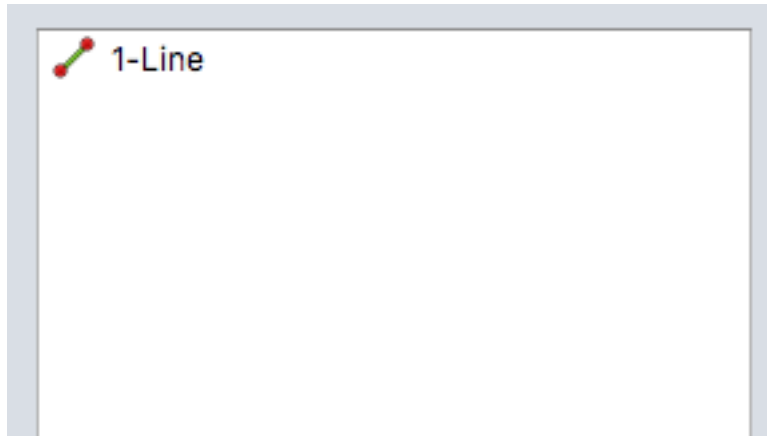
Para hacer esto:

- Pulsa el ícono de creación de un segmento de recta . Ahora puedes ver cerca del cursor un pequeño símbolo rojo de un segmento de recta.
- Pulsa en el sitio en dónde quieras colcar un primer punto.
- Mueve el ratón.
- Pulsa en el sitio en dónde quieras colocar el segundo punto.
- Pulsa el botón de la derecha del ratón para abandonar el modo de creación de segmentos de recta. Este comportamiento se puede configurar en Preferencias→Croquizador→Mostrar→*Geometry Creation* “Continue Mode”.

Ahora los mensajes del solucionador y de la vista 3D deberían verse como:




Al lado derecho ves el segmento de recta en la vista 3D, a la izquierda ves los mensajes del solucionador diciéndote que tienes 4 *grados de libertad*.

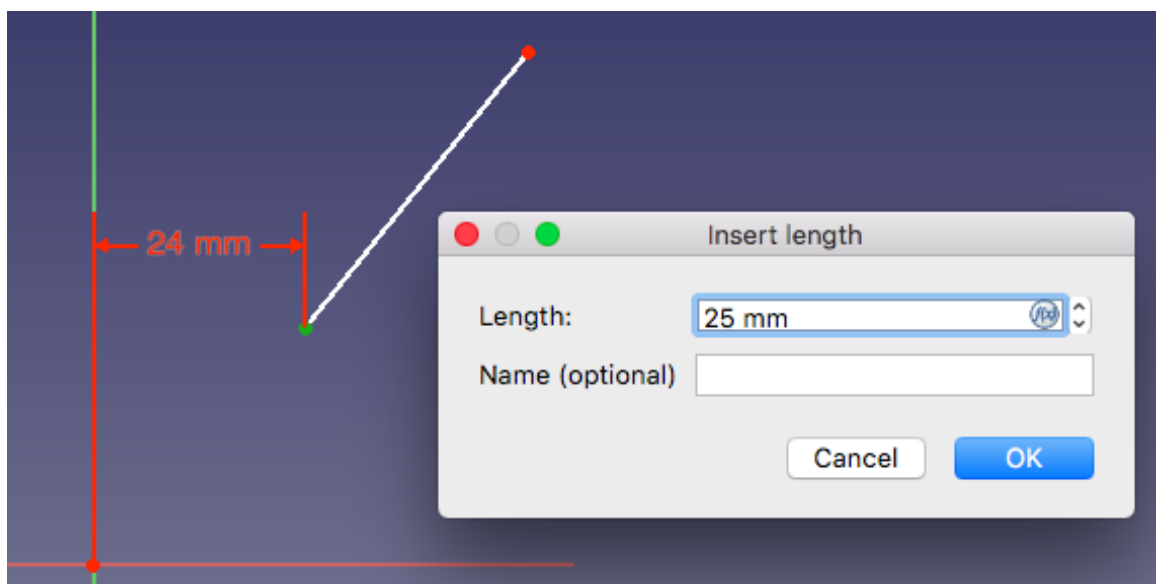


Mientras la lista de la restricciones todavía está vacía, la lista de elementos muestra el segmento de recta que recién hemos creado. Si pasas el cursor sobre un elemento, este se resaltará (se volverá amarillo).

Ejercicio 2 *Agrega una restricción de distancia horizontal a la izquierda del punto más bajo.*

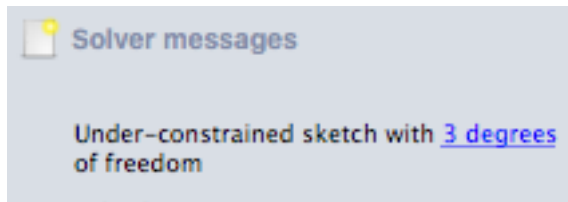
Para hacerlo:

- Mueve el cursor sobre el punto más bajo hasta que se resalte en amarillo. En ese momento está, como decimos, preseleccionado, *i. e.* lo *puedes* seleccionar.
- Pulsa el botón izquierdo del ratón para seleccionar el punto, se tornará verde.
- Pulsa el ícono de restricción de distancia horizontal . Este valor es la distancia actual.
- Introduce el valor que quieras que tenga y confirma. En mi caso el valor actual fue 24, que lo voy a cambiar a 25mm.

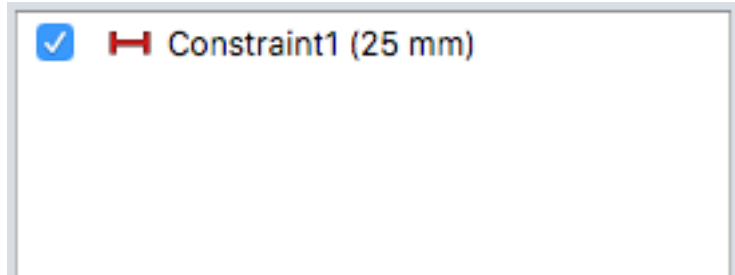


- Confirma con Ok.


Viendo los mensajes del solucionador, ves que los DOF cambiaron de 4 a 3:



La lista de elementos aún contiene el segmento de recta y está inalterada. La lista de restricciones contiene ahora un elemento: la restricción nueva.




Ejercicio 3 *Añade una restricción de distancia vertical al punto más bajo.*

Para hacerlo, relizas los mismos pasos que con la restricción horizontal, pero ahora usas el ícono de restricción de distancia vertical .

Puedes ver que aplicando otra restricción, redujiste los DOF a 2. Estas restricciones simples reducen el número de DOF en 1, pero hay restricciones más sofisticadas que reducen los DOF en 2 o hasta 3. Como ejemplo, hagamos otro ejercicio.

Ejercicio 4 *Agrega una restricción de coincidencia entre el extremo superior del segmento de recta y el origen.*

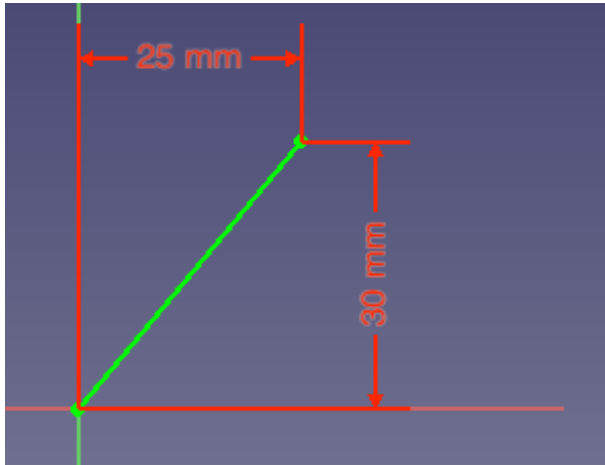
Para hacerlo:

- Selecciona el extremo superior como lo hiciste con el otro punto antes, se tornará verde.
- Selecciona el origen. Puedes hacer esto simplemente pulsándolo como ya lo has hecho, sin mantener presionada ninguna tecla. Llamamos a esta forma “selección codiciosa”.
- Pulsa el ícono de la restricción de coincidencia .

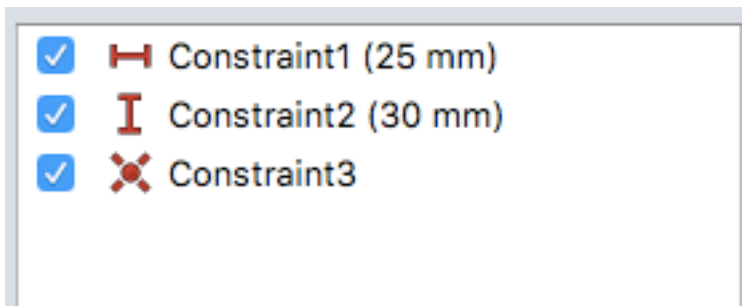
Al momento han pasado tres cosas:

- El punto superior se movió hasta el origen.
- El solucionador informa: “Croquis completamente restringido”. Esto es bueno: siempre deberías restringir completamente tus croquis.
- El croquis cambió de blanco a verde claro.

Así es como luce ahora:



La lista de elementos aún contiene el segmento de recta como antes y la lista de restricciones contiene ahora tres entradas:

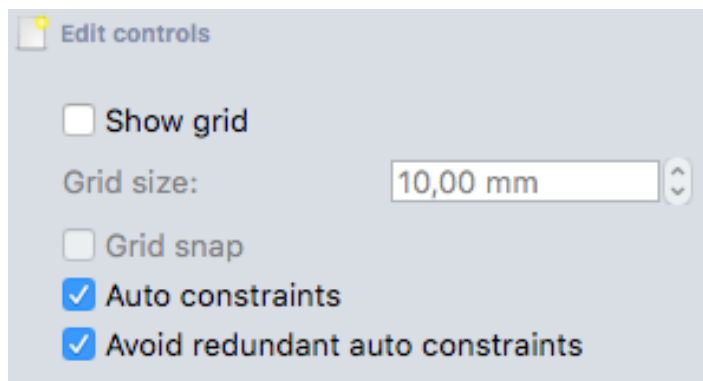


4. Restricciones automáticas


Si se habilitan las restricciones automáticas, se crean algunas restricciones automáticamente. Para hacer notar la diferencia entre habilitarlas y deshabilitarlas, empezaremos habilitándolas.

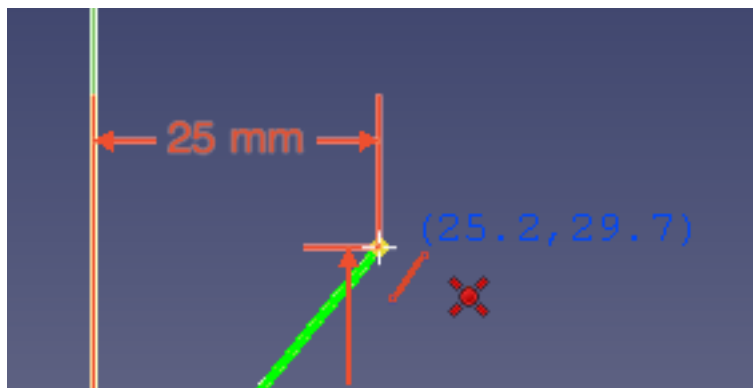
4.1. Restricciones automáticas habilitadas

Ejercicio 5 *Expande la sección de controles de edición del panel y asegúrate de que “Auto restricciones” esté habilitada—lo cual se encuentra así por defecto. Deja también habilitada “Evitar restricciones automáticas redundantes”*

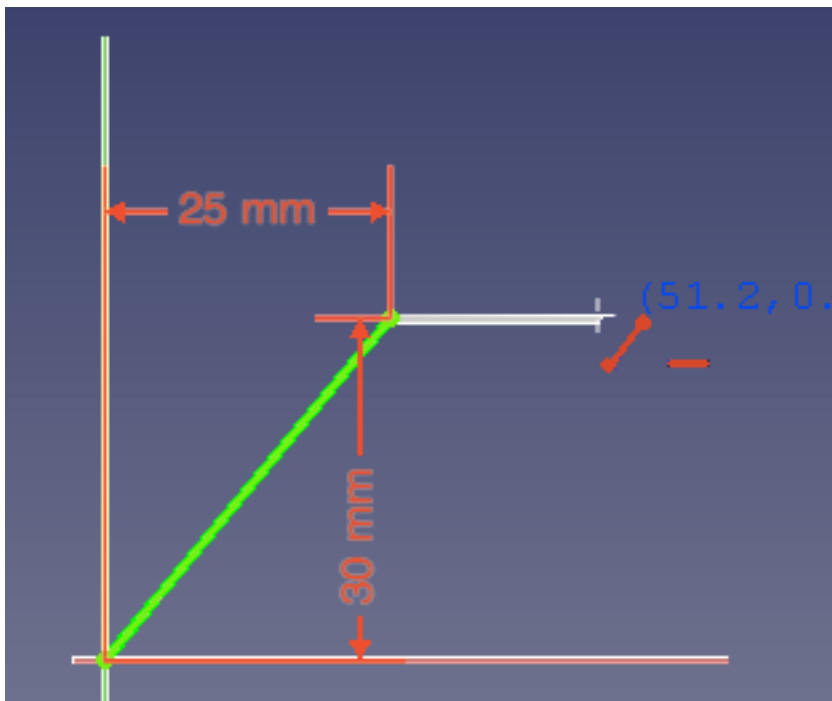


Ahora crea otro segmento de recta de la siguiente manera:

- Pulsa el ícono de crear segmento de recta 
- Mueve al cursor sobre el punto superior derecho del segmento existente. El punto se tornará amarillo (esto es difícil de ver, debido a las líneas rojas de restricción) y además del símbolo de segmento de recta, aparece un punto adicional cerca del cursor.

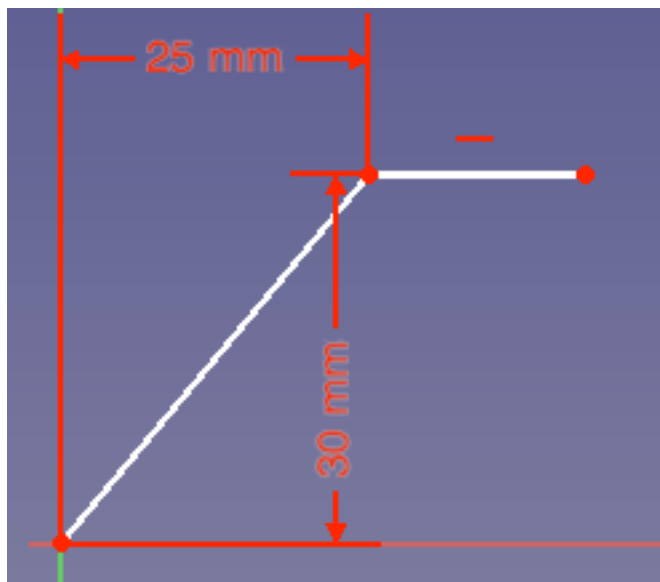


- Pulsa el botón izquierdo del ratón.
- Mueve el cursor horizontalmente hacia la derecha
- Debajo del segmento de recta aparece una señal roja que indica que se puede aplicar una restricción de horizontalidad.



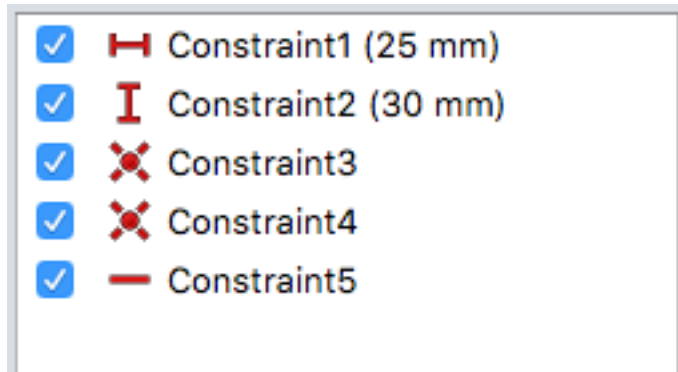
- Pulsa para crear un segmento de recta.

El croquis se ha vuelto blanco otra vez porque ya no está completamente restringido y por encima del segmento horizontal, ves un pequeño segmento de recta horizontal que indica que el segmento tiene una restricción horizontal.



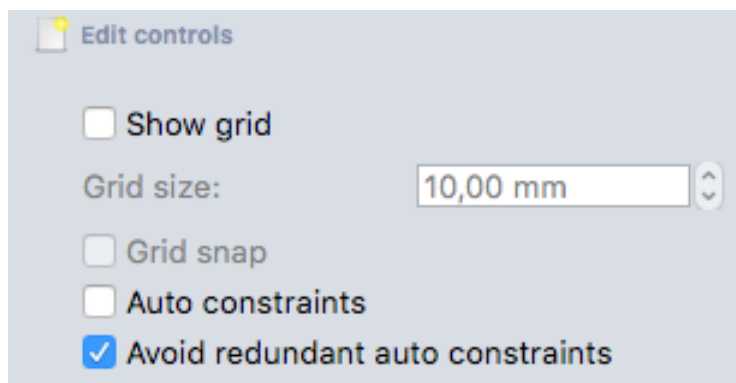
- El solucionador informa que aún se tiene un DOF.
- La lista de elementos ahora muestra dos segmentos de recta. Arrastra el cursor por encima de las entradas de la lista y observa los correspondientes elementos volviéndose amarillos en la vista 3D.

- La lista de restricciones muestra 5 restricciones. Las dos últimas se crearon automáticamente.



4.2. Restricciones automáticas inhabilitadas

Borra el segmento horizontal. El croquis se pondrá verde otra vez. Abre la sección de controles de edición e inhabilita las restricciones automáticas.



Ejercicio 6 *Crea un segmento de recta horizontal tal como lo hiciste con las restricciones automáticas habilitadas.*

El resultado luce casi el mismo, la única diferencia en la vista 3D es que el indicador de restricción horizontal no está. La diferencia se muestra en los DOF, la lista de restricciones y, por supuesto, en el comportamiento:

- El solucionador reporta 4 DOF.
- La lista de restricciones es idéntica a la que se tenía con un segmento solamente.
- “Sujeta” uno de los extremos y muévelo hacia arriba y hacia abajo. El otro punto permanecerá en su posición horizontal y verticalmente.

Puedes agregar restricciones manualmente produciendo así el mismo croquis como si lo hubieras hecho con las restricciones automáticas habilitadas.

Advertencia: Habilita las restricciones automáticas otra vez antes de continuar.

Reglas generales: Ahora ya sabes la manipulación más básica del croquizador y debiste haber aprendido lo siguiente:

- *Agregar elementos geométricos aumenta el número de DOF.*
- *Agregar una restricción reduce el número de DOF.*

Parte II

Elementos geométricos

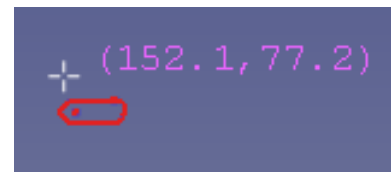
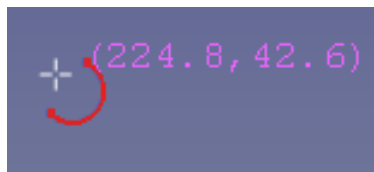
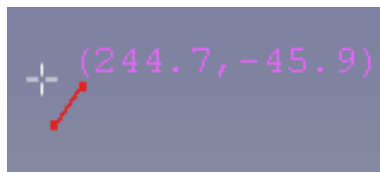
En esta parte aprenderás acerca de los elementos geométricos. Algunos ejercicios dependerán de las restricciones automáticas, así que una vez más, asegúrate de que esté habilitada.

En la parte de uso de los elementos geométricos, usaré algunas de las restricciones que no se han explicado aún, así que para entenderla completamente podrás necesitar trabajar esta sección el doble que las anteriores. No hubo una mejor solución en dónde emplear este problema. Para explicar el uso de los elementos geométricos, necesito algunas restricciones, y para explicar las restricciones, por supuesto que necesito elementos geométricos. Al usar restricciones en la parte de relativa a elementos geométricos, reduciré las explicaciones de las restricciones al mínimo. Su uso más detallado se explicará después en la parte III en la página 48.

Para mayor información te puedes referir a la documentación disponible en línea.

5. Uso común

Cuando seleccionas las herramientas de creación de uno de los elementos geométricos, tal como un segmento de recta, circunferencia, arco, ... te introduces al modo de creación para un número arbitrario de estos objetos. Cuando entras al modo de creación, en la vista 3D el cursor cambia a una cruz, presenta la información respecto a sus coordenadas x/y y además muestra un símbolo que indica qué clase de elemento geométrico estás por crear, por ejemplo segmento de recta, arco y ranura:



Si creaste uno de los elementos geométricos, aún sigues en el modo creación así que inmediatamente puedes continuar creando un nuevo objeto. Este comportamiento se puede configurar en Preferencias→Croquizador →General→*Geometry Creation Continue Mode*. Si esta opción se inhabilita en las preferencias, el modo de creación termina tan pronto como se cree el elemento.


Para finalizar el modo de creación, puedes pulsar el botón derecho del ratón o presionar la tecla escape. Esta última forma, puede traer problemas, porque si no estás en el modo de creación, la tecla escape abandona la edición del croquis y cierra el croquizador. Así que presionando dos veces la tecla escape finaliza el modo de creación y termina la edición. La polilínea es un tanto distinta ya que necesitas pulsar dos veces el botón derecho del ratón o la tecla escape para abandonar el modo continuo.

La tecla escape se puede recomendar a los usuarios de MacOS porque este documento es para FreeCAD v 0.19.21007, y éste tiene un problema con el acercamiento (zoom): si abandonas el

modo de creación con el botón derecho del ratón, la vista 3D cambia su nivel de acercamiento. Recomendando usar la tecla derecha del ratón en sistemas distintos al de MacOS porque ya tienes el ratón a mano y no está el peligro de abandonar el croquizador involuntariamente por un tecleado extra de la tecla escape.

Puedes configurar el comportamiento del abandono mediante la tecla escape en las preferencias del Croquizador .


6. Segmento de recta (*line*)

Ícono:	
Número grados de libertad agregados:	4

El segmento de recta se define mediante sus extremos. Cada punto añade 2 DOF, con lo cual se totalizan 4 DOF

Restricciones típicas

Coincidencia en los extremos. En el ejercicio 4 en la página 13 ya la hemos usado.

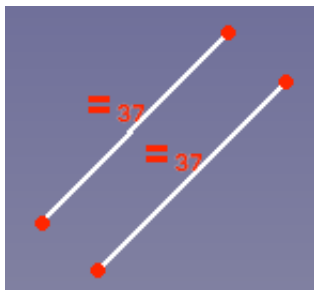
Restricción horizontal para un segmento de recta horizontal. Selecciona el segmento y pulsa el ícono de restricción horizontal .

El segmento se vuelve horizontal y permanecerá así.


Restricción vertical para segmentos horizontales. Selecciona la línea y pulsa el ícono de restricción vertical .

El segmento se vuelve vertical y permanecerá así.

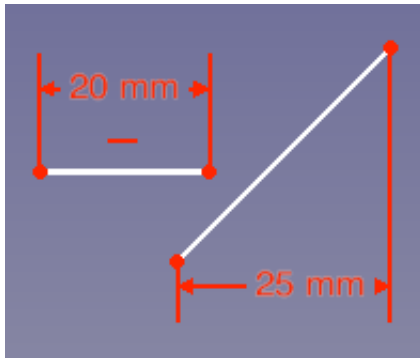
Igualdad. Selecciona dos segmentos y pulsa el ícono .




Las longitudes de los segmentos entonces serán iguales y permanecerán así.

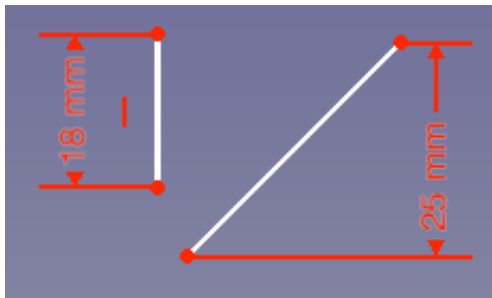
Distancia horizontal. Seleccione el segmento y pulse el ícono . Suministre la distancia en el campo de entrada tal como lo hiciste en el ejercicio 2 en la página 12.


Usualmente esto se aplica a segmentos horizontales pero no se limita a ellos. Si aplicas esto a segmentos inclinados, esta restricción define la distancia horizontal entre sus extremos.

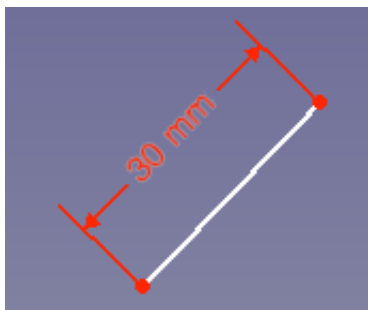


Distancia vertical. Selecciona un segmento y pulsa el ícono . Suministre la distancia en el campo de entrada tal como lo hiciste en el ejercicio 3 en la página 13

Usualmente esto se aplica a segmentos verticales pero no se limita a ellos. Si aplicas esto a segmentos inclinados, esta restricción define la distancia vertical entre sus extremos.



Longitud. Selecciona el segmento y pulsa el ícono . Introduce un valor tal como lo hiciste *e. g.* para distancia horizontal o vertical.

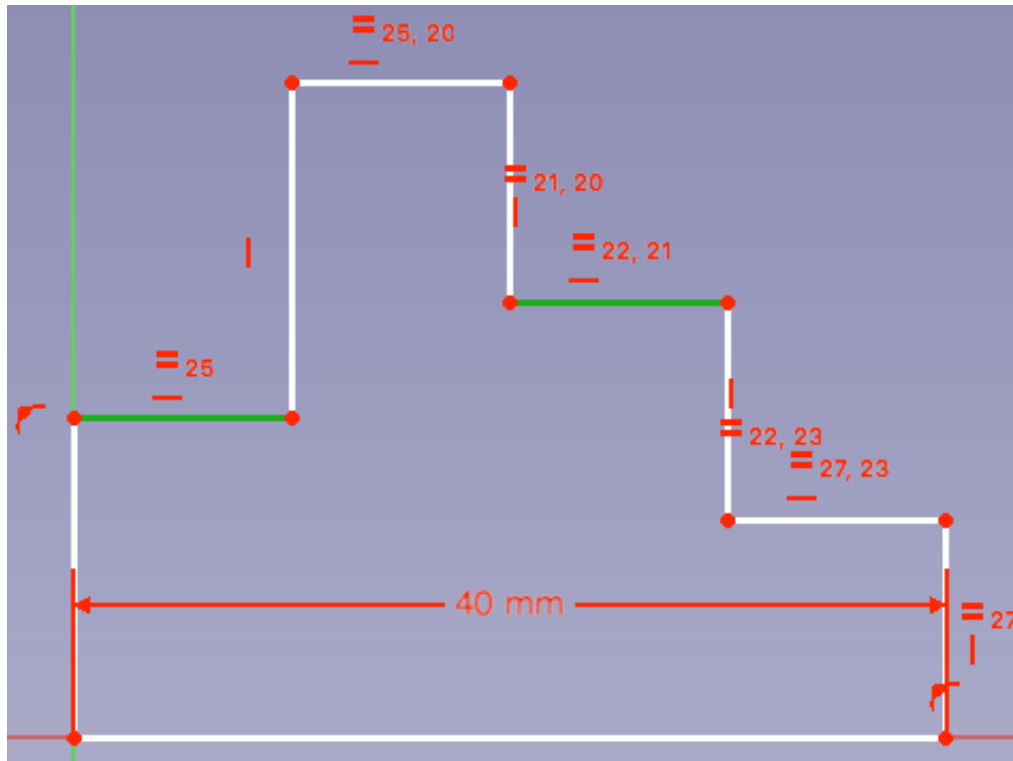


Advertencia: No uses esta restricción para segmentos horizontales o verticales —a menos que tengas la intención de cambiar la inclinación del elemento en el Croquizador después (para un ejemplo de esto considera girar una ranura tal como se hizo en la sección 12 en la página 38). En su lugar, usa las restricciones de distancia horizontal o vertical especializadas. Esto facilita la tarea del solucionador de encontrar una solución. Para más detalles, mira la sección 36 en la página 83.

