



Thermal Simulation: Cooling Plate + IGBTs

TABLE OF CONTENT

Summary	3
Objectives.....	3
Development.....	3
Contactos = Conducción.....	3
Convection.....	4
<i>Convection 2 (3^a Simulation)</i>	5
Temperature 1.....	6
Temperature 2.....	7
Temperature 3.....	7
Results	8
1 ^a Simulation	8
Temperature	8
Total Heat Flux.....	9
Directional Heat Flux.....	9
Reaction Probe (Water Convection).....	10
2 ^a Simulation	10
Temperature	10
Total Heat Flux.....	11
Directional Heat Flux.....	12
Reaction Probe (Water Convection).....	12
3 ^a Simulation	13
Temperature	13
Total Heat Flux.....	14
Directional Heat Flux.....	14
Reaction Probe (Water Convection 1).....	15
Reaction Probe (Water Convection 2).....	15
Reaction Probe (Water Convection 3).....	16
Conclusions	16
1 ^a Simulation	16
2 ^a Simulation	17
3 ^a Simulation	18

SUMMARY

Simulación térmica para ver el calor que es capaz de disipar la cooling plate, o genera la caja de inversores.

OBJECTIVES

Analizar el intercambio térmico entre los IGBTs y PCBs de los inverters, ósea los elementos electrónicos dentro de la caja de inversores, con la cooling plate. Según el manual de AMK, la cooling plate es capaz de disipar un máximo de 2000 W. Queremos comprobar si los elementos electrónicos generan un calor similar, mayor o menor. Porque dependiendo de dicho valor habría que considerar entre cambiar la pasta térmica únicamente o valorar diseñar y fabricar una nueva cooling plate.

Con estas simulaciones también se podría ver el efecto de la pasta térmica en los componentes y contacto de elementos con la cooling plate. Sobre todo, para ver la influencia que tiene entre las diferentes superficies a escoger, posteriormente se mostrarán dichas superficies.

DEVELOPMENT

Se emplea transient termal, ya que el análisis no es estático, comienza con unas condiciones y se quiere analizar el resultado tras un endurance (25 minutos) ya que es