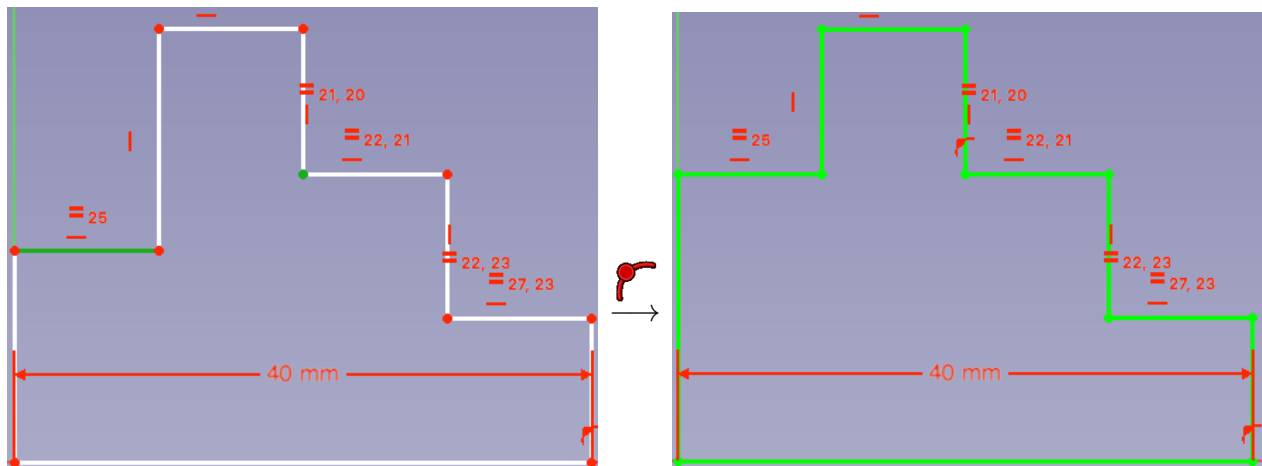
Se debería enfatizar que lo que llamamos línea, es de hecho un segmento de recta. Este segmento yace en una recta cuya extensión es infinita. Esto cobra importancia cuando se involucran restricciones de punto a objeto o de tangencia (ve las secciones 21 en la página 59 y la sección 26 en la página 65).

Ejercicio 7 Crea el siguiente croquis. Posee una sola medida y todas las líneas cortas son iguales. Además el croquis tiene solamente restricciones de coincidencia, vertical, horizontal y de igualdad.

Aquí se observa que ésta tiene 1 DOF:




El objetivo: que las dos líneas estén al mismo nivel. Esto se puede lograr *e. g.* seleccionando la línea de la izquierda y un punto a la derecha y aplicar una restricción de punto-sobre-objeto.




7. Circunferencia

Íconos:	 (por defecto) 
Número grados de libertad agregados:	3

Una circunferencia se puede definir por la posición de su centro con dos DOF y el radio con un DOF lo cual suma 3 DOF. La creación de circunferencia viene en dos sabores. Tan pronto como se termina de crear la circunferencia, no hay diferencia entre los dos métodos.

1. El método por defecto empieza con un centro y luego se agrega el radio: Después de pulsar , pulsa en la vista 3D en la posición en dónde quieres ubicar el centro de la circunferencia. Mueve el ratón y observa cómo crece el radio con la posición del cursor. Pulsa en un punto y este pertenecerá a la circunferencia.


Si tienes la opción de restricción automática habilitada puedes seleccionar un punto existente pulsando el botón izquierdo del ratón lo cual creará una restricción de punto-sobre-objeto.

2. Para escoger el modo de creación alternativo, presiona el pequeño triángulo a la derecha del ícono de creación de circunferencia y selecciona . Ahora puedes pulsar en tres puntos en la vista 3D, los cuales descansarán sobre la circunferencia. Este modo de creación permanecerá por defecto durante tu sesión de FreeCAD hasta que lo cambies nuevamente.

Restricciones típicas

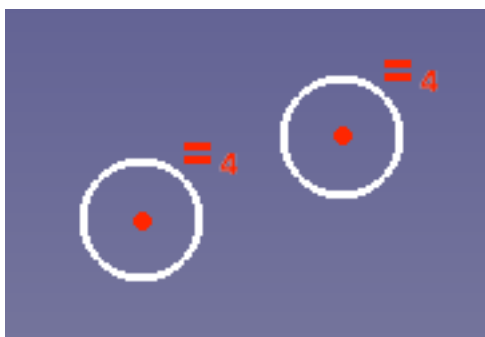
Ubicando el centro. Se puede hacer esto con cualquier método usado para posicionar un punto. Esto incluye por supuesto, restricciones de coincidencia y de distancias horizontales y verticales.

Radio/Diámetro. Selecciona la circunferencia y aplica una restricción de radio .

Si deseas usar en su lugar la restricción de diámetro, selecciona el menú desplegable del ícono del diámetro, ícono del diámetro . A menudo el diámetro se usa para circunferencias en tanto que el radio se usa más a menudo para arcos.

Igualdad. Selecciona dos circunferencias o una circunferencia y un arco y pulsa sobre el ícono




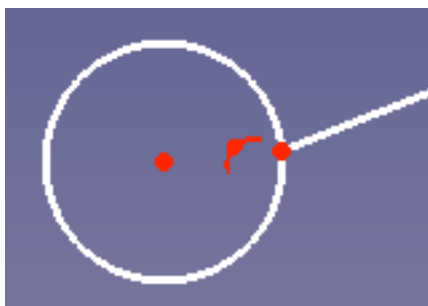


Los radios de las circunferencias se igualarán y permanecerán así.

Por favor nota que la igualdad entre una circunferencia y una línea no es posible. A menos que uses lo así llamado *Expressions*, un aspecto fuera de alcance aquí; ve también el comentario sobre longitud de arco en la página 82.

Nota al margen: Calcular la longitud de una circunferencia fue uno de los retos más prominentes en matemática desde tiempos ancestrales. En nuestros días se ha demostrado que no se puede calcular con una precisión finita.


Punto-sobre-objeto. Si quieres fijar un punto a una circunferencia, *e. g.* un extremo de una línea, puedes seleccionar la circunferencia y el extremo y aplicar una restricción de punto-sobre-objeto pulsando .

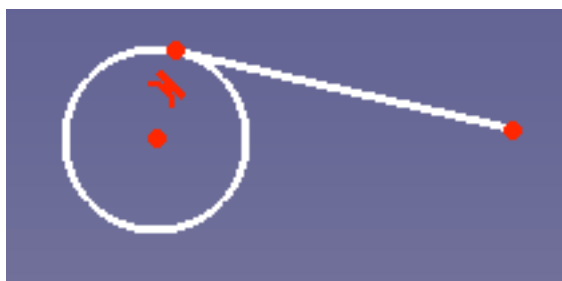


Por favor nota que el croquis, como se muestra aquí no se puede extruir ni ahuecar por dos razones: El croquis no es una forma cerrada y posee una unión de tres líneas en un punto. Llamamos a esta situación una *auto-intersección*.


Tangencia. Usualmente hay dos posibilidades para crear una tangencia en una circunferencia. Por lo tanto deberías mover todas las circunferencias, líneas o arcos involucrados tan cerca de sus posiciones finales como sea razonablemente posible *antes* de aplicar la restricción de tangencia.

La tangencia se puede aplicar de dos maneras diferentes a una circunferencia.

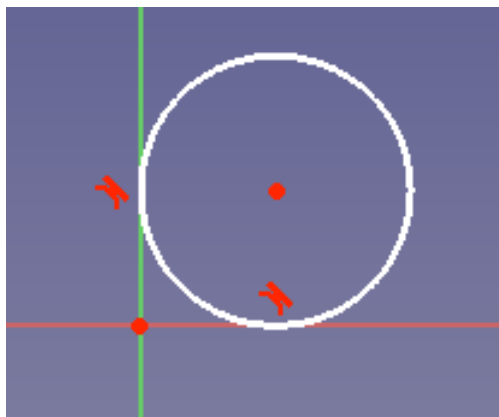
- El extremo de una línea o un arco puede yacer sobre la circunferencia. Luego, selecciona la circunferencia y el extremo y aplica la restricción de tangencia .



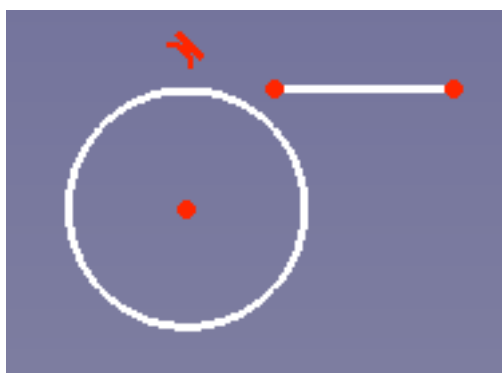
Mencionaré nuevamente que este ejemplo no se puede extruir ni ahuecar debido a la auto-intersección y porque además carece de una forma cerrada.

- La circunferencia toca a otra circunferencia, arco o línea. Selecciona la circunferencia y a la línea o al arco—Nota la direncia con el caso anterior: No se selecciona un punto!—y aplica la restricción de tangencia con .


En este ejemplo lo he hecho dos veces: una con el eje X y otra con el eje Y:



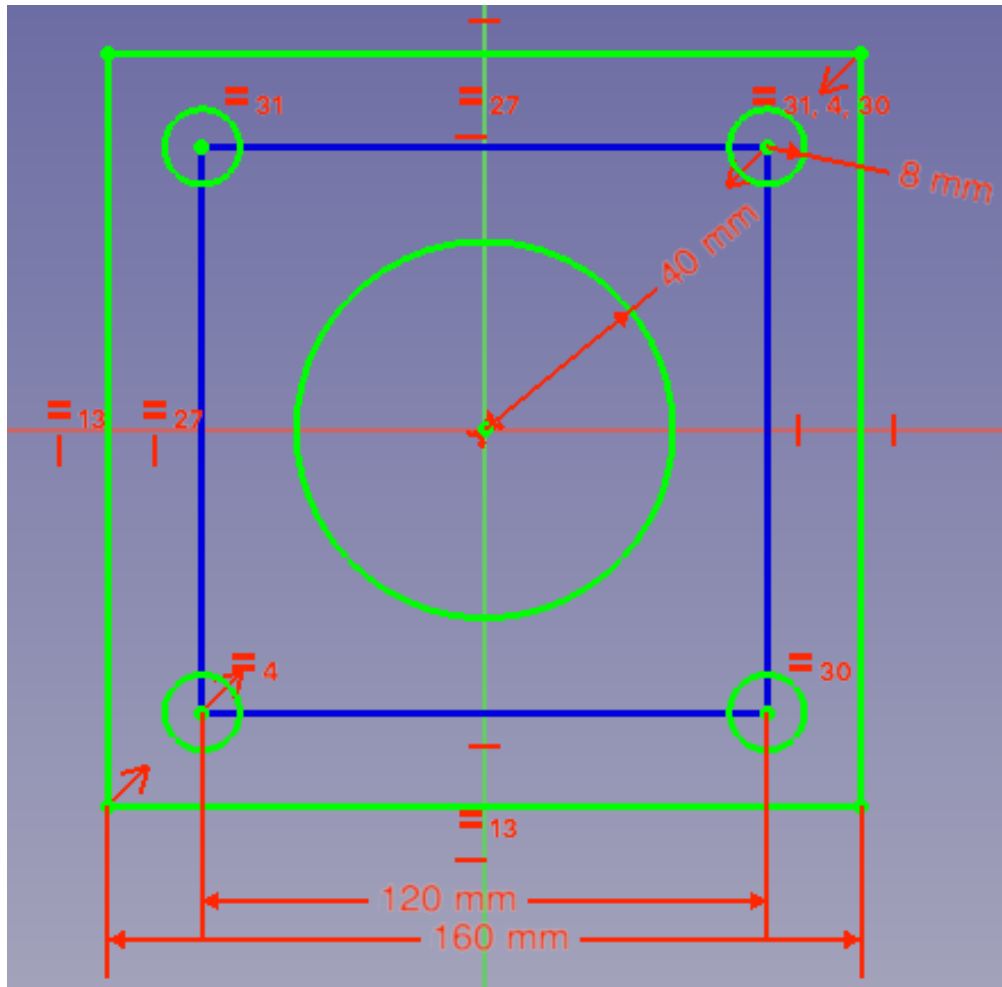
Esta clase de restricción se puede aplicar entre una línea y una circunferencia sin que éstas se toquen entre ellas:




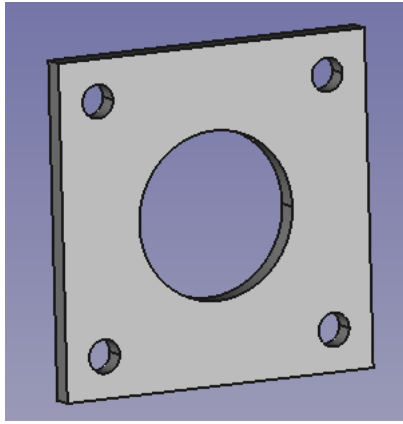
cuadrado interno a unas líneas de construcción:

- Selecciona los cuatro lados del cuadrado interno.
- Pulsa el ícono de modo de construcción .

Ahora el cuadrado interno ha cambiado su color a azul, indicando que esas son líneas de construcción, las cuales no contribuyen en nada de las características basadas en los croquis tales como extrusiones y bolsillos.



Cierra el Croquizador y pulsa el ícono de extrusión . Esto creará la brida:




8. Arco

Un arco es una parte de una circunferencia, así que comparten muchas características entre ellos.


Íconos:	 (por defecto)
Número grados de libertad agregados:	5

Un arco se puede definir por la posición de su centro, con dos DOF, el radio con un DOF y un ángulo para cada uno de los extremos del arco con lo cual se totalizan 5 DOF.

Al igual que con las circunferencias, los arcos vienen en dos sabores y tan pronto como se crean, no se diferencian los dos métodos.

1. El método por defecto empieza con el centro y luego se especifica el radio: Después de pulsar , en la ventana 3D pulsa en la posición en donde quieres el centro de la circunferencia. Mueve el ratón y mira como el radio sigue al cursor. Pulsa en un punto que será uno de los extremos del arco, mueve al ratón nuevamente y pulsa en donde quieras el otro extremo del arco.

Si las restricciones automáticas está habilitadas, puedes seleccionar puntos existentes con los que crearás restricciones de coincidencia.

2. Para seleccionar la alternativa del modo de creación, pulsa el pequeño triángulo a la derecha del ícono de creación de arco y escoge . Ahora los siguientes dos clics definen los extremos del arco, mientras que con el tercer clic se define el radio. A partir de este momento, este modo de creación será el que se usará por defecto durante tu sesión de FreeCAD hasta que se cambie nuevamente.

Restricciones típicas

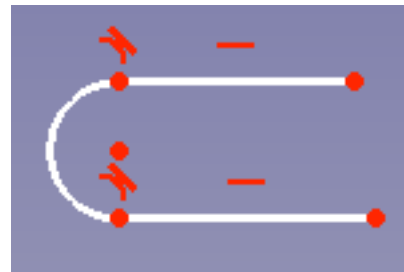
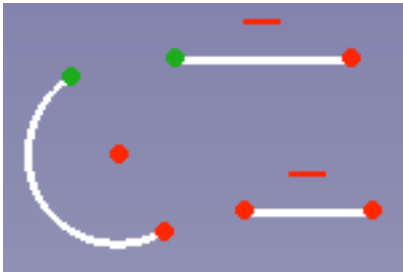
El posicionamiento del centro, radio, igualdad, punto-sobre-objeto es igual que con las circunferencias.

Tangencia Los dos modos descritos para las circunferencias existen también para los arcos, pero hay uno adicional, el modo más importante para crear tangencia en los extremos, el cual se denomina *empalme suave*.

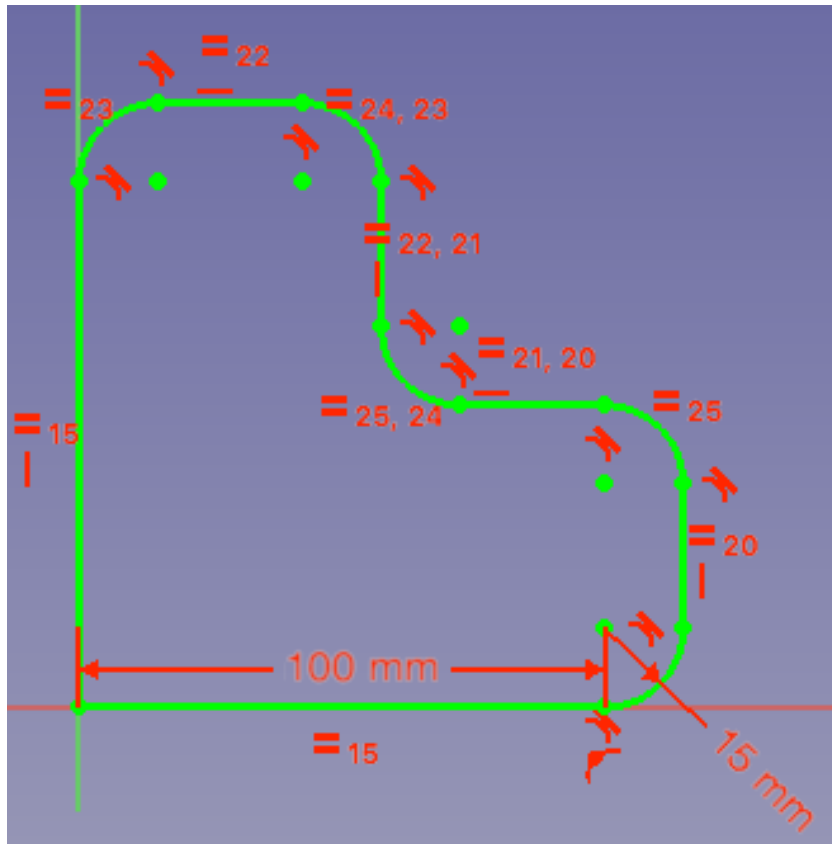
Selecciona uno de los extremos del arco y el extremo de la línea u otro arco. Si ahora aplicas una restricción de tangencia, ocurrirán dos cosas:

- Los elementos se hacen tangentes uno al otro.
- Los extremos seleccionados se hacen coincidentes.


Ejercicio 9 *Crea un arco y dos líneas horizontales. Aplica restricciones de tangencia de punto-a-punto a los pares de extremos superiores e inferiores respectivamente. La imagen de la izquierda muestra la selección justo antes de aplicar la primera de las restricciones, la imagen a la derecha muestra el resultado luego de aplicar ambas restricciones.*



Ejercicio 10 Crea el siguiente croquis. Todos los arcos tienen el mismo radio de 15 mm. Las líneas largas son iguales. Todas las líneas cortas son iguales. Todas las tangencias son de punto a punto con empalme suave.



9. Polilínea

Ícono:	
Número grados de libertad agregados:	dependiendo de los elementos añadidos (mira abajo)

La polilínea es la herramienta más útil para la creación de un croquis. Es más que solo conectar líneas rectas, hay diferentes modos de conectarlas y se pueden crear hasta arcos con esta herramienta.

La polilínea en su forma estándar agrega una secuencia de líneas las cuales se conectan con restricciones de coincidencia. Estas coincidencias son independientes de que estén o no habilitadas las restricciones automáticas. El modo de continuación de la herramienta termina cuando se cierra la figura. *i.e.* cuando se conecta un punto al primero que se creó con la polilínea.

Alternativamente puedes usar el botón derecho del ratón o la tecla escape para finalizar la secuencia en cualquier momento. Como mencioné anteriormente, recomiendo la última de estas

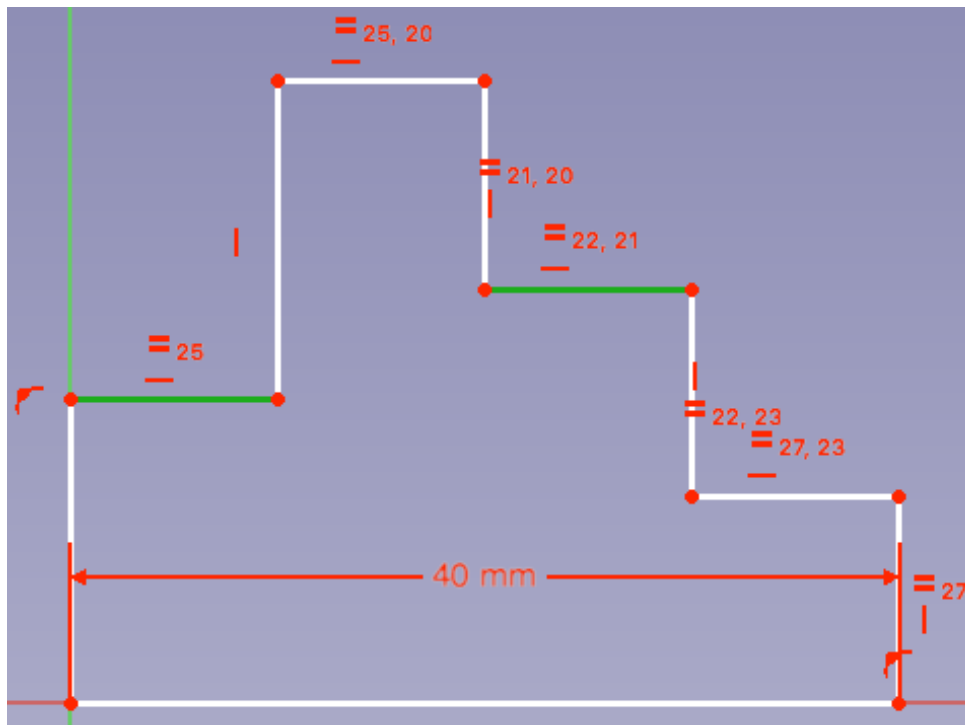
formas para los usuarios de MacOS porque con el botón del ratón, el nivel de acercamiento probablemente cambie inesperadamente.

Recomiendo usar clic derecho en otros sistemas porque ya tienes tu mano sobre el ratón y no hay peligro de abandonar el croquisador involuntariamente si se presionara demasiado la tecla escape.

A igual que con otras herramientas de geometría, permanecerás en el modo de creación, de tal forma que puedas continuar inmediatamente con otra polilínea.

Un clic derecho adicional (o presionar la tecla escape) finaliza la creación de la polilínea completamente.

Ejercicio 11 *Crea un croquis a partir del ejercicio 7 en la página 22, pero ahora usando la herramienta polilínea.*



Se debe enfatizar que los resultados son los mismos independientemente de que las líneas se hayan creado con la herramienta polilínea o con conjunto de líneas individuales.

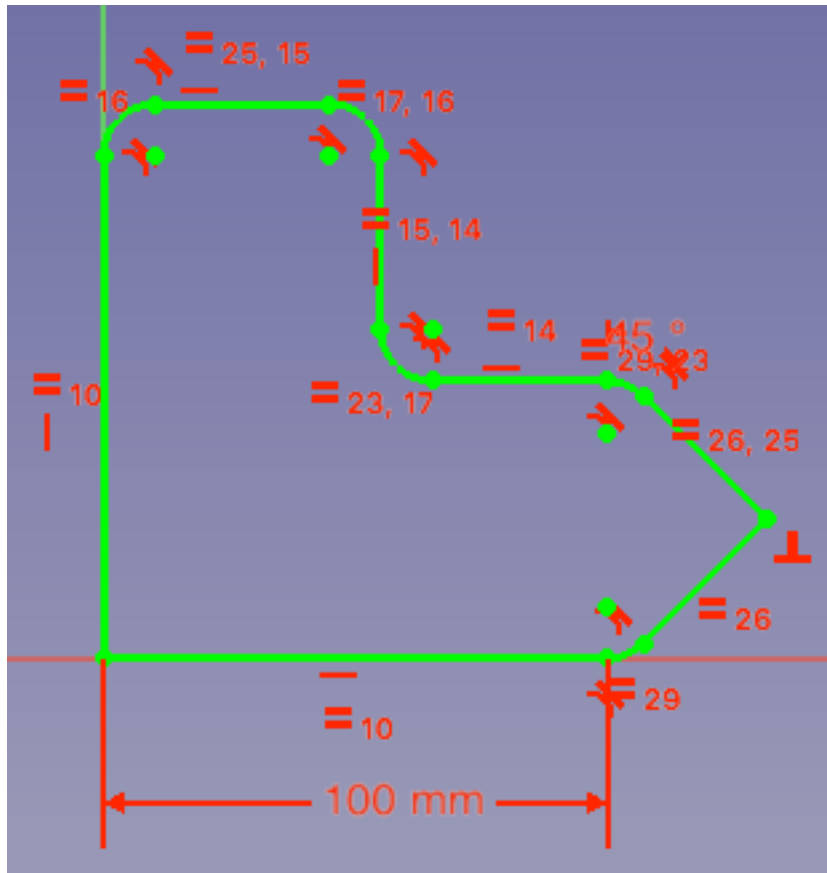
La polilínea puede hacer más que conectar líneas por coincidencia. Lo siguiente se toma de la documentación y se agrega además la información de los DOF:

La polilínea siempre empieza con un segmento de recta: Un clic - mueve el ratón - otro clic. Esto añade—como cualquier otra línea—4 DOF al modelo.


Mueve el ratón otra vez. Después de ubicar el primer segmento de recta, el la herramienta de polilínea del croquisador tiene múltiple modos que se pueden alternar con la tecla M. Por ejemplo, puedes dibujar arcos tangentes o perpendiculares siguiendo una línea o un segmento de arco. Presionar repetidamente la tecla M alterna los diferentes modos de la polilínea. El número de DOF se dan ignorando las restricciones automáticas, las cuales además reducen los DOF *e. g.* mediante la aplicación de una restricción horizontal adicional.

- Sin presionar la tecla M se añade una línea solo con la restricción de coincidencia. Esto agrega 2 DOF por el nuevo extremo
- Presiona la tecla M: El nuevo segmento es una línea perpendicular al segmento anterior. Esto agrega 1 DOF.
- Presiona tecla M otra vez: El nuevo segmento es una línea la cual es tangente al segmento previo. Esto agrega 1 DOF.
- Presiona la tecla M otra vez: El segmento nuevo es un arco tangente al segmento anterior. Esto agrega 2 DOF.
- Presiona la tecla M otra vez: El nuevo segmento es un arco perpendicular (izquierdo) al segmento previo. Esto agrega 2 DOF.
- Presiona M otra vez: El segmento nuevo es un arco perpendicular (derecho) al segmento previo. Esto agrega 2 DOF.
- Presiona la tecla M otra vez: estás otra vez en el estado en el que empezaste: La línea esta unicamente conectada con una coincidencia al segmento previo.
- Mientras se está en cualquiera de los modos de arco, mantener presionada la tecla CTRL (MacOS: tecla CMD) y moviendo el cursor produce que el arco varíe su ángulo en valores de 45° cada vez, respecto al segmento de la polilínea creado previamente. En este caso solo se agrega 1 DOF en lugar de 2 porque una restricción de ángulo se establece automáticamente.

Ejercicio 12 Crea el croquis siguiente usando la herramienta polilínea y la tecla M. Todos los arcos, incluyendo los de 45° tienen el mismo radio. Las líneas largas son iguales. Todas las líneas cortas, incluyendo las de 45° a la derecha tienen la misma longitud.



10. Rectángulo


Ícono:	
Número grados de libertad agregados:	4

Los rectángulos predefinidos en el croquizador, siempre tienen líneas horizontales y verticales únicamente. Tal rectángulo se puede definir por dos de sus puntos diagonales, cada uno de ellos agregan 2 DOF lo cual suma 4 DOF.

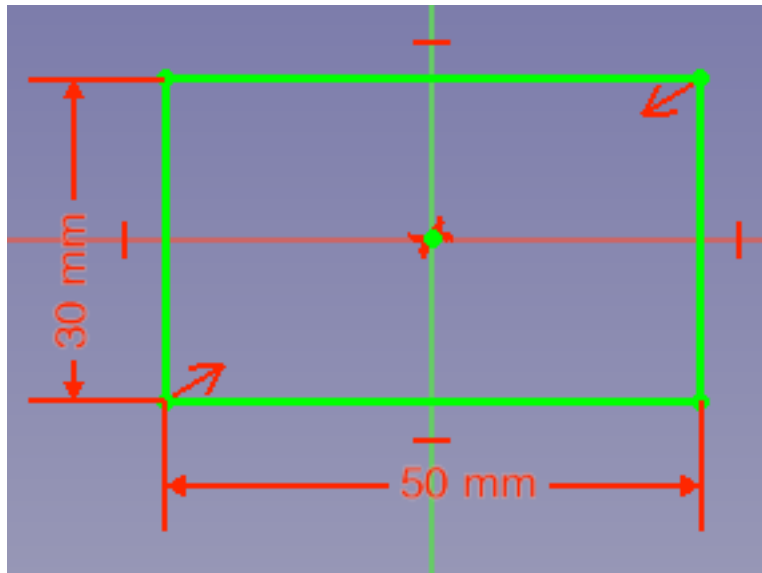
Para crear un rectángulo, haz un clic en el punto que será una de sus esquinas y luego en otro punto que será la esquina opuesta sobre una diagonal. El resultado es el mismo como si el rectángulo se hubiera construido por cuatro líneas conectadas con coincidencias y con restricciones horizontales y verticales.

Centrado de rectángulos








A menudo un rectángulo tiene que ser ubicado en el origen del sistema de coordenadas. O algún otro punto debería ser colocado en el centro del rectángulo (*c.f.* ejercicio 8 en la página 26).

Para lograr esto, seleccionarás dos puntos en esquinas opuestas y como un tercer punto, el punto que estará en el centro del rectángulo y luego aplicas una restricción de simetría .

Esto es mejor que aplicar restricción de simetría entre un lado horizontal y un eje vertical y luego otra restricción de simetría entre un lado vertical y un eje horizontal. Es importante seleccionar el punto central al final, como verás en la sección 28 en la página 71.



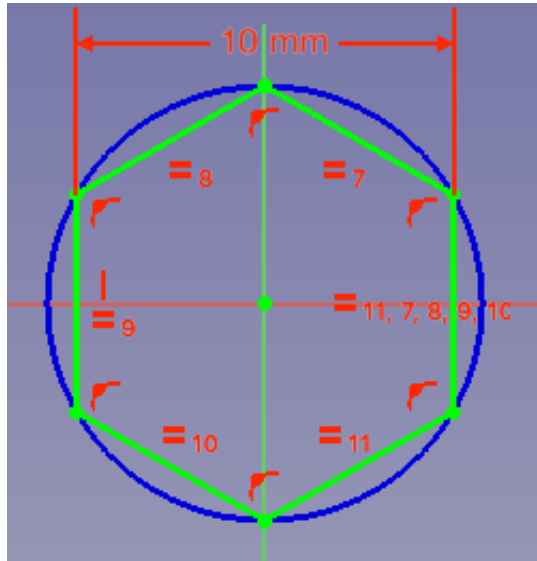
11. Polígono

Íconos:	      
Número grados de libertad agregados:	4

El centro tiene dos DOF, el diámetro agrega un DOF y la orientación es la última de los cuatro grados de libertad. Esto es independiente del número de lados del polígono.

Cuando creas un polígono, empiezas en su centro y mueves el ratón para definir su radio externo y la posición de una esquina. La circunferencia externa en azul, es una geometría de construcción y por lo tanto no contribuye al uso posterior del croquis en extrusiones y bolsillos.


Probablemente, el polígono usado más frecuentemente sea el hexágono en reacción con tuercas y tornillos:



Como un polígono es un conjunto de líneas y una circunferencia de construcción, todos los consejos dados anteriormente, se mantienen aquí también.

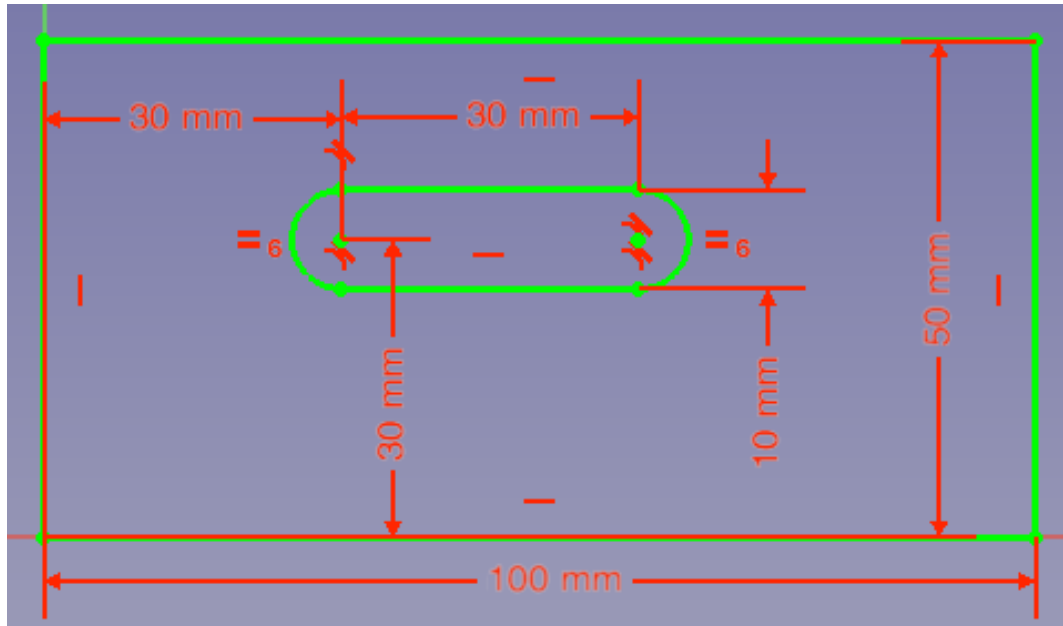
Si las primeras restricciones que agregas son fijar el centro del polígono, asegúrate de que el punto objetivo está cerca del centro de la polígono, *i. e.* deberías mover el polígono cerca de su posición final. Si el centro objetivo está fuera de la circunferencia, el polígono puede colapsar en algo inservible. Fijar el tamaño del polígono previene que esto suceda.

12. Ranura

Ícono:	
Número grados de libertad agregados:	4

El centro de una de las circunferencias tiene 2 DOF. La ranura predefinida es siempre horizontal o vertical, así que la distancia al otro centro agrega 1 DOF, y el radio agrega también 1 DOF con lo cual se totalizan 4 DOF. Crear una ranura empieza con un clic en el centro de uno de las semicircunferencias. El siguiente clic define el radio y la longitud de la ranura. Dependiendo de la posición relativa del segundo clic, la ranura será vertical u horizontal.

Ejercicio 13 Crea un croquis para un bloque que contiene una ranura para un mecanismo de deslizamiento.

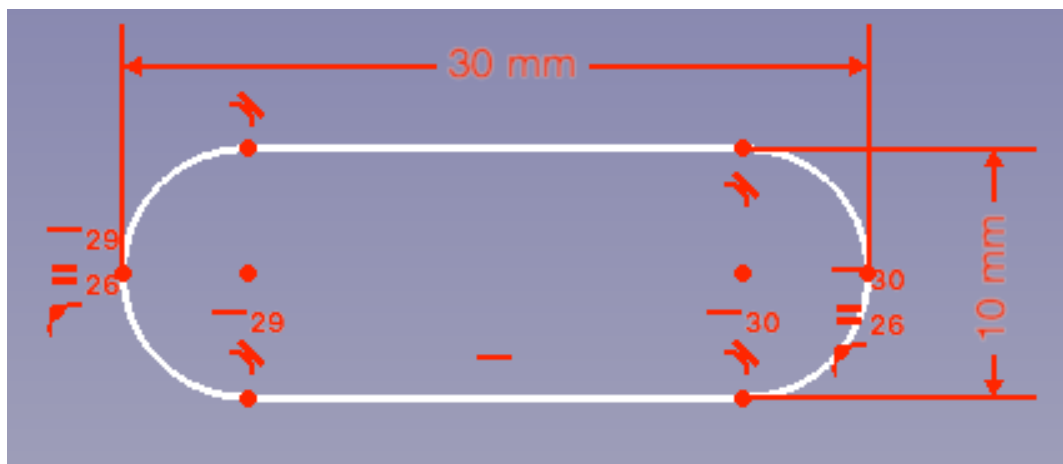


Observación: Por ahora colocaremos la ranura con medidas. Aprenderemos en la sección 28 en la página 71 acerca de la simetría y como centrar una ranura.

Restricciones típicas

Más allá de las restricciones que ya sabes para líneas y arcos, quiero mostrar como restringir una ranura si se conoce *el largo total* de la ranura y se debería usar directamente en el croquis.

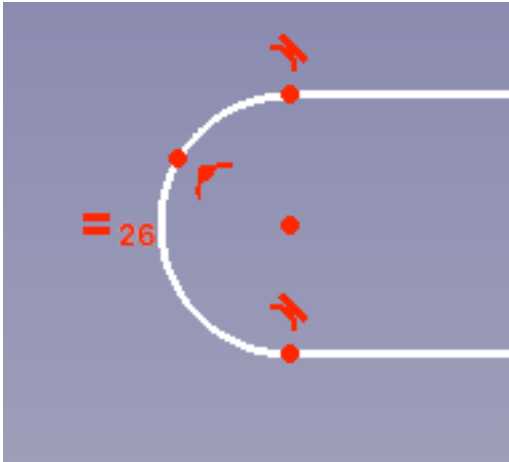
Ejercicio 14 Crea el mismo croquis para un mecanismo deslizante como el anterior, pero fijando el largo total:



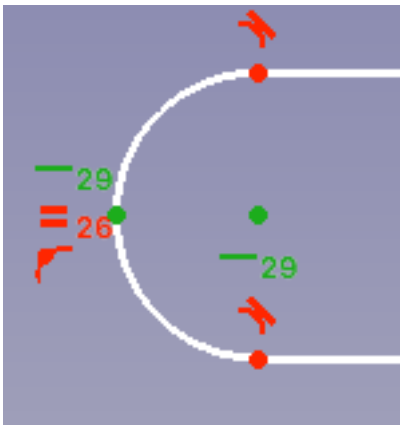
Este croquis no está completamente restringido, le falta el posicionamiento en x y y

Para crear el croquis:

- Crea un rectángulo y una ranura como antes.
- Crea un punto y ubícalo con una restricción de punto-sobre-objeto sobre uno de los arcos. Es mejor colocarlo ya cerca de la su posición final. Si las restricciones automáticas están habilitadas, puedes hacer esto en un paso.



- Haz lo mismo para el otro arco.
- Selecciona el punto nuevo y el centro del arco y aplica una restricción horizontal. La imagen muestra la situación después de haber aplicado la restricción. He seleccionado los elementos involucrados, se muestran en verde.

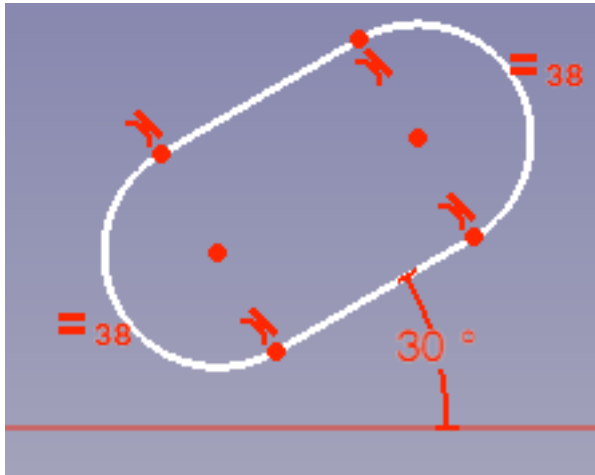


- Haz lo mismo para el otro arco.
- Aplica una restricción de distancia horizontal sobre los puntos externos.
- Aplica las otras restricciones como antes.



Ranuras inclinadas

La ranuras predefinidas son horizontales o verticales. Esto es sensato porque la mayoría de la ranuras están orientadas de esa manera y se pueden crear con solo dos clics. Sin embargo, si

necesitaras un una ranura inclinada, ésta se puede lograr simplemente borrando la restricción horizontal/vertical. Por supuesto esto agregará otro DOF. En la imagen, ya agregué una restricción angular:



13. Interpolaciones segmentarias (*BSplines*)

Ícons:	 interpolación segmentaria abierta  interpolación segmentaria cerrada
Número grados de libertad agregados:	3 por cada puntode control

Cada punto de control se define por una circunferencia con 3 DOF

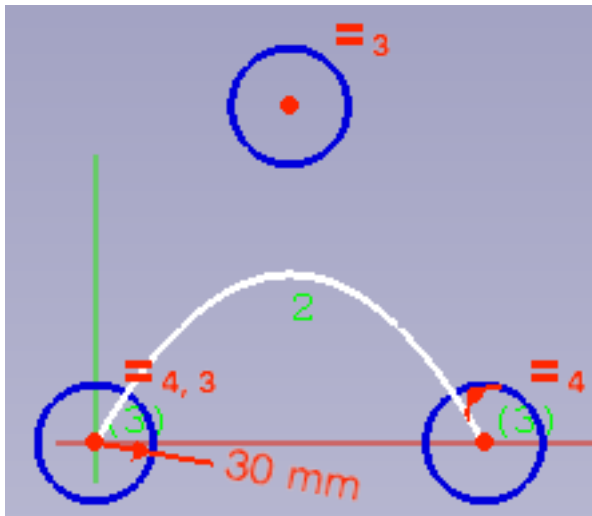
Las interpolaciones segmentarias son curvas que se usan para superficies suaves. Están determinadas por un conjunto de puntos de control, los cuales ellos mismos—excepto por el inicial y el final—no tienen que descansar sobre la interpolación segmentaria. Cada punto de control tiene un peso que determina cuánto “atrae” este punto a la curva. Las interpolaciones segmentarias se encuentran a menudo cuando importas archivos de graficos vectoriales escalables (SVG, por sus siglas en inglés) y aplicas borrador a croquis (en inglés Draft-to-Sketch).

Hay dos variantes de interpolaciones segmentarias:

La interpolación segmentaria abierta  tiene un inicio, el cual es el primer punto de control y un final, que es el último punto de control.

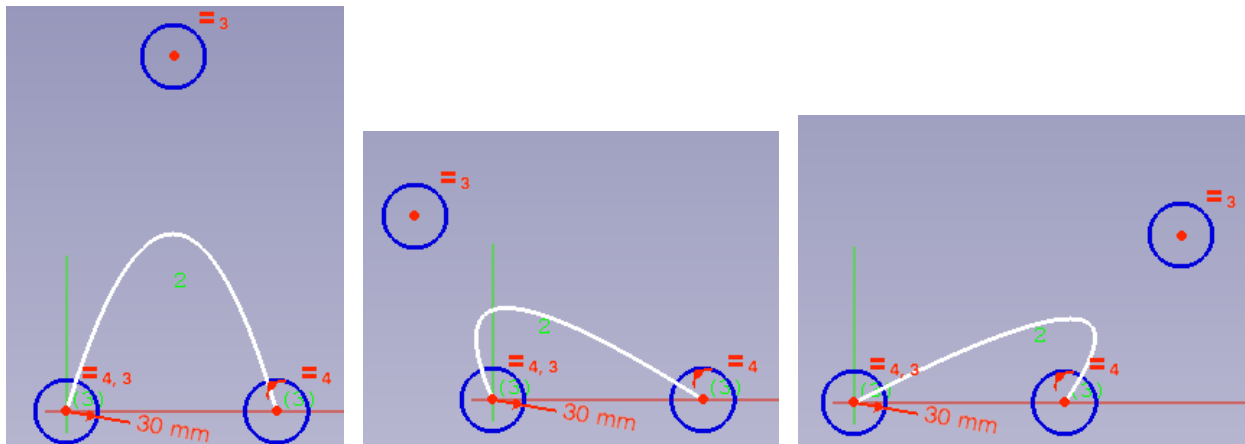
La interpolación segmentaria cerrada  se crea de la misma manera, pero cuando se crean los finales, el final de la interpolación segmentaria se conecta suavemente con el inicio.

Ejercicio 15 Crea una interpolación segmentaria con los siguientes puntos de control. Las distancias absolutas entre los puntos no importan por el momento.



Empieza a la izquierda, agrega el punto de control superior y finalmente el de la derecha. Finaliza la creación de la interpolación segmentaria con un clic del botón derecho del ratón o usa la tecla escape. La interpolación segmentaria se crea con el mismo tamaño para todas las circunferencias alrededor de los puntos de control. Tienes dos posibilidades para que la forma de la interpolación segmentaria se vea influenciada por el punto de control superior (por supuesto, existen las mismas posibilidades para los otros puntos también).

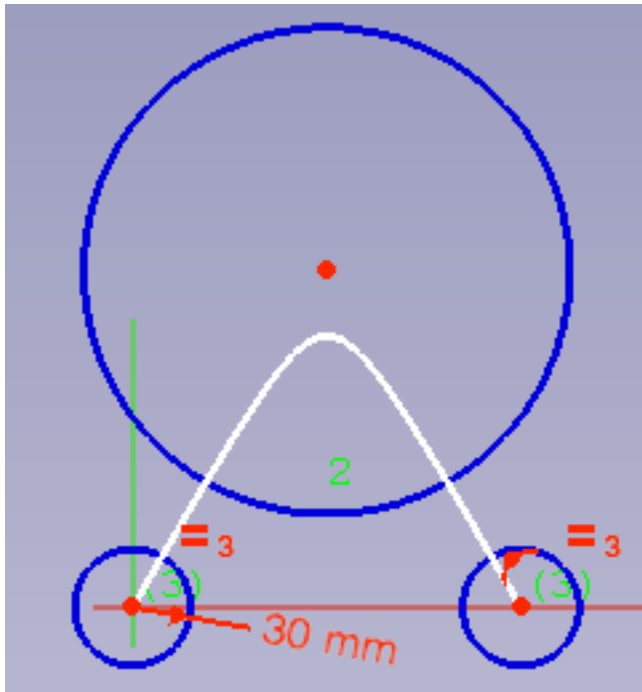
- La posición del punto de control determina la dirección y cuánto se desviará la interpolación segmentaria:



Ves cómo la curva es atraída por el punto de control. La razón entre el punto de control, la curva y los otros puntos de control permanece aproximadamente constante.

- El tamaño de las circunferencias alrededor de los puntos de control determinan cuánto se atrae la curva. Mientras mayor sea la circunferencia, más se atraerá la interpolación

segmentaria . Una circunferencia infinita, la atraería completamente al punto mismo. Antes de cambiar el tamaño de un punto de control individualmente, debes quitar la restricción de igualdad.



Restricciones típicas

Las interpolaciones segmentarias soportan todas las restricciones vistas hasta ahora para el control de las circunferencias.

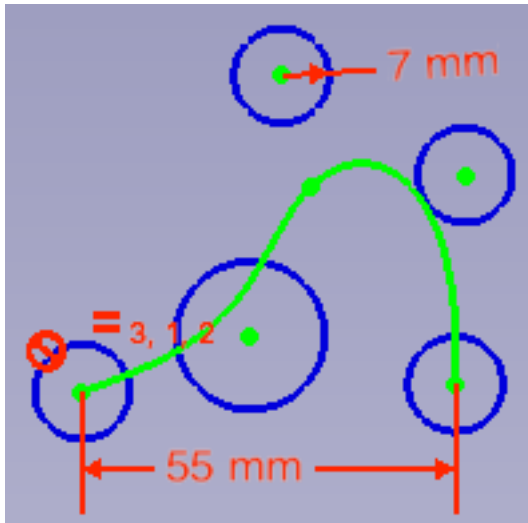
Todavía no es posible usar restricciones como tangencia o punto-sobre-objeto en la curva de una interpolación segmentaria sino solo en sus extremos. Sin embargo, más adelante encontrarás algunas técnicas para simular estos casos.

Restricción por bloque Aunque es muy sensato usar otras restricciones aparte de bloquear los extremos, pudieras saturar el croquis con medidas si quisieras restringir todos los puntos de control de en medio.

Aquí es sensato usar una restricción por bloque sobre la interpolación segmentaria. Asegúrate de que has aplicado todas las otras restricciones antes, porque una vez que se aplica la restricción por bloque no se puede cambiar nada en ningún punto del interpolación segmentaria ¹

¹Hasta la versión 0.19.21007, el croquizador no reporta tales sobre restricciones.

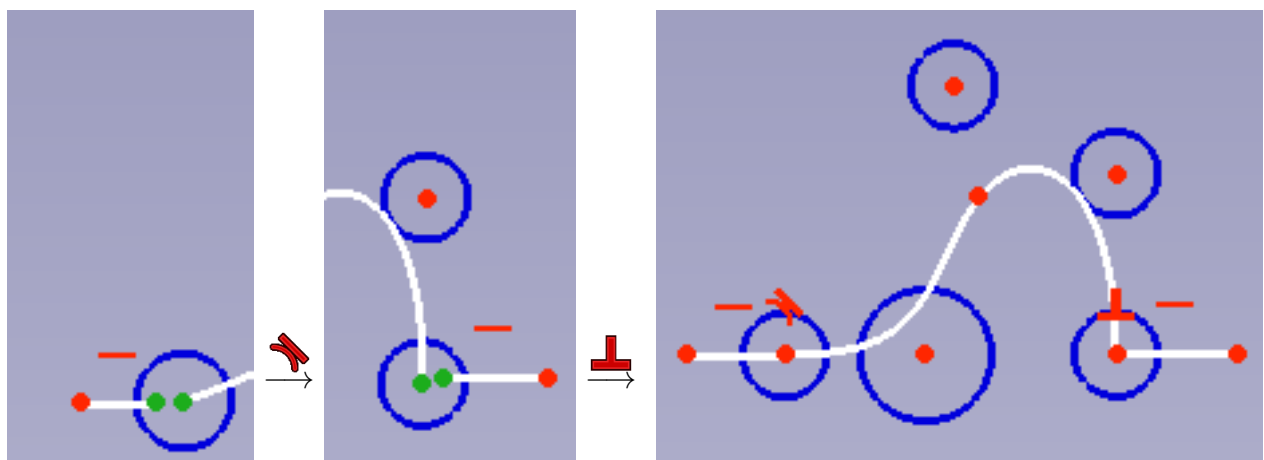
Ejercicio 16 Crea una interpolación segmentaria de acuerdo a la siguiente imagen. La restricción por bloque se alinea bastante lejos de la izquierda, pero esto pertenece a la curva de la interpolación segmentaria.



Antes de aplicar la restricción por bloque, especifica la longitud total (55 mm), y ajusta el tamaño de la circunferencia más grande sin establecerlo como una restricción

Restricción tangente y perpendicular sobre los extremos Los arcos y las líneas—y con ayuda de líneas de construcción, hasta las interpolaciones segmentarias—se pueden conectar a sus extremos usando restricciones de tangencia o de perpendicularidad.

Ejercicio 17 Quita la restricción por bloque del croquis del ejercicio 16. Adjunta las líneas horizontales: tangenciales a la izquierda, perpendiculares a la derecha.



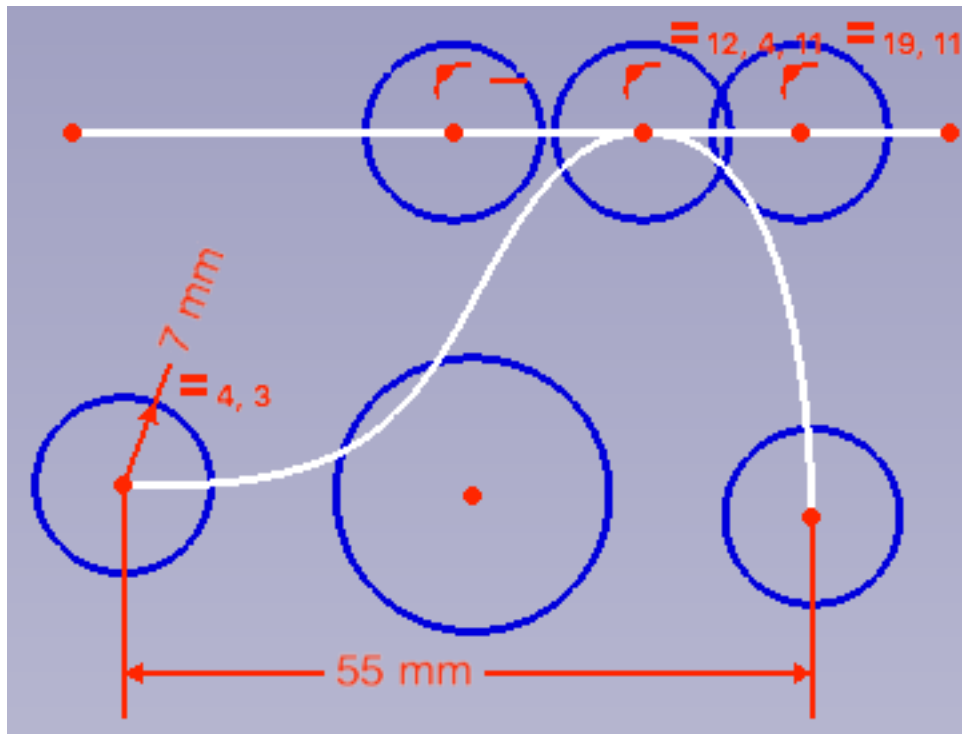
La última acción sería la de agregar la restricción por bloque otra vez.

Restricción de tangencia sobre la curva Actualmente no es posible crear una tangente en la parte interna de una interpolación segmentaria. Lo mismo se mantiene para puntos que descansen sobre la curva.

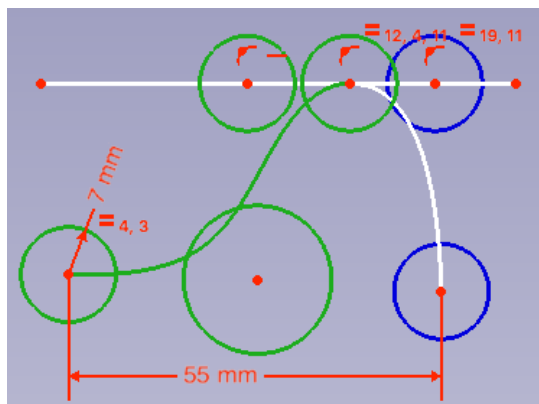
Como una solución alterna, tienes que crear dos interpolaciones segmentarias y conectarlas tangencialmente. Esto no funciona directamente, además tienes que agregar una línea de construcción.

Advertencia: No obtendrás en forma automática exactamente la misma curva que con una única interpolación segmentaria pero te puedes acercar bastante.

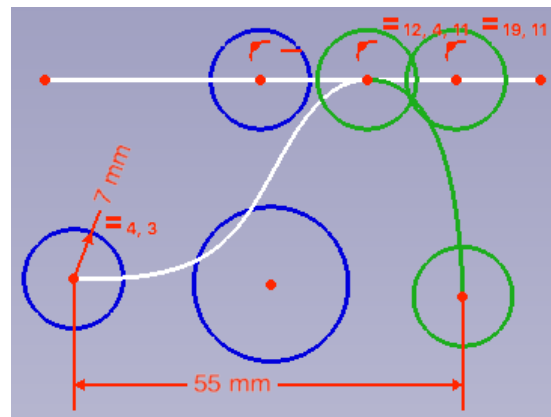
Ejercicio 18 *Basado en el ejercicio 16 en la página anterior agrega una tangente a la parte superior de la interpolación segmentaria.*



Hay dos interpolaciones segmentarias involucradas:



and




Existen diferentes posibilidades para agregar la tangente:






- Puedes colocar el extremo y el punto de control cercano a él sobre la tangente. Eso es lo que hice en el ejemplo.
- Puedes usar la restricción de punto-a-punto en los extremos.

Punto-sobre-Objeto sobre la curva. Crea esto en una forma análoga a la tangente.

Perpendicular sobre la curva. Crea esto en una forma análoga a la tangente.

14. Secciones cónicas

Encuentras la sección cónica en el menú desplegable del ícono . Una vez que seleccionas este ícono se reemplaza con la última selección hecha.

Íconos:		Elipse por centro, radios menor y mayor, 5 DOF
		Elipse mediante ejes mayor y menor, 5 DOF
		Arco de elipse, 7 DOF
		Arco de hipérbola, 7 DOF
		Arco de parábola, 6 DOF

Los DOF de la elipse se dan por las dos líneas que la definen qué pudieran hacer hasta 8 DOF. Estas se reducen porque las líneas tienen un centro común (menos 2 DOF) y por ser perpendiculares (menos 1 DOF). Esto contabiliza 5 DOF

El arco de la elipse tiene dos DOF adicionales: los puntos inicial y final se pueden definir por un ángulo, agregando cada uno un DOF. Esto totaliza 7 DOF. Una hipérbola también se define por dos rectas perpendiculares—esta vez conectadas como una T—y dos ángulos, lo cual suma 7 DOF. Una parábola se define por una recta entre su foco y su vértice con 4 DOF y dos ángulos por los extremos. Esto suma 6 DOF.

14.1. Creando y usando secciones cónicas

El uso de secciones cónicas es directo. No hay una excepción o comportamiento especial cuando se usan tangentes las cuales se describirán pronto (mira la sección 14.2 en la página siguiente).

- Puedes usar líneas de construcción (mira la sección 15 en la página siguiente) para restringir adicionalmente tu modelo.
- Puedes usar la curva de la misma manera que se describió para las circunferencias y los arcos:
 - Agrega restricciones de tangencia entre la curva y líneas.

- Agrega tangencia de punto-a-punto entre los extremos de arcos cónicos y otros elementos geométricos.
- Agrega restricción de perpendicularidad entre los extremos de arcos cónicos y otros elementos geométricos.

14.2. Tangencia y perpendicularidad sobre secciones cónicas

Si quieres crear una restricción de tangencia entre una sección cónica y otra curva de tipo sección cónica(circunferencia o arco) lo haces de la misma manera como hasta ahora: Selecciona ambas curvas y aplica la restricción. Sin embargo, el efecto es ligeramente diferente:

- Se crea un punto adicional.
- Este punto se ubica en ambas curvas con dos restricciones de punto-sobre-objeto;
- Se crea una restricción de tangencia.





Se usa la misma técnica para crear restricción de perpendicularidad entre una sección cónica y una línea:



15. Geometría de construcción

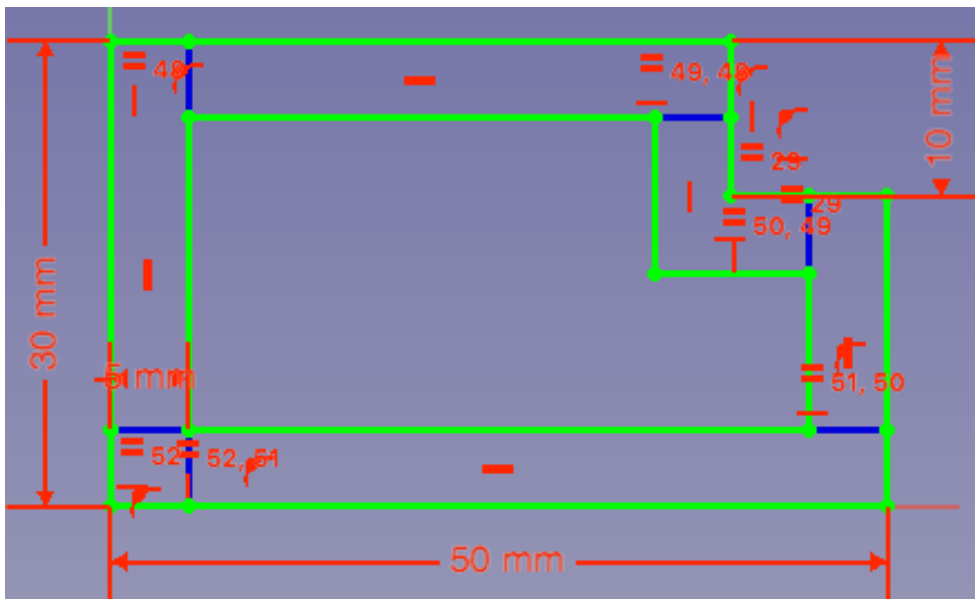
La geometría de construcción se puede usar cuando la geometría no se usará para crear características adicionales, sino sólo para construir en el propio croquis . La hemos usado en el ejercicio 8 en la página 26, y se genera automáticamente *e. g.* cuando se crea un polígono, mira la sección 11 en la página 34.

La geometría de construcción se presenta en azul para distinguirla de lo que llamaré aquí geometría “real” o “normal”, que se presenta en blanco. Tienes dos posibilidades para crear geometría de construcción:

- Seleccionando un elemento geométrico y dando un clic al ícono-de-modo-construcción , puedes alternar entre geometría real y de construcción. Esto significa que también puedes ir en sentido contrario y convertir geometría de construcción en geometría real.
- Si no hay nada seleccionado y presionas el ícono-de-modo-construcción , todos los íconos para crear geometría se vuelven azul y entras al modo de construcción. En este modo, todos los elementos geométricos son elementos de construcción.
Para finalizar este modo, dale un clic al ícono-de-modo-construcción otra vez.

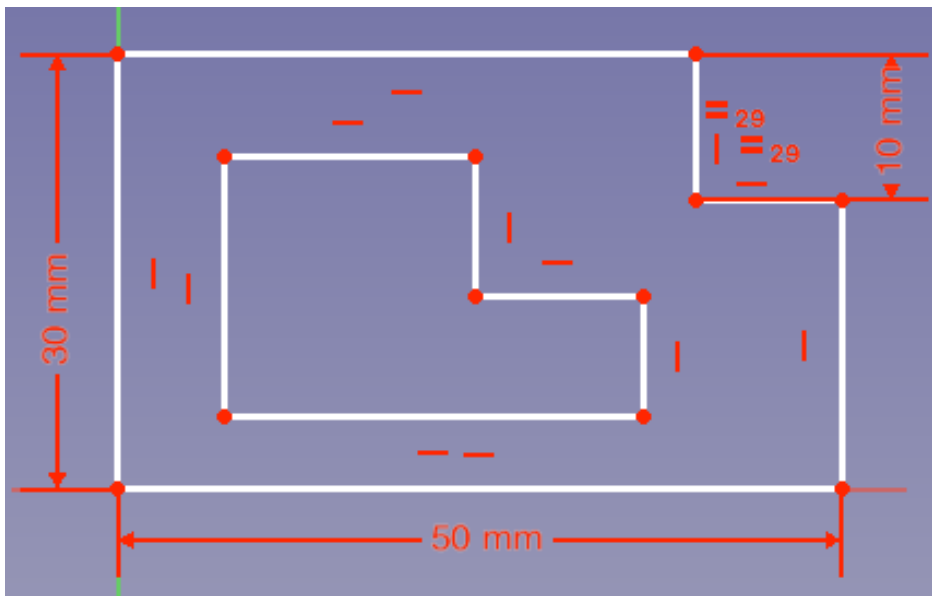
Frecuentemente uso geometría de construcción cuando quiero tener distancias iguales a algún borde externo de un croquis.

Ejercicio 19 *Crea un croquis no trivial con un borde interno y otro externo de igual distancia entre ellos.*



Para hacer esto:

- Empieza con un croquis completamente restringido para borde externo.
- Agrega un borde interno con la misma estructura. A grandes rasgos, tu croquis puede parecerse a esto:



- Cambia el modo de construcción.
- Agrega líneas de construcción. Con las restricciones automáticas habilitadas, puedes agregar restricciones horizontales, verticales y de punto-sobre-objeto durante la construcción. Si faltan algunas, aplícalas después de la creación.
- Aplica una restricción de igualdad entre todas la líneas de construcción.
- Añade una restricción de distancia horizontal o vertical a una de las líneas de construcción.

La geometría de construcción también se agrega a la lista de elementos como todas las otras geometrías. Los puntos de los extremos de los íconos correspondientes son azules en lugar de ser rojos.



16. Punto

El punto es un elemento geométrico que no hemos discutido aún. No se puede alternar entre geometría real y de construcción, siempre es de construcción.

Ícon:	
Número grados de libertad agregados:	2

El punto se puede restringir fijando sus coordenadas x y y, así que tiene 2 DOF.

El punto sirve sólo como geometría de construcción. No es posible construir un croquis que contenga solamente un punto como geometría real. (Eso no sería deseable para las solevaciones

que dependen de un punto individual.) Esto se mantiene para la versión actual de FreeCAD 0.19. Esto pudiera cambiar en el futuro. Si necesitas un punto como geometría real, tienes que usar el banco de trabajo Parte (Part) o Borrador (Draft)

Usa el punto para definir el resto del croquis en el caso de que se necesite un punto, pero no está dado directamente por la geometría. Esto puede ser *e.g.* el centro de dos rectángulos, un punto determinado de una circunferencia, etc. Por ejemplo mira el ejercicio de la ranura 14 en la página 36.

Parte III

Restricciones

Las restricciones hacen único al croquizador entre los bancos de trabajo, y lo distinguen de la mayoría de los otros programas de dibujo 2D también. Especialmente las restricciones geométricas como la de coincidencia, igualdad, punto-sobre-objeto, tangencia, etc, hacen un modelo independiente de muchas dimensiones mejorando así su legibilidad y parametricidad. Imagina un croquis con una única ranura y tienes cada uno de los puntos restringidos con medidas en x y y. Eso sumaría 18 medidas. Ahora imagina que tienes dos o tres de estas ranuras y que tuvieras que mover este croquis cierta cantidad hacia arriba y hacia la derecha. Tendrías que cambiar y calcular cada una de estas medidas—¡qué dolor!.

En esta sección quiero discutir las diferentes restricciones y como se manipulan.

Mientras que los elementos agregan DOF al modelo, las restricciones hacen lo contrario: reducen el número de DOF al modelo. Pronto diré que las restricciones *consumen* cierto número de DOF. Esto es algo que siempre debes tener en cuenta. Estoy viendo siempre los mensajes del solucionador y cómo cambian con la aplicación de una nueva restricción. Esto me da cierta satisfacción viendo como se aproximan hacia cero, pero por supuesto es más importante, que puedo intervenir inmediatamente si algo sale mal.

17. Seleccionando restricciones


Esto parece ser una tarea simple, pero hay más posibilidades más allá de la forma obvia. Cuando seleccionas una restricción por cualquiera de los medios que menciono abajo, la restricción se seleccionará en la vista 3D así como en la lista de restricciones en el panel de la izquierda.

Dale un clic en la restricción en la vista 3D. Esto es probablemente la posibilidad más usada.


Dale doble clic en un valor numérico en la vista 3D tal como una distancia o un radio. Si quieres cambiar el valor de la medida, dale doble clic en la restricción e introduce un nuevo valor.

Selección por lista. Algunas veces es difícil seleccionar una restricción existente en la vista 3D. En la versión 0.19 actual de FreeCAD, parece imposible seleccionar una entre múltiples restricciones si hay más de una impuesta a un elemento geométrico (en Mac, la situación parece ser un tanto peor que en Ubuntu).

En este caso, puedes hacer la selección desde la lista de restricciones en el panel del lado izquierdo. Esta es la estrategia más segura para determinar cuál fué la última restricción que se agregó al modelo, ya que será la última que aparecerá en la lista de restricciones.

Selección de restricciones asociadas a un elemento geométrico. Si seleccionas un elemento geométrico, puedes usar el ícono  para seleccionar todas las restricciones

tenga asociadas, incluyendo las de coincidencia a sus extremos. Al mismo tiempo la selección del elemento geométrico se descarta.

Selección de los elementos geométricos asociados a una restricción. Si seleccionas una restricción, puedes usar el ícono  para seleccionar todas los elementos geométricos que ésta tenga asociada. Al mismo tiempo, se descarta la selección de la restricción.

Selección por caja Este tipo de selección es—en lo relativo a las restricciones—útil para seleccionar restricciones de coincidencia. Por otra parte, se puede usar para seleccionar los extremos de los elementos geométricos que estén uno encima del otro, *e. g.* para aplicar una restricción de tangencia o de perpendicularidad:

Puedes obtener un región rectangular mientras mueves el ratón manteniendo presionado el botón izquierdo. Dependiendo de la dirección en que muevas el ratón pueden pasar distintas cosas:

- Hacia la derecha, se seleccionas todos los elementos que estén *completamente dentro* del rectángulo de selección.
- Hacia la izquierda, se seleccionan todos los elementos que al menos estén parcialmente dentro del rectángulo.

Mira los ejercicios 22 en la página 58 para un ejemplo de selección por caja.

18. Aplicando restricciones

Hay dos modos diferentes de aplicar restricciones a elementos paramétricos. Su comportamiento se puede configurar en Preferencias→Croquizador →General→Constraint Creation “Continue Mode”.

- Puedes aplicar una restricción como ya has visto en esta lección: Selecciona uno o—dependiendo del tipo de restricción—más elementos geométricos y dale un clic al ícono para aplicar la restricción.
- El otro modo es similar al modo de creación continua: Sin haber seleccionado ningún elemento geométrico, en el croquis, dale un clic al ícono de la restricción. Como ejemplo, digamos que le diste un clic al ícono de restricción vertical. Ahora puedes seleccionar en forma subsecuente todas las líneas que se supongan que tengan una restricción vertical.

Para las restricciones que requieran más de un elemento geométrico, como por ejemplo la restricción de punto-sobre-objeto, la restricción se aplica tan pronto como has seleccionado los elementos que les sean suficientes. Con algunas restricciones, como las de simetría, la secuencia de la selección es significativa.

Para abandonar el modo de restricción continua, dale un clic al botón derecho del ratón, presiona la tecla escape o selecciona algo más de la lista de elementos geométricos.

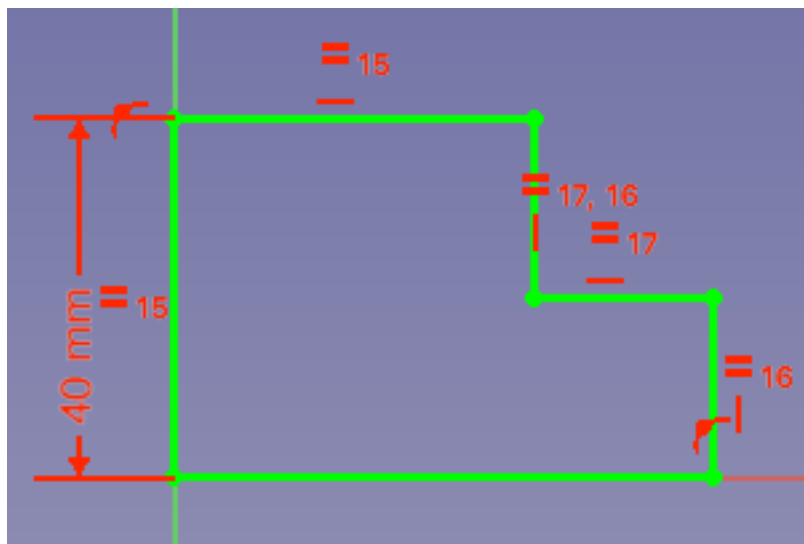
19. El solucionador

19.1. Resolviendo un croquis

Para el solucionador, un croquis es un—posiblemente inmenso—sistema de ecuaciones. El solucionador trata de encontrar una solución que en el mejor de los casos es única.

Se dice que un croquis está resuelto, si todas las restricciones se satisfacen y no hay otra “solución cercana”, *i. e.* no puedes mover parte alguna del croquis en forma continua mientras la solución aún sea válida. Esta condición es un tanto complicada, ya que el croquis se puede marcar como resuelto aunque la solución no sea única. El siguiente ejercicio muestra dos croquis que están completamente restringidos y ambos tienen el mismo conjunto de restricciones. Aún así, ¡son diferentes!

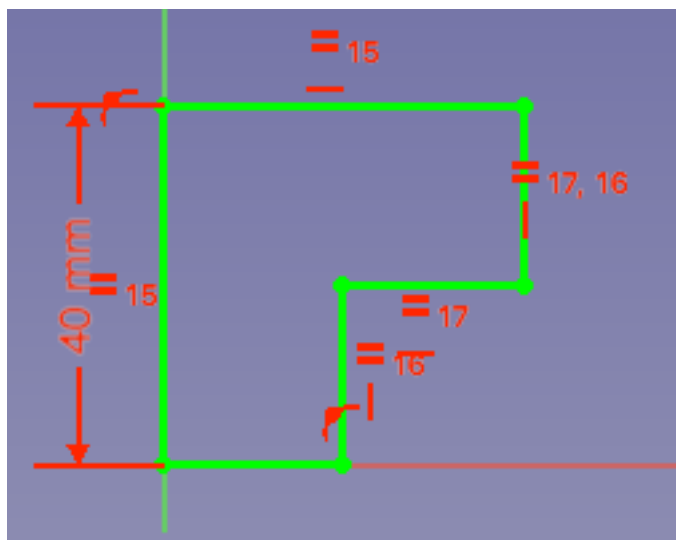
Ejercicio 20 *Crea un croquis de acuerdo a la siguiente imagen:*



Los lados izquierdo y superior son iguales. Las tres líneas pequeñas son iguales.

Ahora crearemos una solución diferente basada en el mismo conjunto de restricciones:

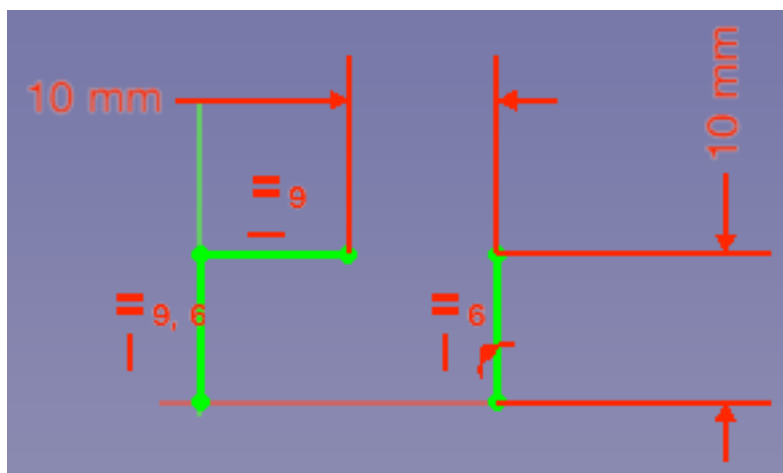
- Elimina la restricción de igualdad de la línea horizontal pequeña. En la imagen es la restricción número 17.
- Mueve el extremo derecho del croquis hacia la izquierda. Muévelo hasta que la línea pequeña vertical inferior esté a la izquierda de la línea pequeña vertical superior.
- Aplica la restricción de igualdad nuevamente y tendrás el mismo conjunto de restricciones que antes.



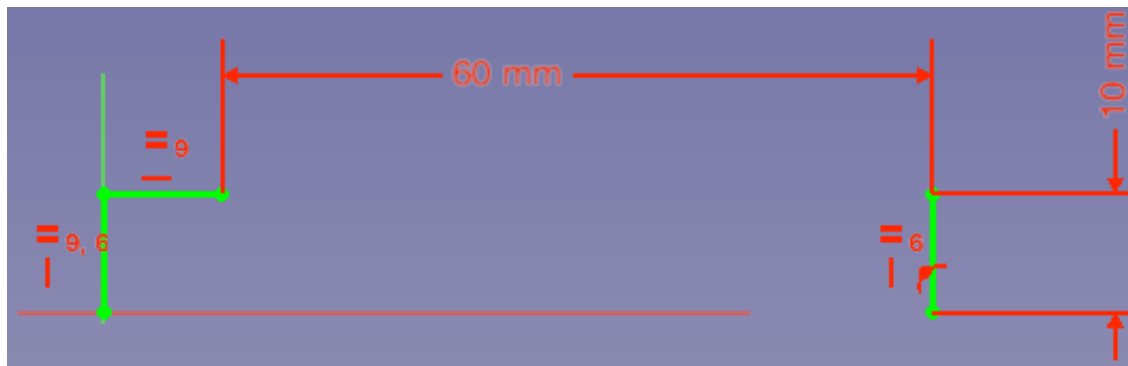
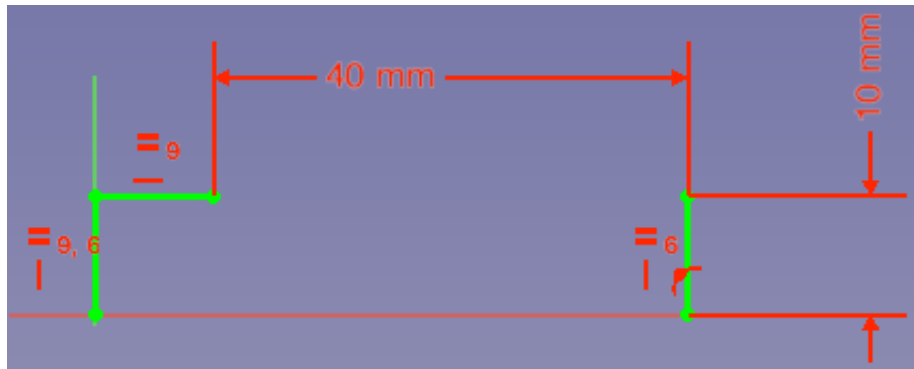
19.2. Croquis que se voltean

El comportamiento algunas veces conduce a resultados inesperados porque cambios pequeños múltiples pueden conducir a diferentes resultados que un gran cambio.

Ejercicio 21 *Crea un croquis de acuerdo a la imagen siguiente:*



Ahora aumenta la longitud de la línea superior en dos pasos a 60 mm



El croquis se comporta como se esperaba.

Ahora retrocede a la version de 10 mm y cámbiala en un solo paso a 60 mm:



La línea horizontal izquierda ha cambiado su dirección. Si esto pasa a un croquis con el que trabajo, usualmente deshago la última acción y muevo los *elementos manualmente a su destino final tan cerca como me sea posible*²

Aumenta la robustez Puedes mejorar la robustez de los croquis si usas restricciones de 90° en lugar de restricciones horizontales o verticales

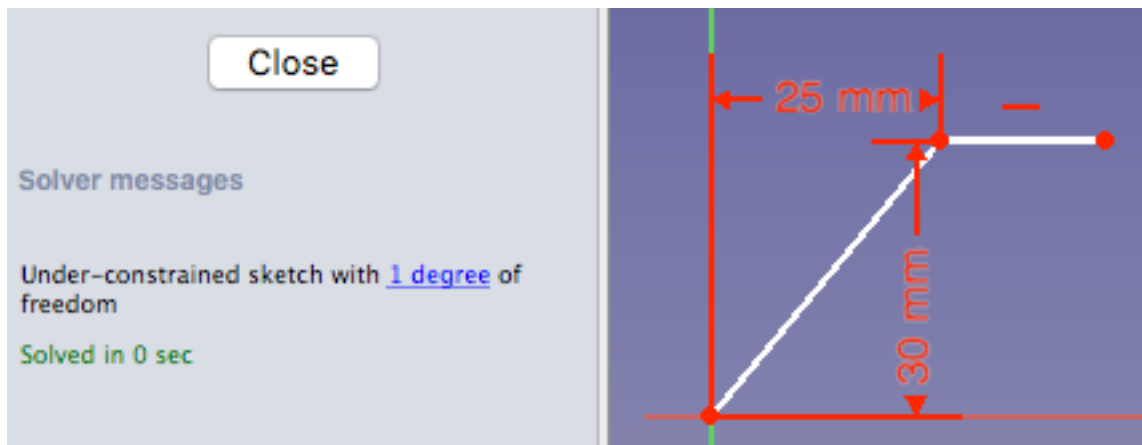
²En Preferencias→Croquizador →General puedes seleccionar la opción “Show Advanced Solver Control” (“Muestra controles avanzados del solucionador”). Después de reabrir el croquizador, en el panel tendrás una subsección adicional *Advanced solver control* (“Control avanzado del solucionador”). Si seleccionas Levenberg-Marquardt como la opción por defecto a menudo podrás evitar croquis que saltan.

19.3. Mensajes del solucionador

Cuando haces algo que cambia los DOF, como añadir o eliminar un elemento geométrico o una restricción, el solucionador recalcula todo el croquis para determinar una solución y responde con un mensaje determinado. Alguno de estos mensajes se desean en el proceso de desarrollo de un croquis y algunos muestran errores del estado del croquis.

19.3.1. Mensajes que quieres ver

Under-constrained sketch (Croquis poco restringido) Recordemos nuevamente el ejemplo de las dos líneas respecto a las restricciones automáticas de la sección 4.1 en la página 16:

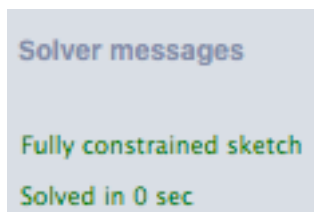


Puedes darle un clic en la parte azul en el mensaje del solucionador. Allí leerás **1 degree (1 grado)** Esta acción seleccionará los elementos en el croquis en donde se deberían aplicar restricciones adicionales para que el croquis esté completamente restringido. En este ejemplo, aparecerá seleccionada la línea superior horizontal.

No puede haber más recomendaciones acerca de cómo restringir el croquis, porque esto depende de ti. Piensa al respecto y aplica las restricciones adecuadas. En este caso, pudiera ser una restricción de igualdad o de longitud horizontal.

Hasta pudiera ser una restricción de punto-sobre-objeto entre el extremo y el eje Y, volteando así la línea en 180°.

Croquis restringido completamente en un amigable color verde. ¡Esto es lo que siempre deberías tratar de lograr!



Los croquis se pueden usar para hacer extrusiones y bolsillos sin haber sido restringidos competamente. Pero la experiencia ha demostrado en algunos casos raros hubo problemas cuando se usaron croquis que no estaban completamente restringidos.

19.3.2. Mensajes no deseados

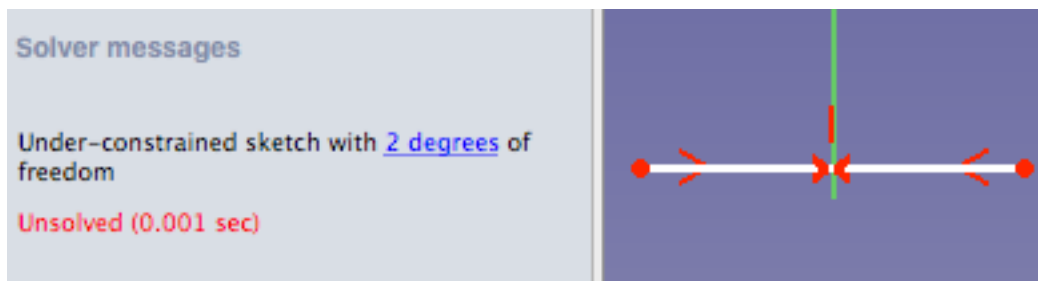
Hay problemas diferentes de distinta severidad, la mayoría de ellos los detecta y reporta el solucionador.

Por favor nota que: *Cuando un croquis se encuentra en tal estado de error, ya no es posible actualizar la vista 3D. No puedes mover ni el croquis ni ninguna de sus partes. Cualquier restricción adicional que pudiera corregir la situación, no mostrará ninguna consecuencia en la vista 3D hasta que hayas corregido el error.*

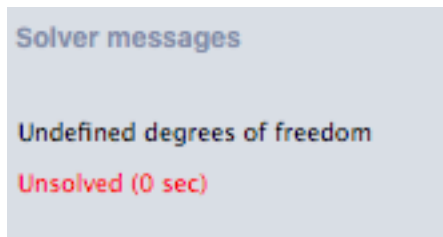
Lo siguiente está ordenado por el nivel de severidad, empezando por lo peor:

Sketch unsolved (Croquis no resuelto) En el croquis que se muestra a continuación, apliqué una restricción de simetría a los extremos de una línea con el eje Y. Esto produjo que la línea fuera horizontal y dejó 2 DOF. Después agregué una restricción vertical (conflictiva) sobre la línea. Esto dejó el mensaje inalterado, pero agregó “Unsolved” (No resuelto) en rojo. Deberías manejar esta situación borrando la última restricción que impusiste, porque el solucionador no te puede dar ninguna sugerencia sobre las restricciones involucradas.

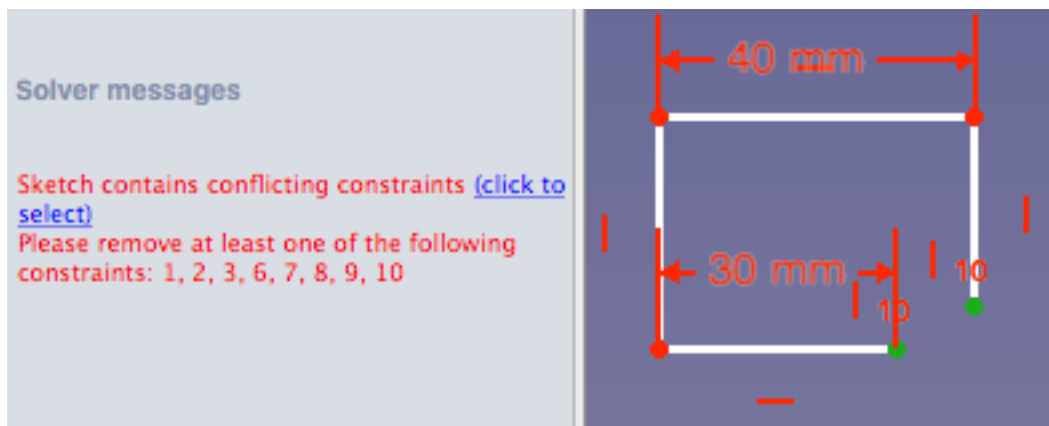
Esto muestra una vez más la importancia de permanecer mirando los mensajes del solucionador.



Esta situación se presenta en diferentes sabores. De acuerdo al del mensaje del solucionador, has añadido una restricción conflictiva. Si cierras y reabres el croquis, obtendrás el mensaje “Undefined degrees of freedom” (“Grados de libertad indefinidos”).





El croquis contiene restricciones conflictivas. En este ejemplo



Apliqué una restricción de coincidencia a dos puntos seleccionados. Por supuesto, esto no es posible porque no pueden estar separados 10 mm y ser coincidentes simultáneamente. El solucionador lo detecta y lo reporta.

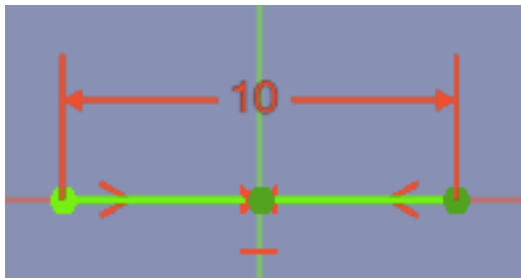
El solucionador presenta una lista de todas las restricciones candidatas de las cuales debes borrar por lo menos una. Puedes darle un clic en la parte azul en el mensaje del solucionador, el cual seleccionará *todas* estas candidatas. Si las borras todas, habrás borrado demasiadas restricciones.

Si siempre miras los mensajes del solucionador, te darás cuenta inmediatamente si algo está errado. Así analizarás por qué la última restricción conduce a este mensaje de error. En la gran mayoría de los casos, borrarás la última restricción y la reemplazarás con una correcta. En el ejemplo dado aquí, una restricción horizontal  o una de

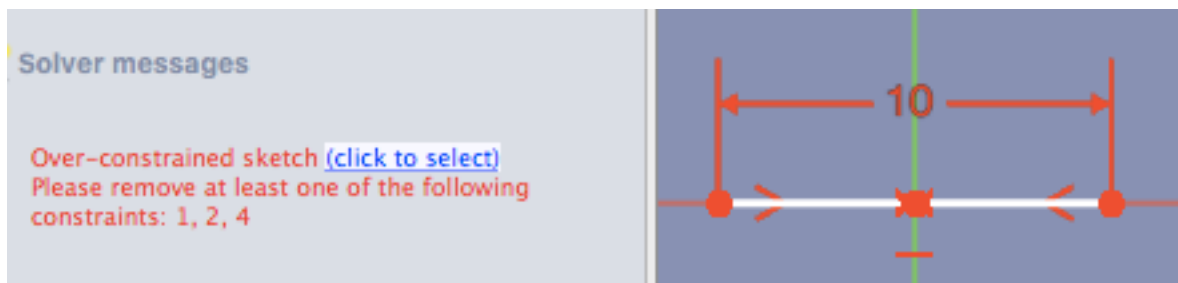
distancia vertical  pudiera ser lo apropiado.

En algunos casos, puede ser sensato borrar o reemplazar alguna otra restricción en lugar de la última. En el ejemplo se pudiera borrar la restricción de 30 mm. Después de lo cual, la coincidencia se puede aplicar sin errores.

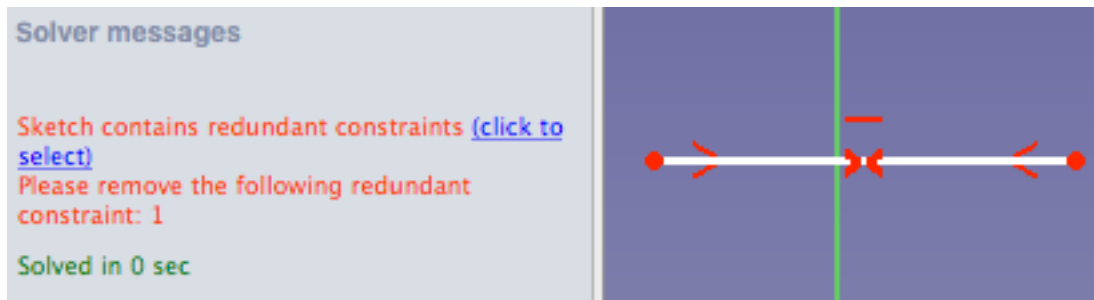
Over-constrained sketch (croquis sobre restringido). Esto es una forma especial de la anterior, con la condición adicional de que hay más grados de libertad consumidos por las restricciones que las que se agregaron con los elementos geométricos. En el ejemplo siguiente, tengo un croquis bien y completamente restringido con una línea horizontal. Su longitud está definida y es simétrica respecto al origen.



Si ahora se aplica una restricción de coincidencia adicional entre el extremo derecho de la línea y el origen, entonces hay demasiadas restricciones y son conflictivas



El sketch contiene restricciones redundantes. Recibirás este mensaje cuando una o varias restricciones implican otra. En el ejemplo siguiente tengo una línea con una restricción horizontal. Después selecciono ambos extremos y al eje Y y aplico una restricción de simetría. La simetría implica la restricción horizontal. El solucionador lo detecta, y en este caso hace una propuesta perfecta que sigo dándole un clic al texto en azul. Por favor nota que en este caso no es sensato borrar la última restricción añadida.

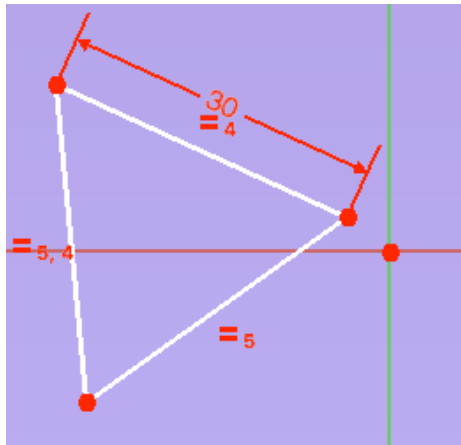


(presentación normal) Mostrando los DOF o hasta el mensaje “completamente restringido”. Pero todavía está “sobre restringido”. Esto no es demasiado serio y todo funciona como se espera. No obstante, recomiendo evitar esta situación, porque usualmente pudieras simplificar el conjunto de restricciones y más simple es siempre mejor si el resultado es el mismo.

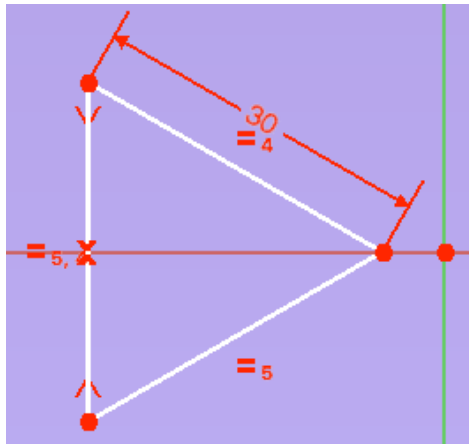
Estas sobrerrestricciones suceden cuando una restricción que se agrega consume más de 1 DOF, y no hay otra restricción que se pueda borrar completamente. El solucionador elimina en forma silenciosa la parte redundante de la restricción.

Como ejemplo crea un croquis en la forma que se describe a continuación.

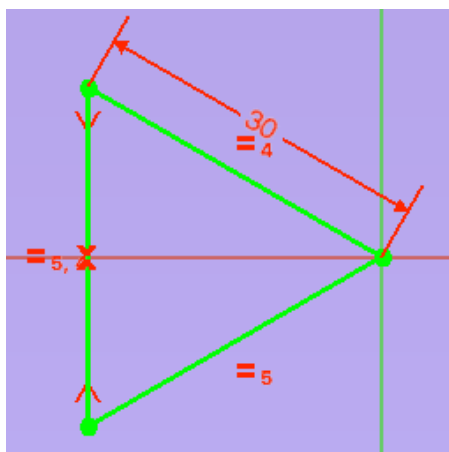
- Crea un triángulo equilátero y ajusta la longitud de un lado. Tienes 3 DOF.



- Agrega una restricción de simetría haciendo dos puntos simétricos respecto al eje X. Esto consume 2 DOF, dejando 1 DOF.



- Crea una restricción de coincidencia entre el punto colocado sobre el eje X y el origen.




La coincidencia consume 2 DOF, así que se esperaría una redundancia. Sin embargo, el solucionador detecta esto como se estuviera completamente restringido.

Como dije antes, debes mirar siempre los mensajes del solucionador para detectar estos problemas. Se debería notar que en estos casos aplicar las restricciones en una secuencia

distinta, puede conducir a resultados diferentes. Si en el ejemplo anterior, creas primero la coincidencia y después la simetría, obtendrás un croquis “unsolved” (“no resuelto”). Una manera apropiada de restringir esto, sería reemplazar una de las restricciones que consumen 2 DOF por otra que consuma sólo una. Pudieras *e. g.* reemplazar la simetría por una restricción vertical o la de coincidencia en el centro por una de punto-sobre-objeto sobre el eje Y.

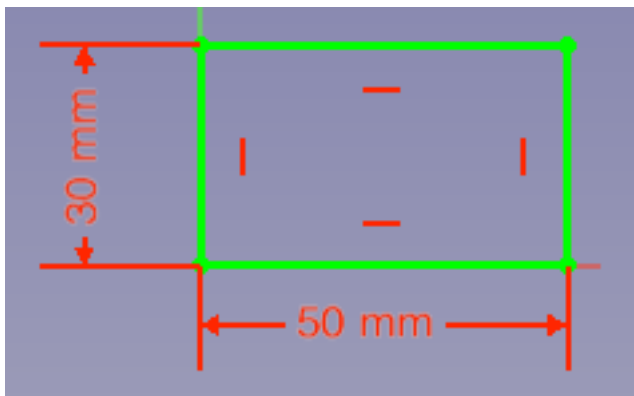
20. Coincidencia

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	2

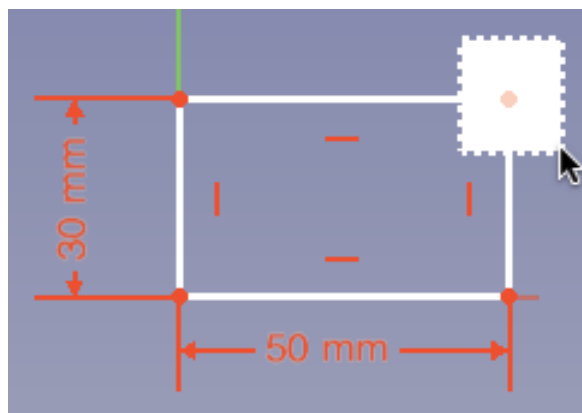
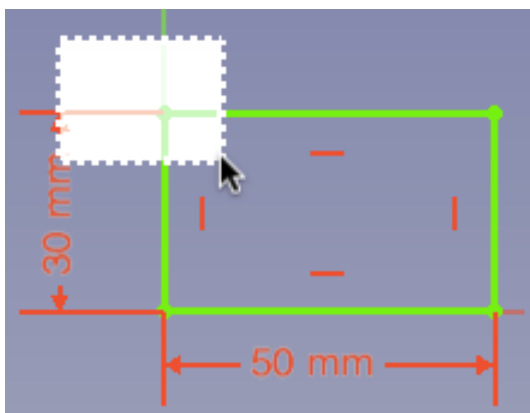
La coincidencia impide que un punto se mueva en cualquiera de las dos direcciones, consumiendo así 2 DOF.

Hay una diferencia importante entre dos puntos que tengan las mismas coordenadas y que sean coincidentes. Especialmente cuando tienes habilitado el ajuste a la rejilla, esto puede traer confusión. El siguiente ejercicio mostrará la diferencia y mostrará también la técnica de selección por caja, la cual se es muy útil cuando se trata de coincidencias

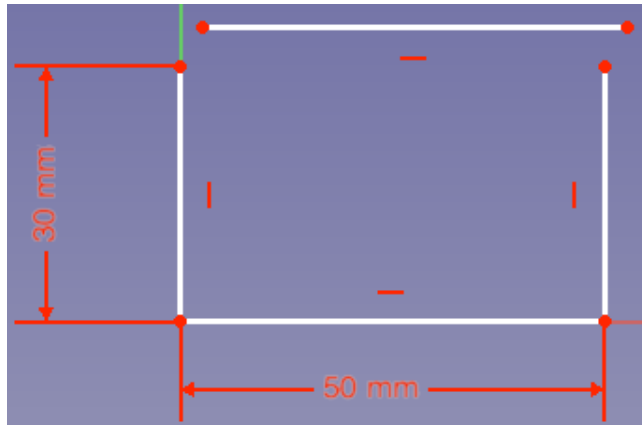
Ejercicio 22 *Crea un rectángulo completamente restringido, lo cual significa que tienes 0 DOF.*



Ahora selecciona una por una las esquinas superiores con una selección por caja de izquierda a derecha y borra lo que está en la caja.



Esto dejará el croquis con 4 DOF, aunque la posición de todos los elementos geométricos es la misma que antes. Si quieres puedes mover la línea superior, lo que era imposible antes.



Con alguna experiencia—tan pronto como estés seguro si dos puntos *son* coincidentes o si sólo *parecen serlo*—probablemente usarás la selección por caja: Selecciona los extremos con una selección por caja y aplicas la coincidencia.

Para los principiantes me gusta recomendar otra cosa: Mueve uno de los puntos que quieres que sea coincidente, estando plenamente consciente de que no está en su posición final. Cuando aplicas la restricción, ves como se ajusta a la posición.

Ve la sección 42 en la página 91 para una herramienta adicional para verificar si falta alguna coincidencia.

21. Punto sobre objeto

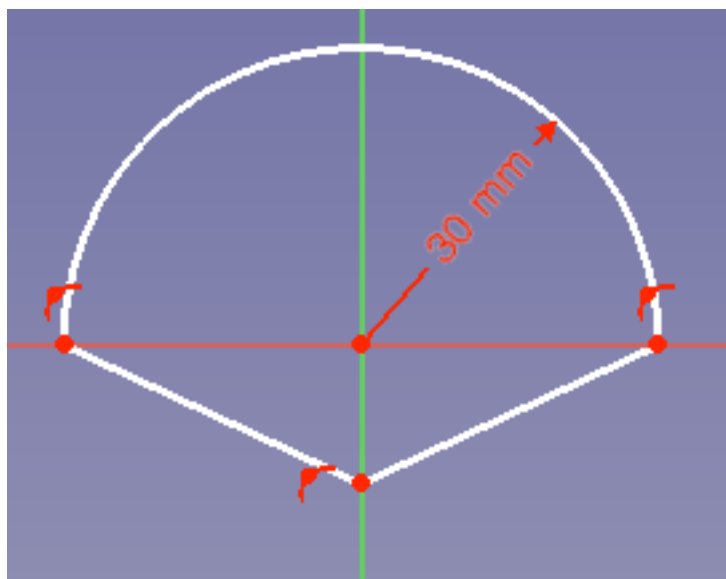
Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

Una restricción de punto-sobre-objeto fija un punto *e. g.* sobre una línea horizontal en una dirección vertical, mientras aún se puede mover sobre la línea. Esto consume 1 DOF.

Muy a menudo, la restricción de punto-sobre-objeto se usa para fijar un punto al eje X o al Y. Pero se puede usar para fijar un punto a sobre línea o sobre una curva. Esta restricción no se puede usar todavía en interpolaciones segmentarias. Si no se fija nada más, el punto se puede mover sobre la línea o sobre el arco respectivamente.

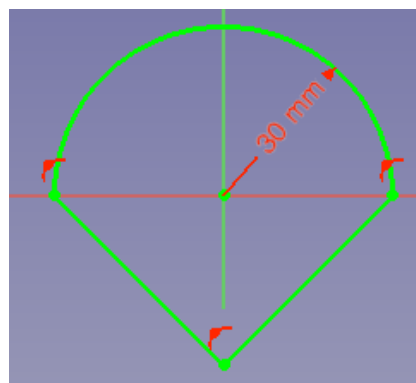
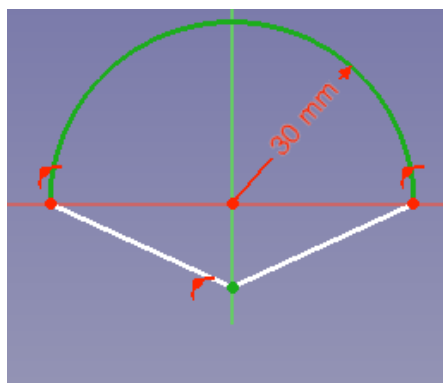
En el ejercicio 7 en la página 22 ya vimos, que nos es necesario que el punto descansa sobre el segmento de recta que forma la geometría. Lo mismo se aplica a arcos y a otras curvas.

Ejercicio 23 Crea un croquis de acuerdo a la imagen siguiente usando restricciones de punto-sobre-objeto sobre el eje X (dos veces) y sobre el eje Y.



El centro de la circunferencia es coincidente con el origen. Hay un DOF, porque el punto inferior se puede mover libremente sobre el eje Y hacia arriba y hacia abajo.

Fijamos el último DOF con otra restricción de punto-sobre-objeto. Selecciona el punto inferior y el arco y se aplica la restricción de punto-sobre-objeto:



El punto inferior descansa sobre la extensión virtual del arco.

22. Vertical

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

La restricción vertical usualmente se aplica a líneas, y—como sugiere el nombre del ícono—define la orientación de la línea a ser vertical.

Aquí hay otras observaciones referentes a la aplicación de restricciones verticales:

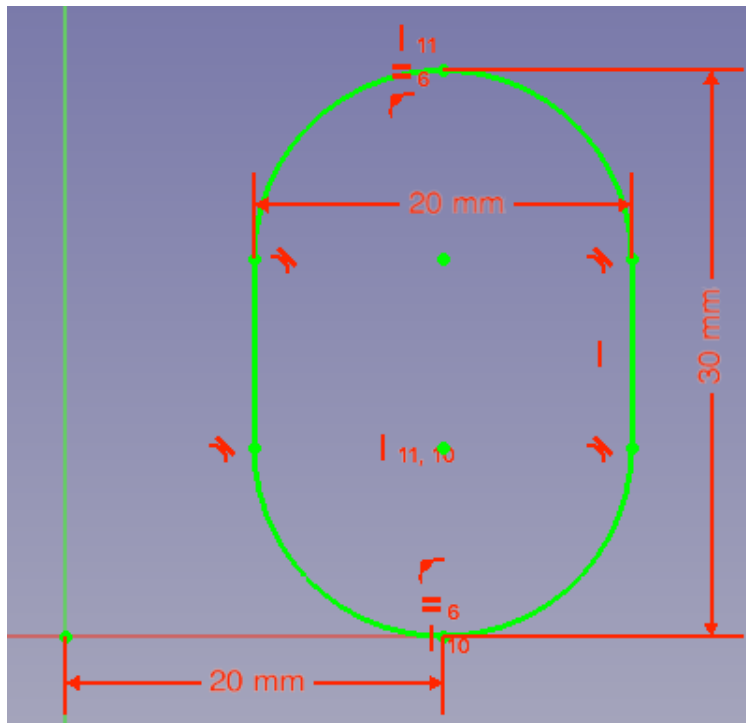
- Después de haber creado un esquema rudimentario del croquis, puede ser sensato entrar al modo continuo para aplicar restricciones verticales. Ve la sección 18 en la página 49 para más detalles.

- Puedes seleccionar más de una línea y aplicar la restricción vertical a todas a la vez. Aunque esto parece requerir el mismo esfuerzo que el modo continuo, hay una diferencia importante: Si te equivocas al escoger una línea y das un clic en un área libre, todas la líneas seleccionadas previamente dejarán de estarlo.

Así que se cuidadoso si vas a tener muchas restricciones verticales o aplica la restricción solo a algunas a la vez.

- La restricción vertical se puede aplicar a puntos en lugar de a líneas. Selecciona dos o más puntos y la restricción vertical. Esto alinea los puntos apilados verticalmente sin la necesidad de ningún otro elemento de construcción. Esto se usa frecuentemente si quieres acceder al punto más alto o al punto más bajo de un arco o una circunferencia. Se debe evitar esto que tiene el mismo efecto: una medida de distancia horizontal de 0 mm.

Ejercicio 24 *Crea una ranura de acuerdo a la siguiente imagen:*




Los puntos superiores e inferiores en la ranura son puntos adicionales. Mira la sección 16 en la página 46 para más detalles. Estos puntos tienen restricción vertical con el centro del arco inferior.

23. Horizontal


Ícon:	
Número de DOF consumidos:	1

Todo lo que se ha dicho respecto a la restricción vertical se aplica a la horizontal también. con la única diferencia, por supuesto, de que la alineación que se obtenga mediante su aplicación, será horizontal y no vertical.

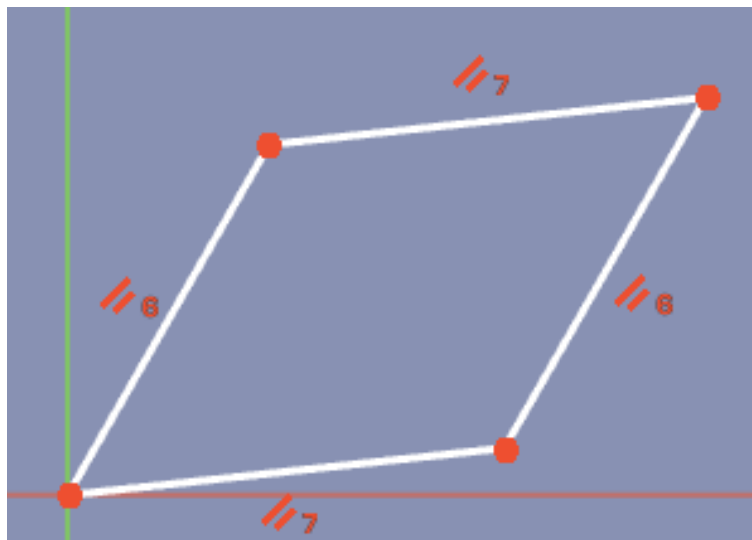
24. Paralela

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

Esta restricción limita la orientación de una línea – como una restricción vertical u horizontal – a una dirección y consume 1 DOF.

Selecciona dos o más líneas y haz un clic al ícono . Esto causa que todas las líneas seleccionadas sean paralelas. En el modo continuo puedes seleccionar pares de líneas en forma subsecuente, que luego se harán paralelas.


Ejercicio 25 Crea un croquis de acuerdo a la siguiente imagen. Usa modo continuo.



Hay dos casos en donde no puedes o no debes usar restricciones paralelas.

- No deberías usar restricciones paralelas en líneas horizontales o verticales. En su lugar, usa la restricción dedicada horizontal y vertical.
- No puedes usar restricción paralela en arcos o circunferencias, si quieres circunferencias concéntricas, deberías hacer sus centros coincidentes.

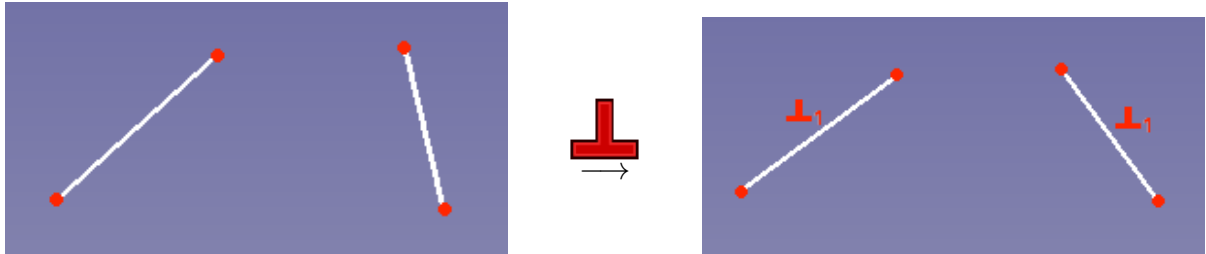
25. Perpendicular

Ícon:	
Número de DOF consumidos:	1 para línea/línea; mira el parágrafo (a) adelante 2 para puntu/línea; mira el parágrafo (b) adelante 3 para punto/punto; mira el parágrafo (c) adelante

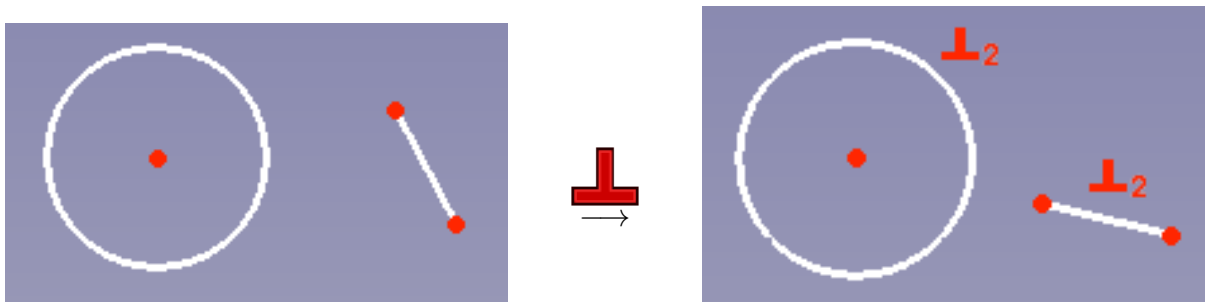
La restricción perpendicular viene—similarmente a la de tangencia en la sección 26 en la página 65—en tres diferentes sabores que controlan distintos comportamiento en los extremos.

- (a) Para la variante básica, selecciona dos líneas y aplica la restricción perpendicular. El ejemplo siguiente muestra que las líneas no tienen que cruzarse para ser perpendiculares entre ellas:

Ejercicio 26 *Crea dos líneas con una distancia considerable entre ellas y aplica la restricción perpendicular:*

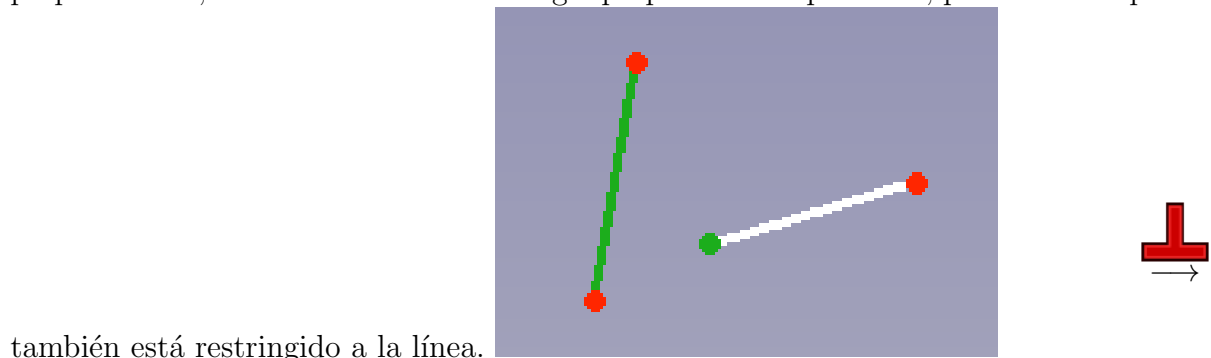


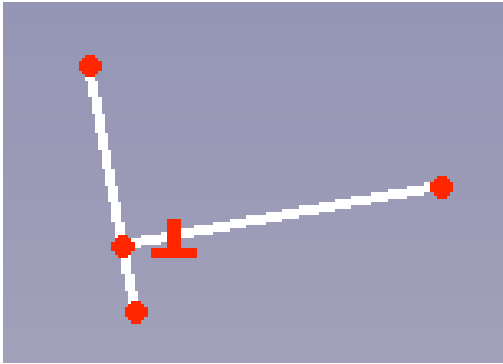
La restricción perpendicular se puede aplicar también entre una línea y una circunferencia o un arco:



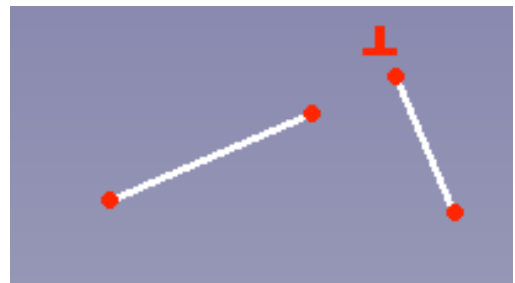
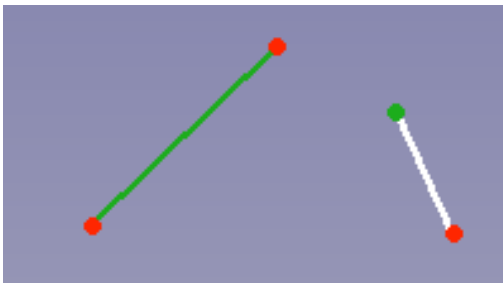
Observación: Una restricción de punto-sobre-objeto entre el centro de un arco y una línea tendría en mismo efecto.

- (b) Si seleccionamos una línea y un extremo de otra línea, antes de aplicar la restricción perpendicular, obtenemos el mismo arreglo perpendicular que antes, pero ahora el punto

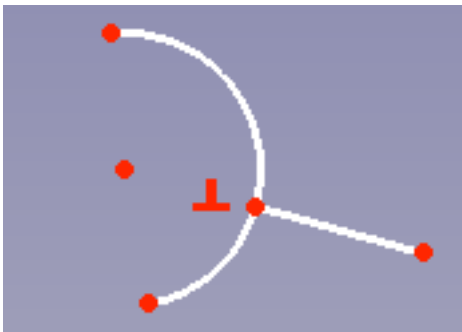




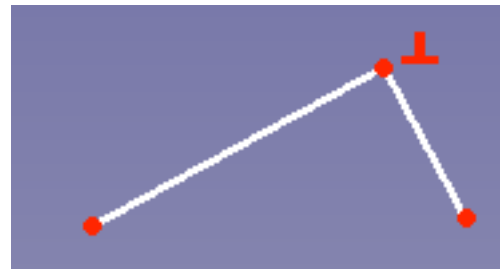
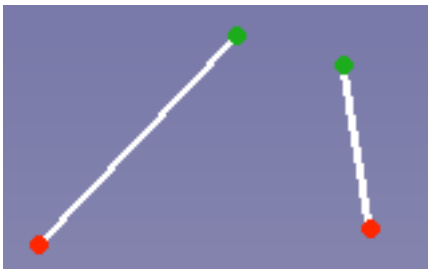
Para ser preciso; El punto no descansa sobre el segmento de recta real, sino en la recta infinita:

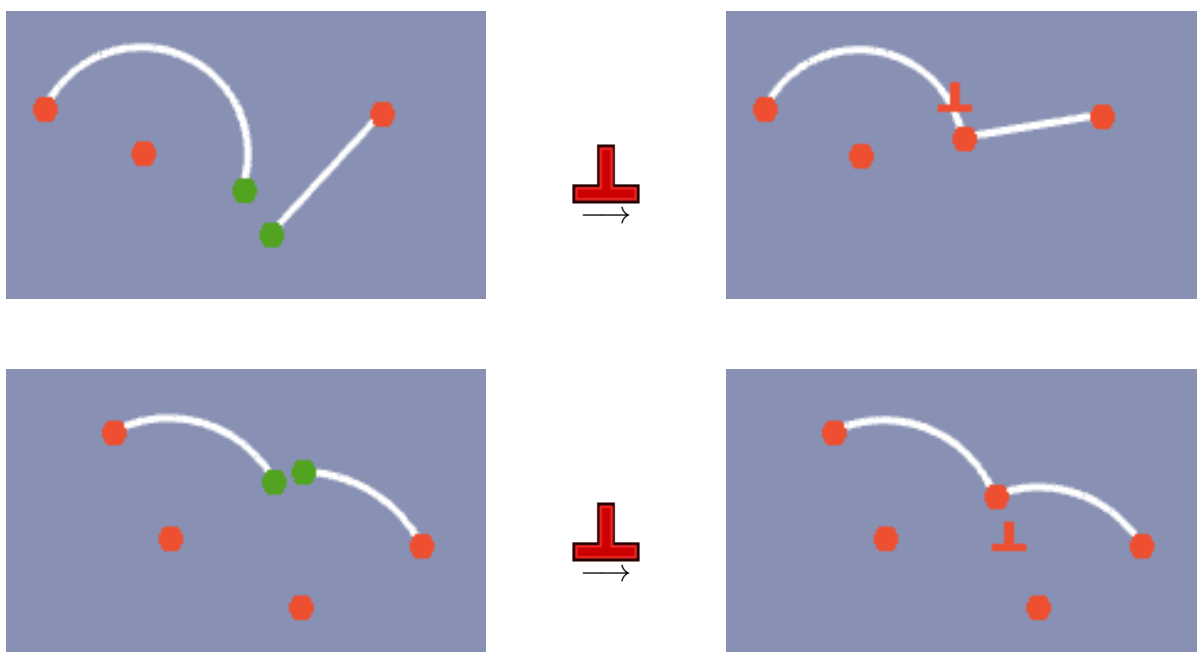


Otra vez, podemos aplicar esta restricción a una línea y a un arco:



- (c) Si seleccionas los extremos de dos líneas, o de un arco y una línea, o de dos arcos y aplicas la restricción perpendicular las dos líneas / arcos se hacen perpendiculares y los puntos seleccionados se hacen coincidentes. Este es el tipo de restricción perpendicular que se crea automáticamente con la polilínea usando la tecla M, mira la sección 9 en la página 31.





Cosas que no deberías o no puedes hacer

- No deberías usar la restricción perpendicular para crear restricciones horizontales o verticales. Usa siempre la restricción más simple posible, lo cual en el caso de líneas la restricción horizontal (mira la sección 23 en la página 61) y para líneas verticales la restricción vertical (mira la sección 22 en la página 60).
- No puedes usar una restricción perpendicular de línea-a-línea en dos circunferencias o arcos. Sin embargo, usando una línea de construcción, y la restricción de tangencia puedes alcanzar este objetivo. Volveremos a esto al final de la sección acerca de la tangencia (mira la sección 28 en la página 69).

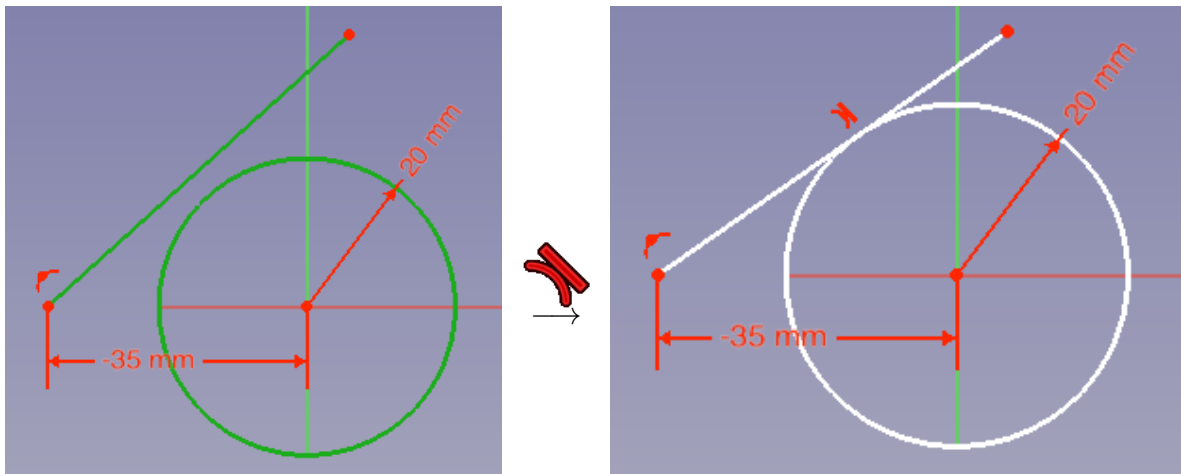
26. Tangencia

La tangencia viene en tres diferentes sabores que controlan distintos comportamientos en los extremos.

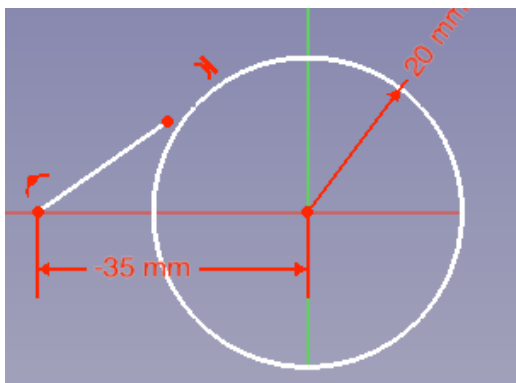
Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1 (curva/curva) 2 (punto/curva) 3 (punto/punto) 2 (línea/línea)

Curva a curva, incluyendo línea a curva. Toma una línea donde un extremo está fijo. Hay 2 DOF que se dejan para el otro extremo. Si la línea toca una circunferencia dada, se deja solamente 1 DOF, porque el punto se puede mover solamente en la dirección fija de la línea. Esto resulta en 1 DOF para este tipo de tangencia curva/curva.

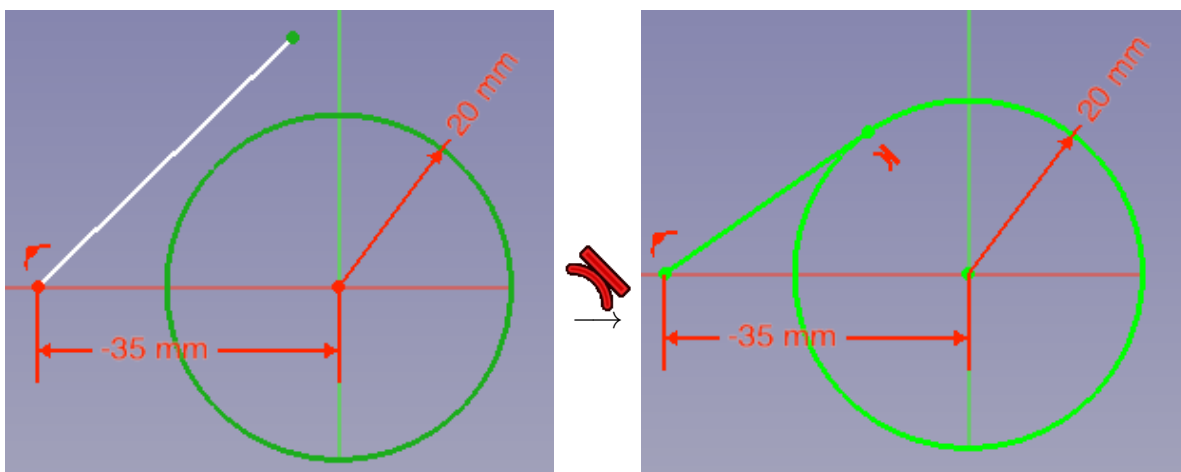
Por favor nota que el color verde en la imagen izquierda *no* está indicando que está completamente restringido, es la selección antes de aplicar la restricción de tangencia.



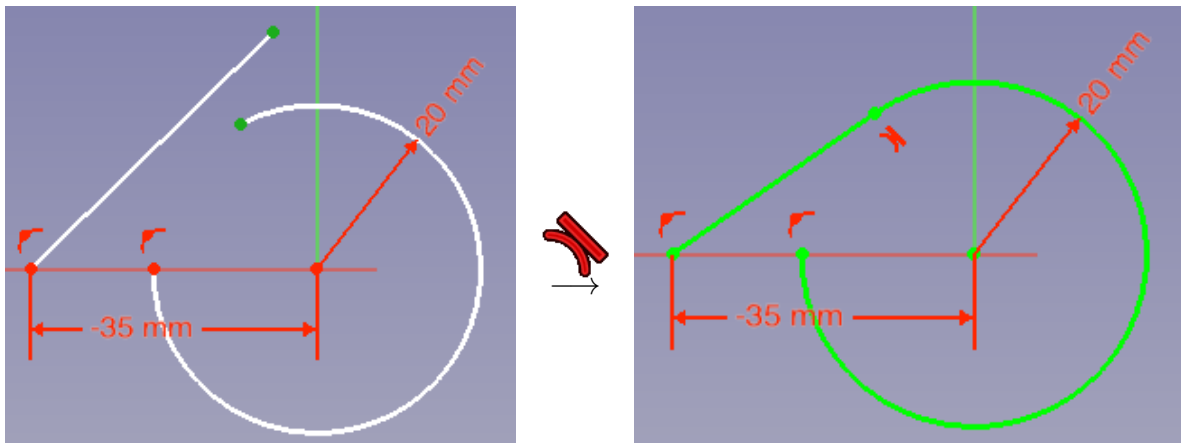
Similar a la restricción de punto-sobre-objeto cuando se aplica a la restricción de tangencia curva/curva, los elementos tangentes no se tienen que tocar:



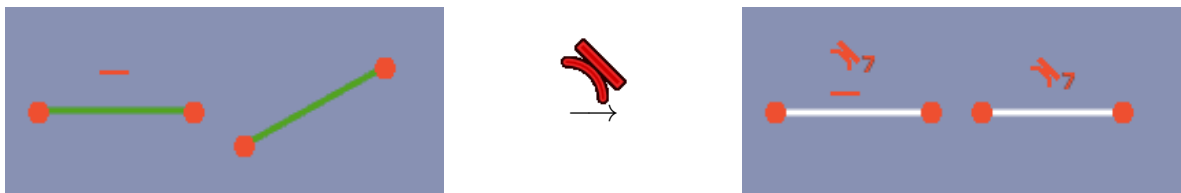
Punto a curva Si en la misma situación, el extremo de la línea tocara la circunferencia, entonces nada se puede mover. Esto significa que la restricción punto/curva consume 2 DOF.



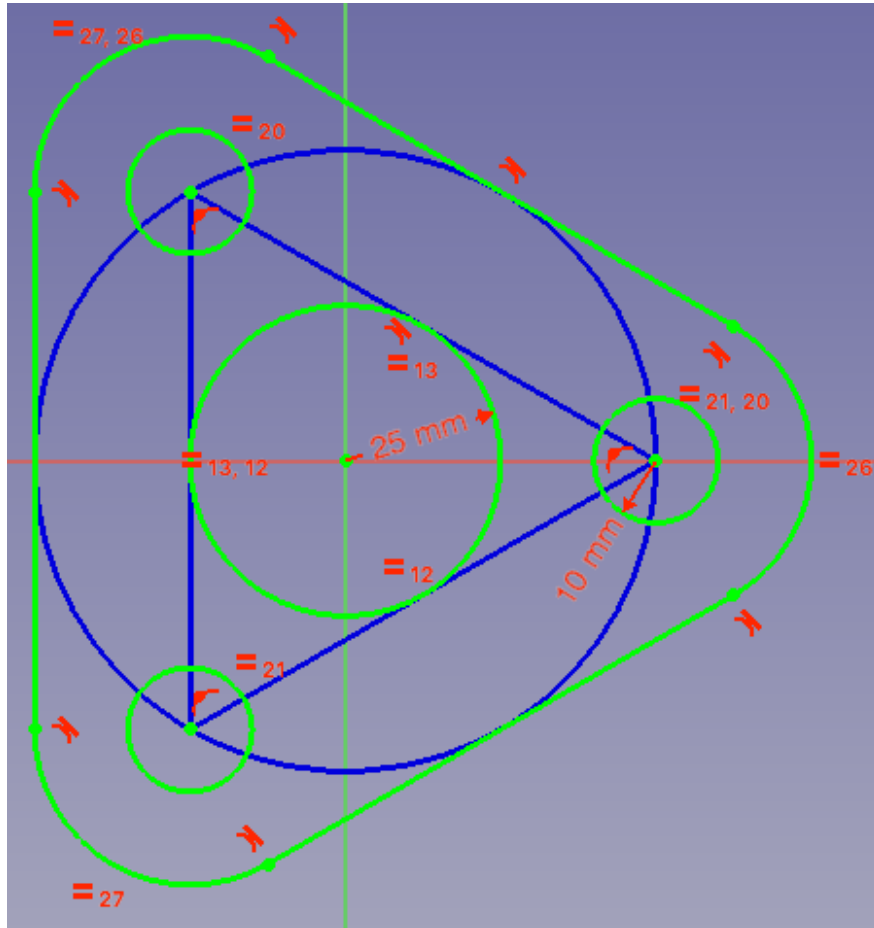
Punto a punto Si tienes un arco fijo y adhieres al extremo de una línea tangente a uno de los extremos del arco, fijas en punto libre de moverse (2 DOF) y la dirección (1 DOF). Esto significa que la tangencia punto/punto consume 3 DOF.



Línea a línea Asume que una de las líneas está fija y la otra sin ninguna restricción. Si se aplica la restricción de tangencia entre las líneas, se hacen colineales, *i. e.* Las dos descansan sobre la misma resta infinita. Esto fija ambos extremos para que descansen sobre esa línea, así que consumen 2 DOF.



Ejercicio 27 Crea un croquis para una brida de la siguiente forma. Usa la herramienta polilínea para la parte externa, usando la tecla M para alternar el modo de la polilínea. Los agujeros pequeños tiene el mismo diámetro (10 mm). Los arcos externos tienen los mismos centros que los agujeros pequeños.



Hay una tangencia curva/curva de la circunferencia interna y una de las líneas del triángulo, y la misma tangencia curva/curva entre la circunferencia de construcción azul y la línea recta superior.

Si cerraste la polilínea externa mientras la creabas, hay una restricción de coincidencia creadas en donde lo que quieres realmente es una tangencia punto a punto. Para lograr esto tenemos varias posibilidades:

- Seleccionas la coincidencia usando la selección por caja y las borras antes de aplicar la tangencia.
- Seleccionas la coincidencia en la lista de restricciones de los paneles y la borras antes de aplicar la tangencia.
- Si tienes habilitado el borrado automático de restricciones redundantes, la coincidencia se borrará automáticamente durante la creación de la tangencia punto a punto.

- Si el borrado automático de restricciones no está habilitado, puedes, no obstante, seleccionar los extremos usando la selección por caja y aplicar la tangencia. El solucionador nota la redundancia y emitirá el mensaje apropiado. Dándole un clic a la parte activa del mensaje, puedes seleccionar y borrar la coincidencia.
- Selecciona los bordes en lugar de los puntos y aplica la restricción de tangencia curva/curva. El solucionador detecta esto y reemplaza las restricciones apropiadamente.

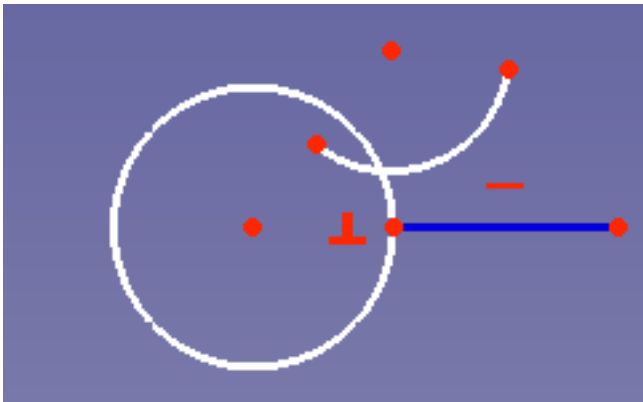
Ahora que sabes esto, por supuesto has evitado esta situación por completo al no conectar el último punto cuando estabas creando el borde externo. Por ahora puedes seleccionar la coincidencia de la lista o usando la selección por caja o simplemente dándole un clic en el enlace en el mensaje del solucionador y borrarlo.

Como prometí en la sección respecto a las restricciones perpendiculares, ahora podemos trabajar con el siguiente ejercicio:

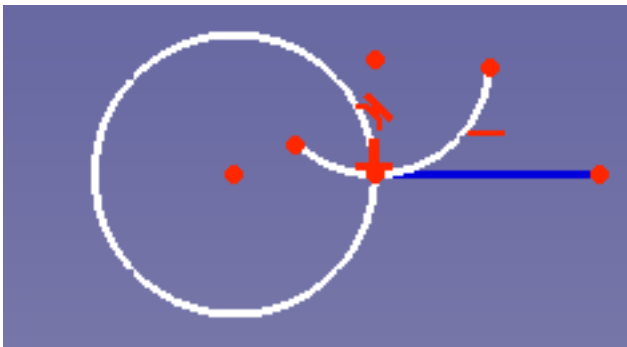
Ejercicio 28 *Construye dos arcos que tengan una intersección perpendicular.*

Para hacerlo:

- Crea los arcos.
- Crea una línea de construcción con una restricción punto/línea en uno de los arcos y un extremo de la línea:



- Crea una restricción de tangencia punto/línea en el otro arco y el mismo extremo de la línea:

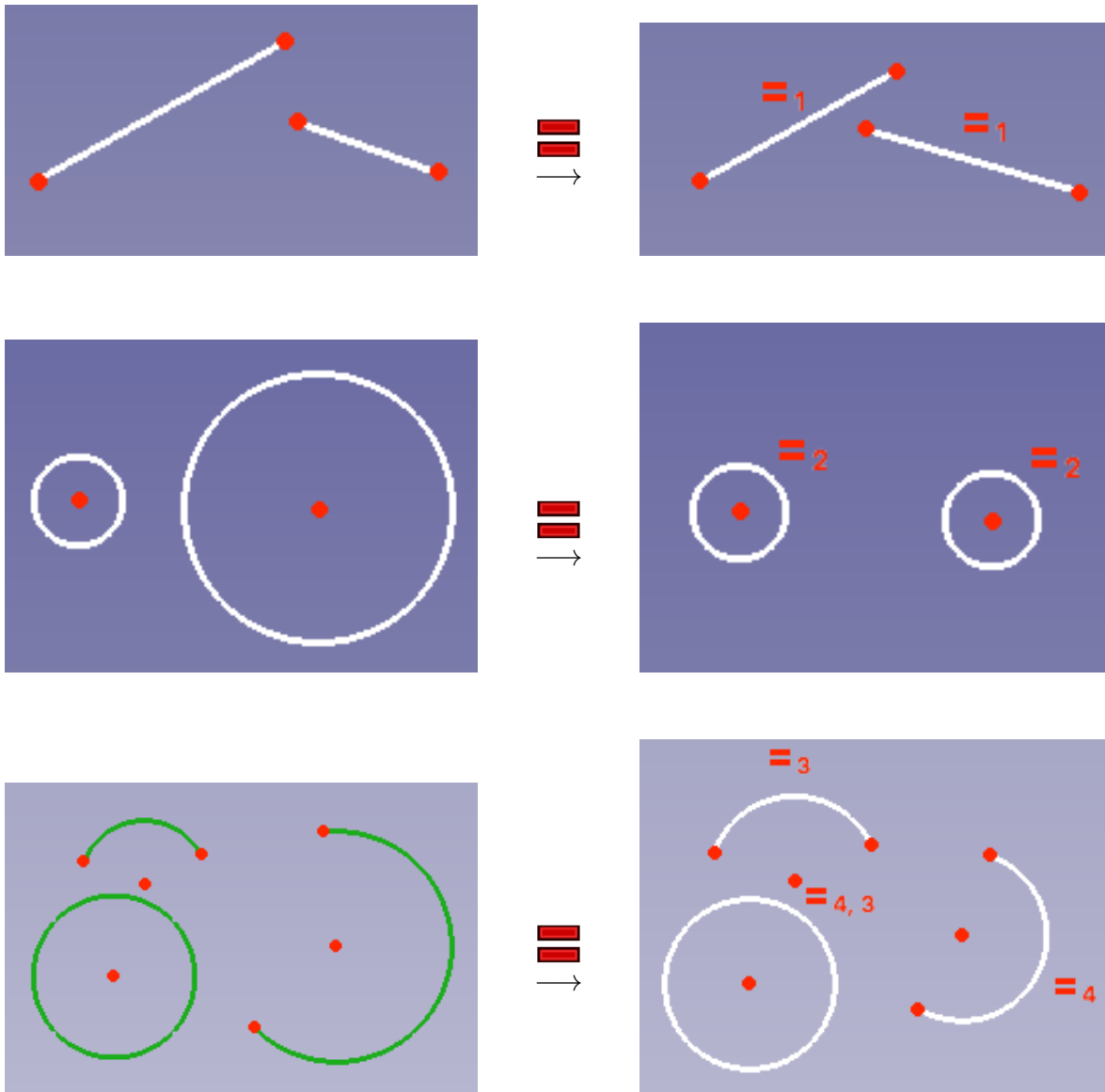


27. Igualdad


Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

Si tienes una línea con uno de sus extremos fijos, puedes mover el otro punto con sus 2 DOF libremente. Si fijas la longitud de la línea con una restricción de igualdad, reduces los DOF en 1. Así, la restricción de igualdad consume un 1 DOF.

Puedes aplicar la igualdad a dos líneas o a dos arcos o a un arco y una circunferencia. Mezclar línea y arco no es posible. Para arcos y circunferencias la restricción de igualdad hace que sus radios sean iguales (no la longitud de sus arcos).



28. Simetría

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	2

Hacer que un punto, con sus dos DOF, sea simétrico a un punto fijo eliminará ambos DOF. Así que la simetría consume 2 DOF.

Advertencia: De todas las otras restricciones, la simetría es—a partir de lo que hemos visto—la restricción que causa problemas más a menudo. Así que lee esta sección cuidadosamente para evitar cualquier problema. Algunos inconvenientes que no se hayan solucionado ocurren mayormente en relación con la la simetría y los arcos. La detección de DOF no siempre muestra los valores correctos.

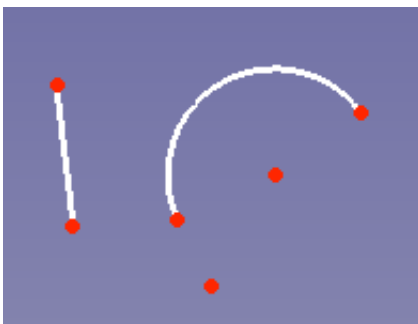
La simetría viene en dos sabores, la variante punto-punto-punto y la variante punto-línea-punto

La simetría punto-punto-punto. Esta variante de la simetría arregla tres puntos de manera que los tres descansan sobre una línea (virtual) y los puntos más lejanos guardan la misma distancia con el punto del medio.

para aplicar la simetría, seleccione primero los dos puntos externos y finalmente el punto del medio. ¡Es un buen consejo arreglar el croquis *antes* de aplicar la simetría de manera que todos los punos estén cerca de sus posiciones finales!

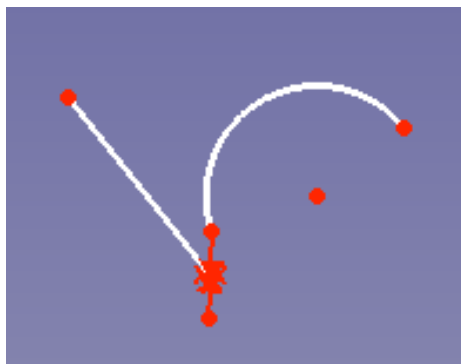
Los distintos objetos geométricos, línea, arco y punto, en el siguiente ejercicio son solo para propósitos de demostración, ¡distinguiendo cuáles puntos se afectan!

Ejercicio 29 *Crea un croquis de acuerdo a la siguiente imagen y aplica la simetría después de seleccionar los puntos extremo inferior de la línea y extremo inferior del arco y el punto aislado en diferentes órdenes. De manera que cada punto será el último una vez.*

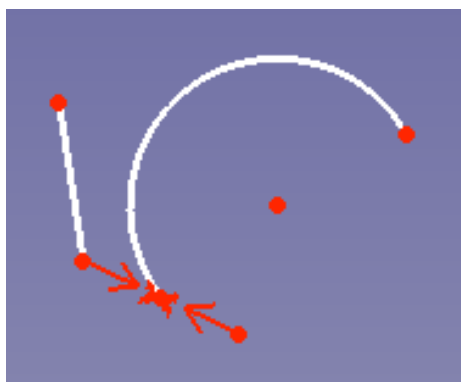


Aquí hay tres soluciones diferentes:

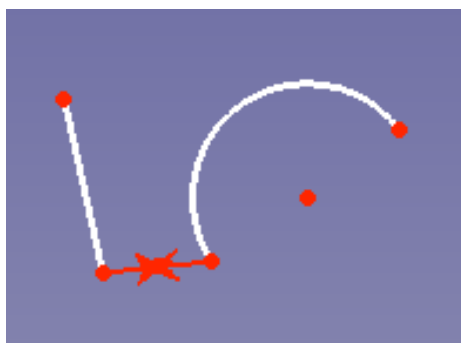
Extremo de la línea al final:



extremo del arco al final:

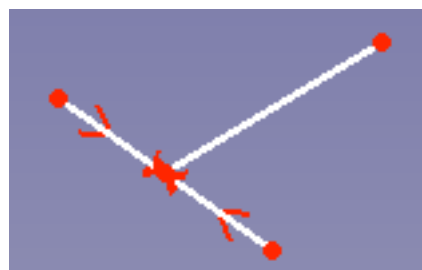
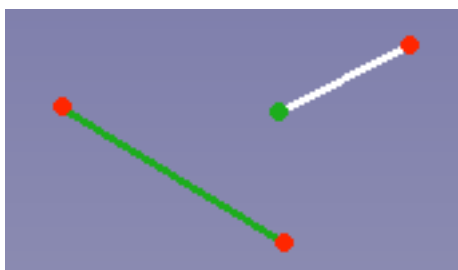


Punto aislado al final:



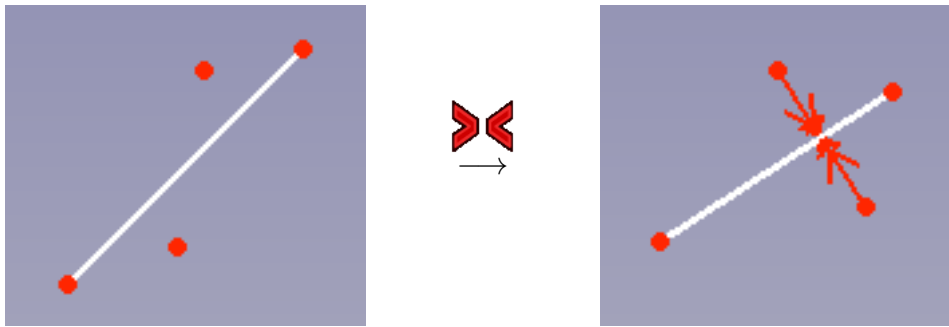
En el último caso el centro está difícil de ver porque el punto aislado desaparece debajo de la marca de simetría en el centro.

Caso especial de simetría punto-punto-punto: Si quieres fijar un punto al medio de una línea puedes simplemente seleccionar la línea y el punto y aplicar la restricción de simetría. El orden de selección no importa aquí:



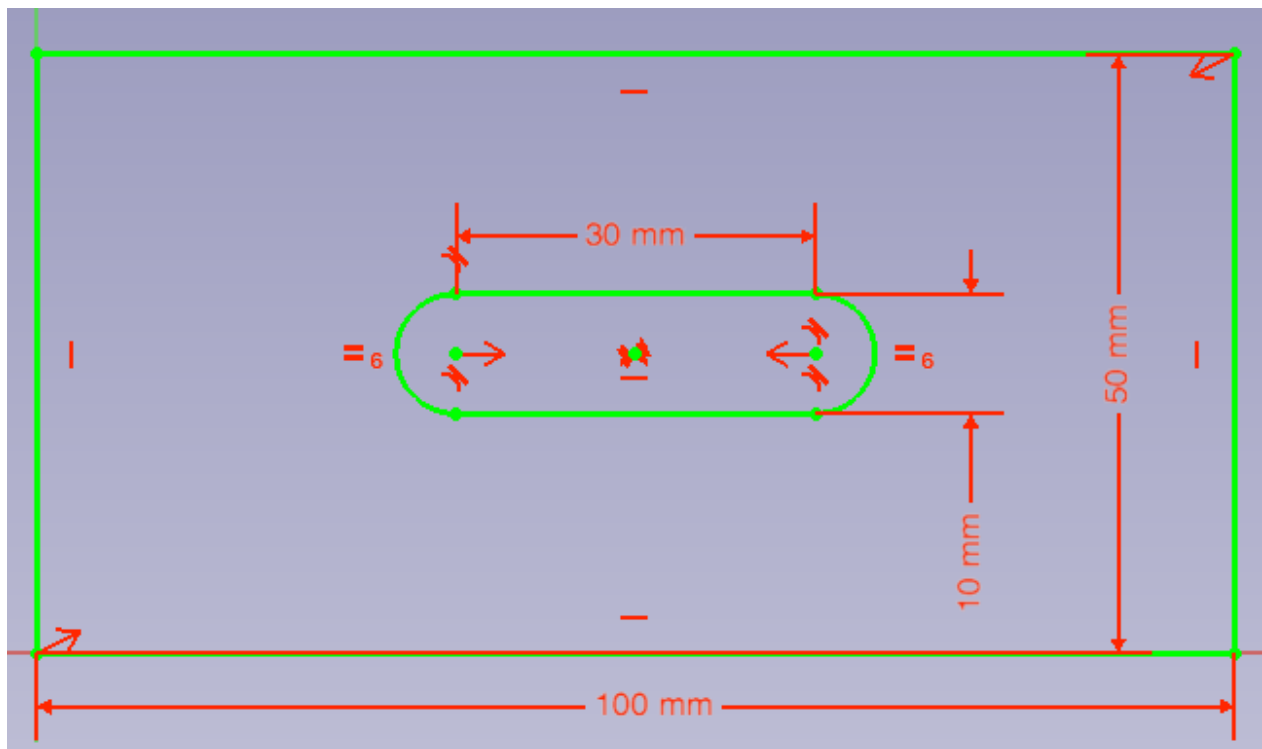
Simetría punto-línea-punto Esta variante de simetría arregla dos puntos de manera que son imágenes especulares entre ellos respecto a la línea. En este caso la la secuencia de

selección no importa:



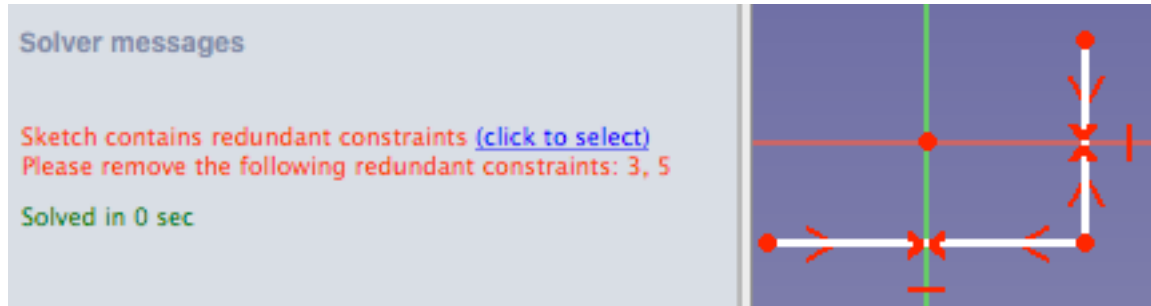
Ejercicio 30 *Recrea el croquis del ejercicio 13 en la página 36. Las ranuras tienen que estar centradas en el rectángulo de alrededor.*

Sugerencia: Usa un punto adicional (ve la sección 16 en la página 46) en el centro del rectángulo y la ranura.



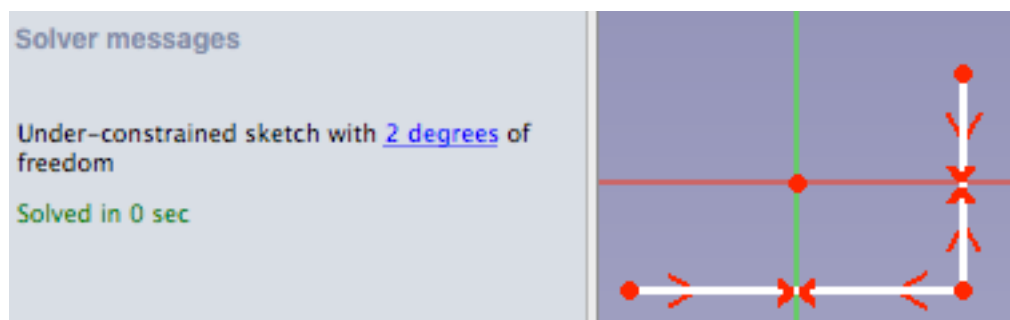
Advertencia: Si creas un rectángulo o usas restricciones automáticas, las cuales crean automáticamente restricciones horizontal o vertical, un uso común es aplicar después una restricción de simetría. En ese caso la restricción horizontal/vertical se implica por la simetría.

No:



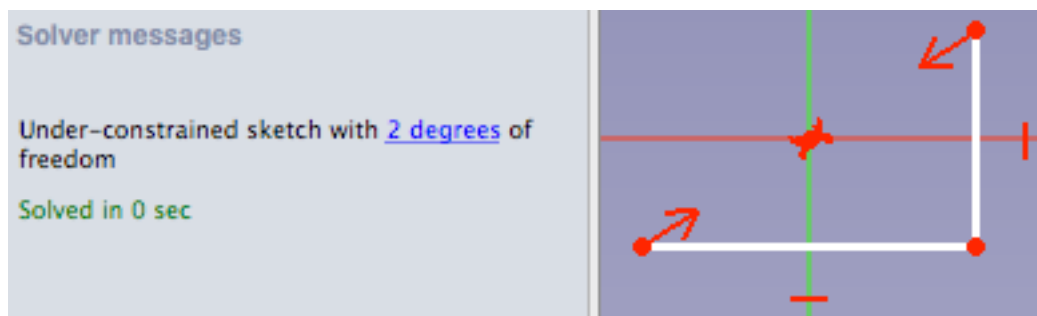
¿Ves las restricciones verticales a la derecha y las horizontales abajo? Bórralas:

Quizás:



Aún mejor: Usa una restricción horizontal, una vertical y aplica la restricción de simetría entre el extremo inferior izquierdo, el extremo superior derecho y el origen:

Sí:



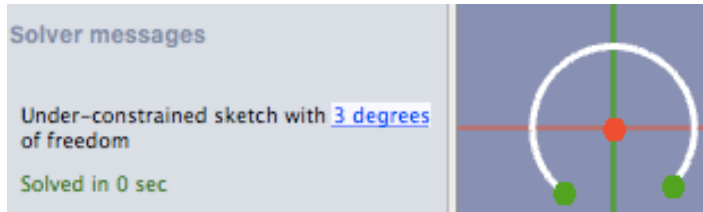
Los dos DOF restantes son las longitudes horizontales y verticales.

Cosas que no deberías hacer

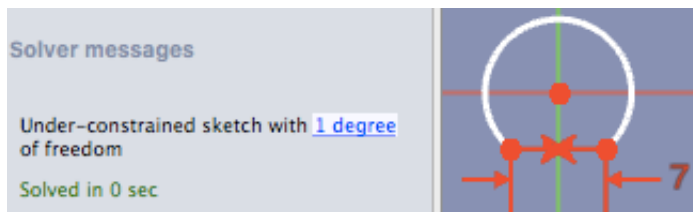
Hay casos donde la simetría se puede aplicar, pero consume sólo un DOF. Esto sucede a menudo en relación con arcos, en donde una restricción implícita entra en juego.

Hay dos posibilidades de lo que puede suceder - dependiendo de alguna condición desconocida todavía:

- El solucionador muestra un DOF después de aplicar la simetría.

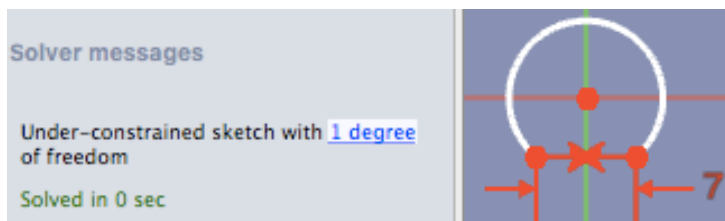


Esto es sorprendente, porque de hecho hay dos DOF: una para el radio del arco y una para la posición vertical o distancia entre los extremos. Si uno de esos se aplica, el número de DOF permanece en 1, lo cual es correcto. Aunque el número de restricciones consumidas no concuerda con la suma de DOF de las restricciones.



Si la restricción horizontal se borra otra vez, el número de DOF se muestra correctamente como 2.

- Después de aplicar la restricción de simetría el solucionador muestra 2 DOF,



lo cual otra vez parece ser sorprendente porque esto significa que la simetría consume sólo un DOF.

En ambos casos el solucionador es astuto y silenciosamente elimina parte de una restricción. No muestra advertencias de redundancia porque ninguna de las restricciones se podría eliminar sin perder DOF.

En muchos casos esto funciona bien, pero he visto bastantes casos en donde esto causó problemas. Así que recomendaría encarecidamente, evitar tales restricciones. En el ejemplo dado aquí, sería mejor no usar la simetría en absoluto, sino *e. g.* en su lugar, una restricción horizontal. Lo que reduce en 1 el número de DOF como se espera;



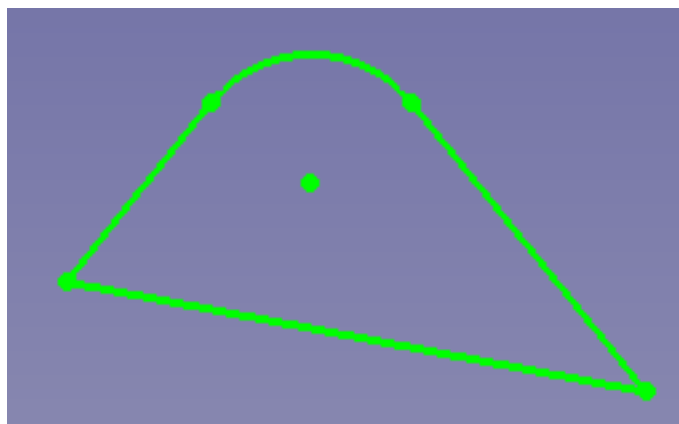
29. Bloque

Ícon:	
Número de DOF consumidos:	1 - arbitrario

La restricción por bloque consume todos los DOF que quedan de una línea o de un arco que pueden ser 1 *e. g.* para un línea parcialmente restringida, hasta 5 para un arco sin ninguna restricción. Para un interpolación segmentaria este número puede ser arbitrariamente grande. La restricción por bloque fija ambos extremos de una línea, el centro y el radios de una circunferencia, el centro y ambos extremos de un arco en sus posiciones actuales / dimensión.

Lo aplicas a líneas, circunferencias y a arcos. No a puntos. Esto significa que no puedes seleccionar el croquis en su totalidad y fijar todo. Tienes que seleccionar las líneas y las curvas.

Ejercicio 31 *Crea un croquis nuevo y entra al croquizador. Después de eso, crea el siguiente croquis desde el principio con no más de 9 clics desde cero hasta estar completamente restringido. En la imagen las restricciones están ocultas.*



Solución:

clics	acción
1	Selecciona la herramienta polilínea.
5	Crea la forma cerrada, usa la tecla M para cambiar el modo de continuación.
1	Selecciona la restricción por bloque.
2	Selecciona dos elementos opuestos.

Advertencia: La restricción por bloque parece intrigante si quieres restringir completamente un croquis, pero en la mayoría de los casos no se aconseja usarla para tareas comunes de ingeniería. No deberías usarla simplemente por ser flojo. Aquí están algunos casos de uso en donde es sensato usar la restricción por bloque:

- Has trazado una imagen con docenas, sino miles de puntos y los quieres fijar.
- Tienes un interpolación segmentaria complicado con muchos puntos de control que no están relacionados.
- Quieres mover algunos puntos de tu croquis y otras cosas no se deberían mover todavía. Entonces aplicas algunas restricciones por bloque, mueves los elementos *y borras las restricciones por bloque otra vez*.

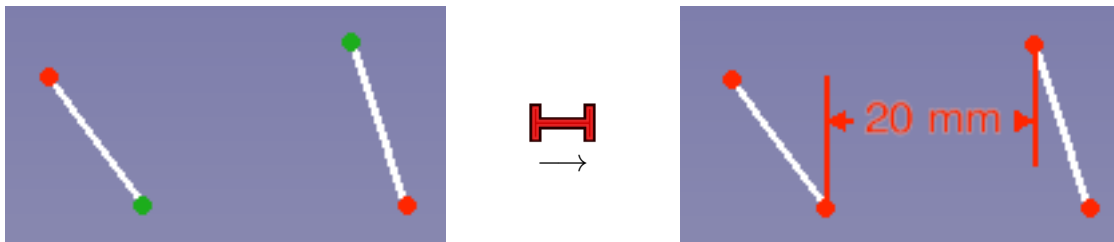
30. Distancia horizontal

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

La distancia horizontal fija un punto en una dirección, consumiendo así 1 DOF.

La restricción de distancia horizontal puede fijar la distancia horizontal entre dos puntos o puede fijar la coordenada X.

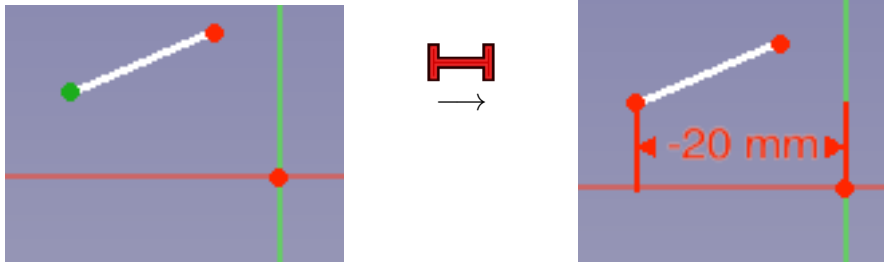
- Aplicadas a dos puntos, fija la distancia horizontal entre ellos, independientemente de sus posiciones en el plano:




Es posible pero en este caso difícilmente sensato establecerle un valor negativo.

- Aplicada a una línea es igual que aplicarla a sus extremos.


- Aplicada a un punto individualmente, establece su coordenada X hasta el origen. Si el valor es negativo, el punto está a la izquierda del origen.



Evita distancias horizontales de longitud cero

Es posible alinear las cosas verticalmente mediante la aplicación de una distancia horizontal igual a cero. Aunque el solucionador no emita ningún mensaje advirtiéndote, deberías evitar esta situación. Usa en su lugar una restricción vertical . Por un lado se recomienda preferir restricciones geométricas y por otro lado, mantiene to croquis mas claro sin la medida.

31. Distancia vertical

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

La distancia vertical fija un punto en una dirección, consumiendo así 1 DOF.

Aplicada a un punto individual fija su distancia vertical al origen.

Aplicada a dos puntos fija la distancia vertical entre ellos.

Todo lo que se ha dicho respecto a la distancia horizontal, se mantiene para la distancia vertical también. claro, si intercambias “horizontal” y “vertical”.

32. Bloqueo

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	2 per point

La restricción por bloqueo crea una restricción de distancia horizontal y otra vertical por cada punto involucrado, lo cual suma hasta 2 DOF por punto.

Es un atajo a crear restricciones horizontal y vertical sin la interacción con el usuario. Al igual que las restricción por bloque, puede resultar intrigante usar esto para llegar más rápido a un croquis completamente restringido. Pero deberías evitar esto y aplicar tantas restricciones geométricas como sea posible antes de hacerlo. Puede resultar sensato usar la restricción de

bloqueo si has creado un croquis con el ajuste a la rejilla habilitado (mira la sección 2 en la página 10) y quieres fijar los puntos exactamente en esas posiciones.

La restricción por bloqueo se aplica a una selección de puntos. Dependiendo del número de puntos seleccionados, el comportamiento es ligeramente diferente.

Un punto seleccionado La restricción por bloqueo crea una restricción de distancia horizontal y otra vertical hasta el origen.

Dos puntos seleccionados Se crea una restricción de distancia horizontal y otra vertical entre los dos puntos. (De hecho esto es una variante especial del caso siguiente.)

Tres o más puntos seleccionados Se crea una restricción de distancia horizontal entre cada uno de estos puntos y el último punto que se creó.

Este comportamiento es como si hubieras creado todas estas restricciones de bloqueo separadamente, lo cual se puede notar si usas la función deshacer.

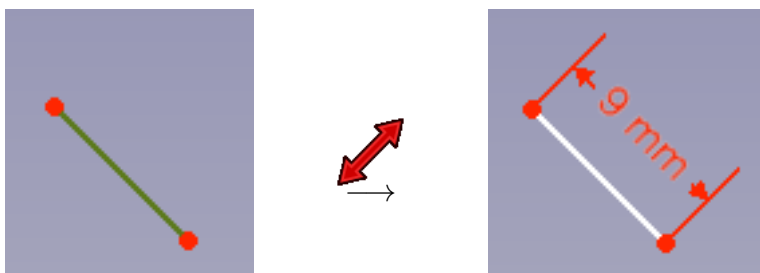
33. Longitud

Ícono:	
Número de DOF consumidos:	1

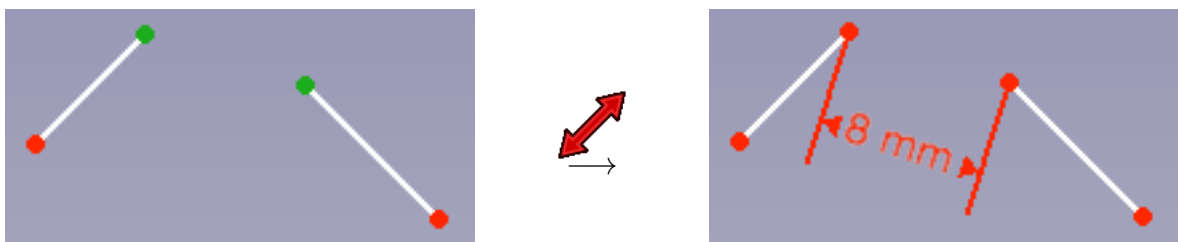
Considera una línea con un punto fijo, ésta tiene dos DOF restantes. Aplicando una restricción de longitud, se reducen a 1 DOF. (lo cual se puede consumir mediante una restricción de distancia horizontal o vertical) Así, la restricción de distancia consume 1 DOF.

La restricción de longitud viene en tres diferentes variantes, siendo dos de ellas muy similares.

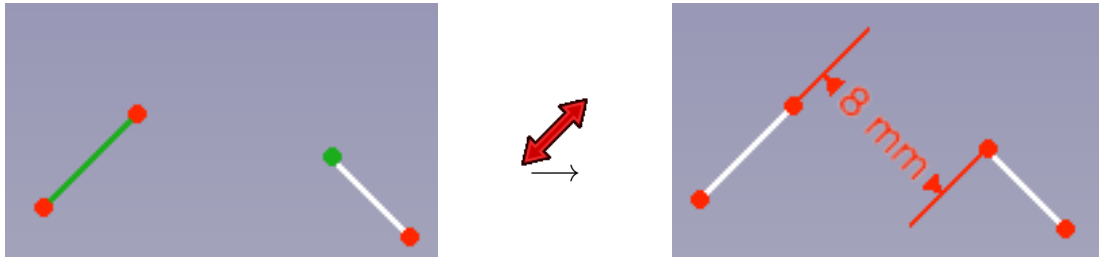
Longitud de línea. Puede fijar la longitud de una línea, como hemos visto en la sección 6 en la página 21.



Distancia entre puntos. Selecciona dos puntos arbitrarios y fija la distancia entre ellos:



Distancia de punto a línea. Si seleccionas una línea y un punto, esta restricción fija la distancia ortogonal entre la línea y el punto, *i. e.* la distancia entre el punto y su proyección sobre la línea. Así, ésta fija la mínima distancia entre la línea y el punto. Como hemos visto antes, el punto de proyección puede descansar en la infinita prolongación de la recta.



Advertencia: Como lo mencioné en la sección 6 en la página 21 respecto a las líneas, no deberías usar esta restricción para líneas horizontales o verticales—a menos que pretendas cambiar el ángulo del elemento en el croquizador después (para un ejemplo de esto considera girar una ranura como en la sección 12 en la página 38).

En su lugar, usa las restricciones especializadas de distancia horizontal o vertical. De esta manera al solucionador se le hará más fácil la tarea de encontrar una solución. Mira la sección 36 en la página 83 para más detalles.

34. Radio y diámetro

Íconos:	 
Número de DOF consumidos:	1

La restricción de radio o de diámetro fija uno de los grados de libertad de una circunferencia. (Faltan otros dos para la posición del centro.)

Su aplicación es directa: Selecciona una circunferencia en el croquis y aplica la restricción de radio y allí puedes suministrar el valor. Si quieres usar diámetros en lugar de radios en tu croquis, abre el ícono de menú desplegable y selecciona el diámetro. Esto permanecerá en ese modo hasta que lo cambies nuevamente o reinicies FreeCAD.

35. Ángulo

Ícon:	
Número de DOF consumidos:	1

A igual que las restricciones horizontales o verticales, el ángulo fija la orientación de una línea en el plano y consume 1 DOF.

Después de crear un segmento de recta, usualmente es irrelevante cuál de los dos puntos se creó primero. Sin embargo, aquí si hay una diferencia porque al aplicar la restricción de ángulo a dos líneas que parecen idénticas, dependiendo de cuál extremo se creó primero en un segmento de recta particular, pudieran resultar dos ángulos diferentes. Cuando se aplica una restricción de ángulo, se tratan como si fueran rayos.

Hay dos modos diferentes para esta restricción:

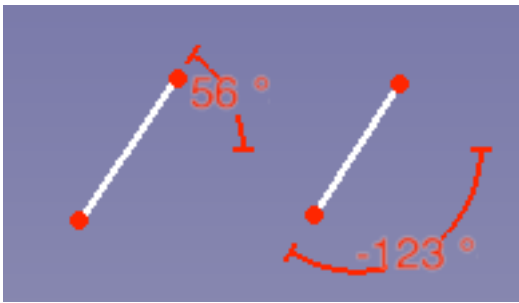
Modo de línea única. Selecciona la línea y aplica la restricción de ángulo. Esto fija el ángulo entre la línea y el eje X.

Mientras que usualmente es irrelevante de qué manera creas una línea, aquí si lo es: Para dos líneas que parecieran idénticas puedes obtener ángulos diferentes.

Ejercicio 32 *Crea dos líneas aproximadamente paralelas. Una desde el extremo inferior izquierdo hasta el superior derecho y la otra en sentido contrario.*

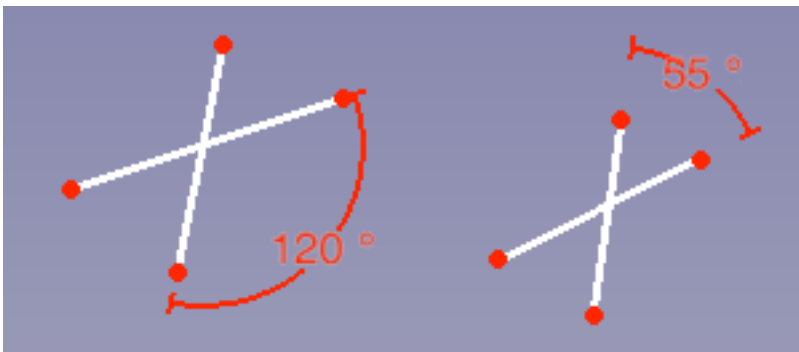
Selecciona la primera línea y aplica una restricción de ángulo.

Selecciona la segunda línea y aplica una restricción de ángulo.



Modo línea-línea La variante más usada consiste en seleccionar dos líneas y definir la restricción de ángulo entre ellas.

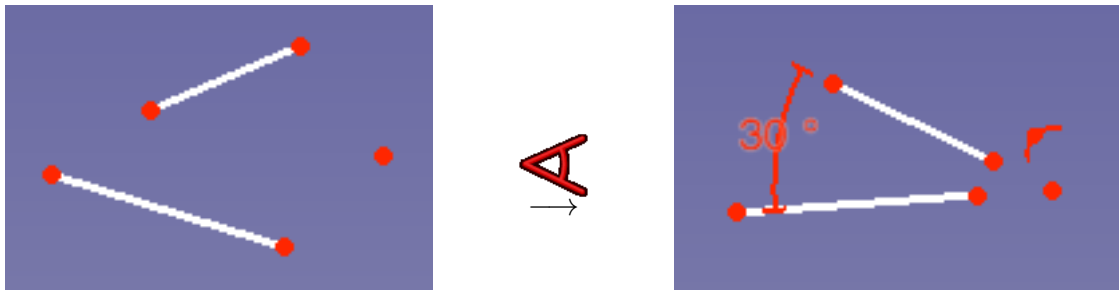
Otra vez, esto depende de la orientación del ángulo dónde se aplica realmente:



Modo línea-punto-línea. Si seleccionas dos líneas y un punto adicional, antes de aplicar una restricción de ángulo, este punto se convertirá en el vértice del ángulo y las líneas son los rayos. para alcanzar esto, se generan una o dos restricciones de punto-sobre-objeto además del ángulo entre las líneas. Esto asegura que el vértice descansa de hecho en las dos líneas.

Ejercicio 33 Crea un croquis con dos líneas y un punto de acuerdo a la siguiente imagen.

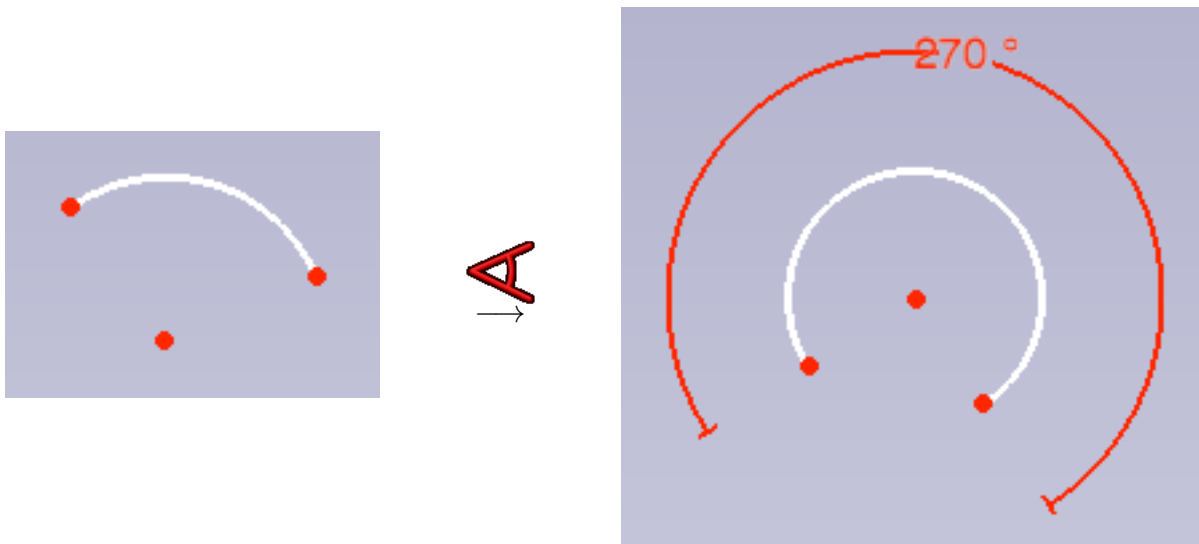
Selecciona ambas líneas y el punto y aplica una restricción de ángulo con un ángulo de 30°



Advertencia: Aplicar esta restricción, consume 3 DOF, una por el ángulo y dos por las restricciones de punto-sobre-objeto. Si sucede que uno de los puntos está en el extremo de una de la líneas, sólo se consumen 2 DOF.

Modo de arco simple. Si seleccionas un arco y aplicas una restricción de ángulo, se fija el ángulo entre un extremo del arco, el centro y el otro extremo. Para un radio dado, esto fija la longitud de arco. El siguiente ejercicio crea 3/4 de una circunferencia.

Ejercicio 34 Crea un arco, selecciónalo y aplica un ángulo de 270° .



Observación sobre la longitud de arco: Esta clase de restricción se puede usar para calcular la longitud de arco en una expresión: Dado el radio r y el ángulo α , la longitud del arco l está dada por

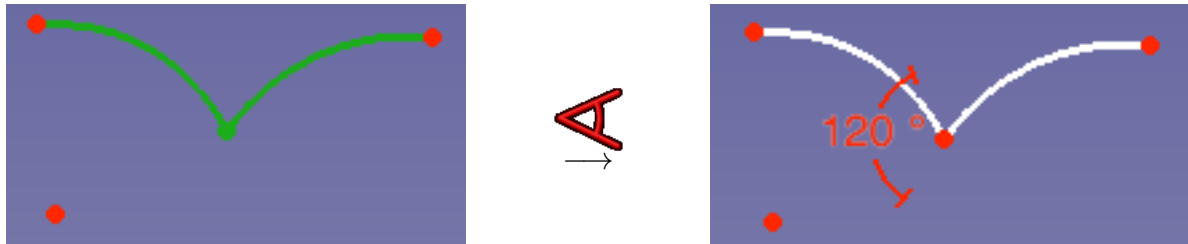
$$l = 2 * \pi * r * \frac{\alpha}{360^\circ}$$

o viceversa, si se conoce l , puedes establecer en ángulo para obtener la misma longitud para el arco mediante

$$\alpha = \frac{l * 360^\circ}{2\pi r}$$

Modo arco-arco Similar al modo línea-punto-línea, puedes combinar dos arcos y un punto o un arco, una línea y un punto. Esto significa que el modo línea-punto-línea se puede ver como un forma especial de este modo más general.

Ejercicio 35 Crea un croquis con dos arcos que estén conectados con una restricción de coincidencia. Digamos que los arcos se cruzan en un ángulo de 60° . En la imagen siguiente el vértice del ángulo está en el extremo de uno de los arcos.



Advertencia: Aplicar esta restricción consume 1, 2, o 3 DOF, porque se puede crear una restricción adicional. Consume 1 DOF por el ángulo, si los arcos ya están conectados mediante una restricción de coincidencia. No se crean restricciones adicionales.

Consume 2 DOF mediante la creación de una restricción adicional de punto-sobre-objeto, si no están conectados pero el punto seleccionado es uno de los extremos del arco.

Consume 3 DOF mediante la creación de dos restricciones de punto-sobre-objeto si el punto seleccionado no es ninguno de los extremos de los arcos.

Lo que debes hacer y lo no debes hacer con ángulos

- No uses ángulos con múltiplos de 90° usa en su lugar restricciones de geometría.
 - Para un ángulo de 90° o de 270° usa la restricción perpendicular
 - Para un ángulo de 180° usa la restricción de tangencia.
- Si embargo, si tienes un croquis que se voltea como se muestra en la sección 19.2 en la página 51, puedes mejorar su robustez, debido al hecho de que la restricción de ángulo respeta la dirección de las líneas como si fueran rayos.

36. Más de lo que debes hacer y no debes hacer con las restricciones

Ahora que sabes acerca de las diferentes restricciones, no sólo debes enfocarte a hacer croquis restringidos completamente, debes crear buenos croquis completamente restringidos. Ya se

dieron algunos consejos para algunas de las restricciones. Aquí hay algunas otras recomendaciones adicionales.

Las recomendaciones siguientes se basan en recomendaciones hechas por el desarrollador quien codificó primero el banco de trabajo Croquizador (FreeCAD forum user logari81) y otros usuarios poderosos.

Hay varias cosas a considerar. Está lo que me gustaría llamar la vista externa o del usuario: ¿Es el croquis fácil de entender o fácil de mantener? Para alcanzar esto, se recomienda preferir restricciones geométricas sobre medidas con valores numéricos. Esto último, abarrota la vista y hace el croquis menos flexible. Esto se aplica especialmente a dimensiones de longitud cero, éstas siempre se deberían reemplazar por restricciones geométricas.

El otro lado a considerar es la visión interna: Cuáles restricciones son amigables al solucionador, *i. e.* cuales conducen a soluciones confiables. El solucionador no resuelve su sistema de ecuaciones internas algebraicamente, sino numéricamente. Esto significa que un croquis está completamente restringido si las desviaciones son muy muy pequeñas. No obstante, hay errores de redondeo debido ala precisión finita y en raros casos estas conducen a dificultades en pasos del modelado posteriores.

Restricciones preferidas

- Coincidencias
- Restricciones horizontales y verticales.
- Tangencia de punto a punto.
- Punto sobre línea.
- Longitud horizontal y vertical.

Restricciones para uso subordinado

No hay una forma errónea de usar estas restricciones. Pero no las deberías usar si puedes usar en su lugar una de las restricciones preferidas

- Longitud
- Tangencia borde/borde
- Simetría

¡No hagas tu croquis demasiado complicado!

En lugar de colocar todo lo posible en un croquis, deberías considerar dividirlo en varios croquis. Como un ejemplo, toma un croquis con algunos huecos y cortes y un contorno complicado que quisieras extruir. En lugar de modelar todo en un croquis, puedes modelar el contorno en un primer croquis, extruirlo, modelar los cortes en otro croquis y hacer un bolsillo.

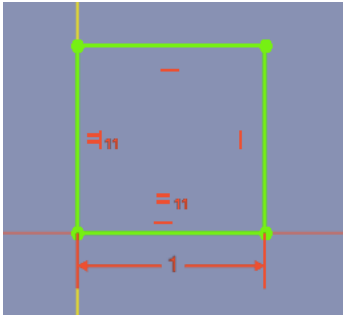
Como regla general, se recomienda (¡gracias a Normand!) no usar más de 100 restricciones en un croquis para mantener el tiempo del solucionador a un nivel razonable.

37. Dimensiones conducidas

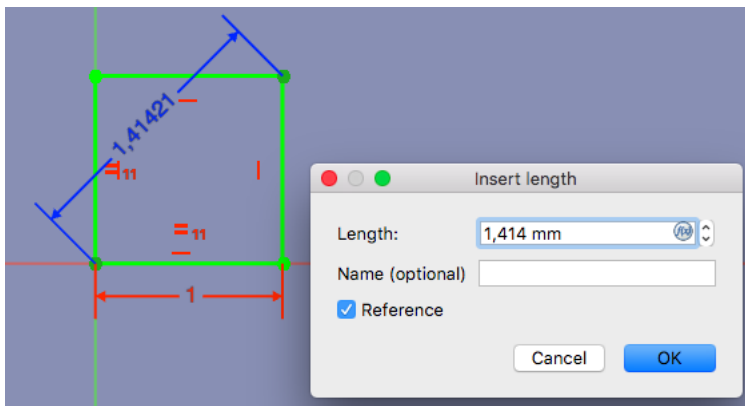
Algunas veces es interesante ver el valor de determinada distancia o un ángulo sin haberlo *establecido*. Puedes usar dimensiones conducidas para este propósito. Esto puede resultar más que simplemente interesante, si quieres usar tales valores fuera del croquis.

Ejercicio 36 Ahora mostraremos como obtener la raíz cuadrada de 2, que se sabe es la longitud de la diagonal de un cuadrado de longitud de lado igual a 1.

- Dibuja el cuadrado con una longitud de lado igual a 1.





- Selecciona los puntos de una diagonal y empieza, si quieres, a crear una restricción de longitud. El croquis ya estaba completamente restringido, así que el solucionador muestra un mensaje de error. Pero si habilitas “Referencia”, el error desaparecerá y la dimensión se mostrará en azul en lugar de rojo.



Confirma y verás permanentemente la longitud de la diagonal aunque cambies la la longitud de los lados.

Hay tres maneras de crear una dimensión conducida:

- Puedes hacerla en la forma descrita en el ejercicio anterior.
- Puedes seleccionar una dimensión existente y darle un clic al ícono . Esto también se puede usar si quieres cambiar de restricción conducida a una restricción real (“conducida”)

- Sin seleccionar nada, dale un clic al mismo ícono . Los íconos de restricciones

dimensionales se volverán azul

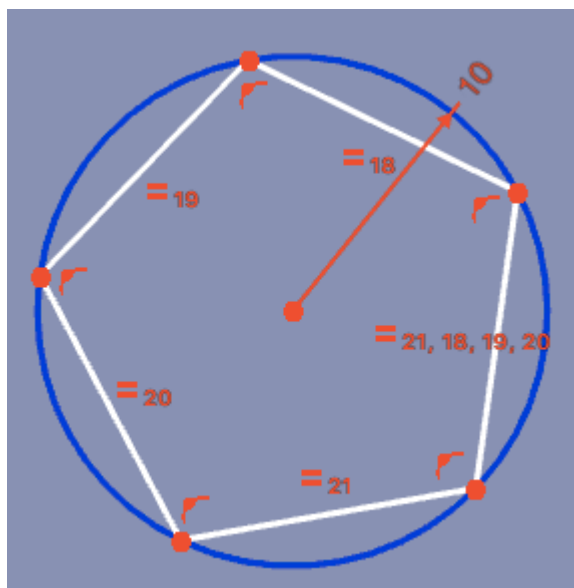


y to-

das las dimensiones creadas en este modo serán restricciones conducidas.


Es bien sabido que el ángulo entre las líneas adyacentes en un cuadrado es de 90° - Pero ¿qué hay respecto a un pentágono?

Ejercicio 37 Crea un pentágono regular con un radio externo de 10. Encuentra el ángulo entre dos lados adyacentes y encuentra el radio de la circunferencia inscrita.



Solución: El ángulo es de 108° y el radio de la circunferencia inscrita es aproximadamente 8.090.

38. Geometría externa

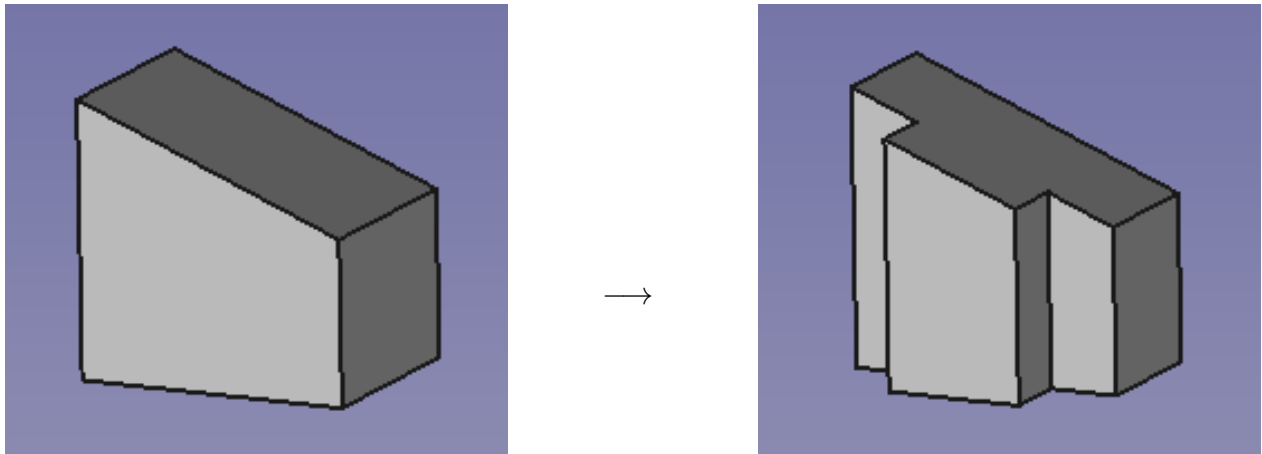
Ícono:	
Número grados de libertad agregados:	0

Una geometría externa reutiliza la geometría definida en cualquier otra parte, así que no añade ningún DOF al croquis.

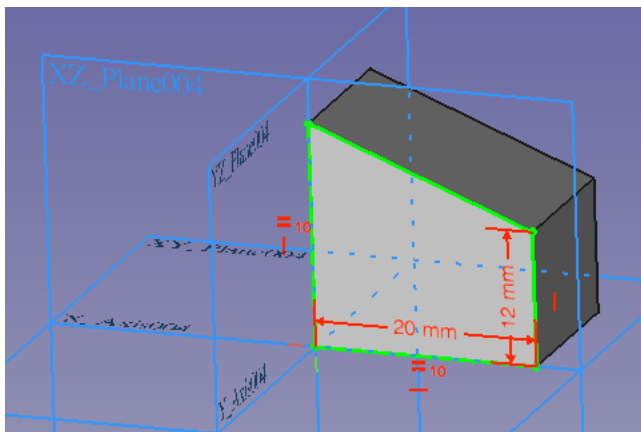
Por otra parte, una geometría externa puede referenciar otros elementos de otros objetos, tales como bordes o vértices. No recomiendo a los recién llegados usar esta clase de geometría externa, porque los modelos resultantes son frágiles en relación a problemas de denominación topológica.

Por otra parte, una geometría externa reutiliza elementos de croquis definidos con anterioridad. Esto es lo que haremos ahora.

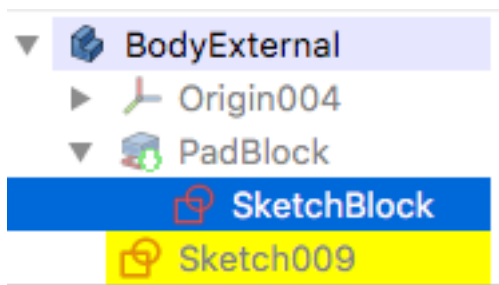
Ejercicio 38 Dado un bloque de la forma mostrada, queremos cortar una tira a los extremos de cada lado.




- Preparaciones: Crea un bloque como se muestra en la figura de la izquierda. Ubícala de tal manera que la cara del frente descansa sobre uno de los planos principales. Yo ubiqué el croquis del mío en el plano XZ y marqué la casilla “Invertido” de la extrusión.

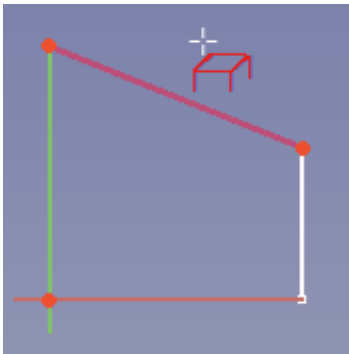


- Crea un croquis nuevo en el mismo plano que el del frente del bloque.
- No cierres todavía el croquis vacío. En la vista de combo, cambia de la pestaña Tarea a la pestaña Modelo, para ver el árbol de la historia.
- Haz invisible la extrusión y visible el croquis, el árbol debería verse así:



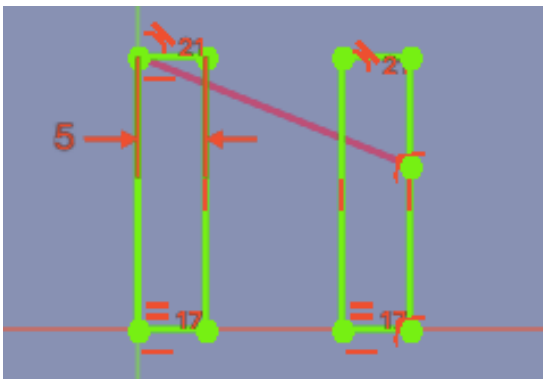
El croquis llamado “SketchBlock” en la imagen anterior se usa para crear la extrusión llamada “PadBlock”. El croquis que estamos editando todavía se llama Sketch009. En tu modelo, probablemente se llame Sketch001.

- Vuelve de la pestaña Modelo a la pestaña Tareas, que ahora muestra el bien conocido panel del croquizador otra vez.
- En la vista 3D puedes ver el croquis SketchBlock. Las líneas están ligeramente más delgadas que las del croquis actual. No puedes cambiar la geometría de SketchBlock.
- Selecciona la herramienta de geometría externa .
- Selecciona la línea superior. Cambiará a magenta.



Ahora pudieras seleccionar directamente otros elementos, los cuales no son necesarios aquí. En lugar de seleccionar la línea, pudiste haber seleccionado solo los extremos.

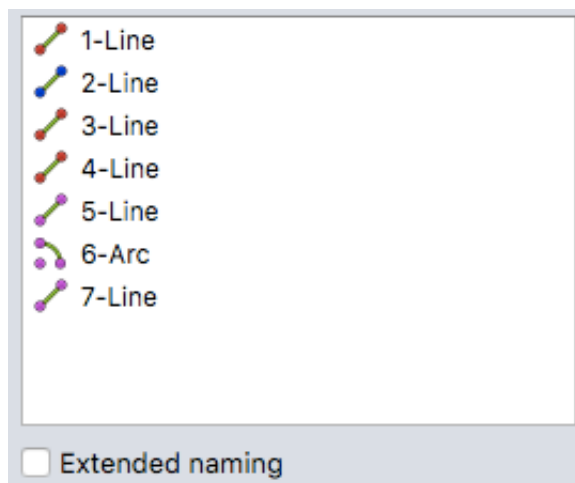
- Modela las tiras. Por favor nota que las tiras cubren más de lo que pueden quitar.



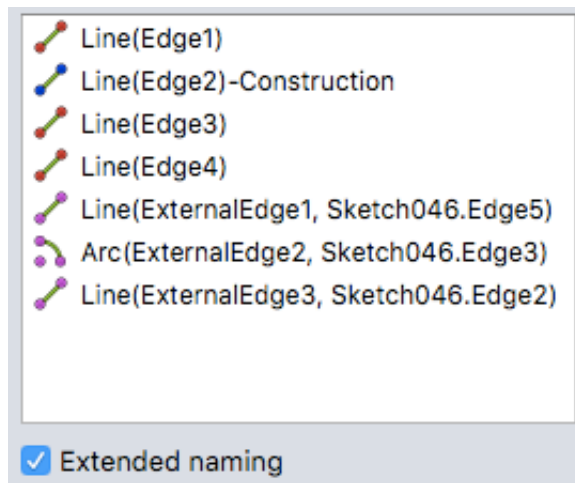
- Ambas tiras tienen el mismo ancho de 5 mm.
 - El lado derecho de la tira derecha está fijo con una restricción de punto-sobre-objeto usando el extremo de la geometría externa.
 - La línea de abajo de la tira derecha se fija al eje X mediante una restricción de punto sobre objeto.
 - La línea superior izquierda es horizontal.
 - Ambas líneas superiores se alínean con una restricción de tangencia.
- Cierra el croquizador y aplica un bolsillo con una profundidad de 5 mm.

Identificación de una geometría externa

La lista de elementos descrita en la sección 3 en las páginas 12-14 contiene a todos los elementos geométricos, incluyendo la geometría externa. Estos elementos de geometría externa siempre son los últimos de la lista. Los puntos en los extremos de los íconos de la lista tienen un color magenta – el mismo color usado para los elementos externos en la vista 3D. En la imagen, ves que los últimos tres elementos son referencias a una geometría externa: una línea, un arco y otra línea.



Bajo la lista puedes marcar la casilla “Extended Naming”, que muestra los elementos externos y a dónde fueron enlazados.



Parte IV

Creando objetos basados en croquis

Para escribir

39. Croquis para extrusiones y bolsillos

















40. ¡Usa la simetría!

41. *Placement and AttachmentOffset*


















42. Valida los croquis

Resumen de los DOF

Elementos

Elemento	Ícono	DOF agregados
Línea		4
Circunferencia		3
Arco		5
Pollínea		-
Rectángulo		4
Triángulo		4
Cuadrado		4
Pentágono		4
Hexágono		4
Heptágono		4
Octágono		4
Polígono regular		4
Ranura		4
Punto		2
Interpolación segmentaria abierta		$3*N$
Interpolación segmentaria cerrada		$3*N$

Restricciones

Restricción	Ícono	DOF consumidos
Coincidencia		2
PuntoSobreObjeto		1
Vertical		1
Horizontal		1
Paralela		1
Perpendicular línea/línea		1
Perpendicular punto/línea		2
Perpendicular punto/punto		3
Tangente (curva/curva)		1
Tangente (punto/curva,línea/línea)		2
Tangente (puntu/punto)		3
Igualdad		1
Simetría		2
Bloque		1-arbitrario
Bloqueo		2 por punto
Distancia horizontal		1
Distance vertical		1
Longitud		1
Radio		1
Diámetro		1
Ángulo		1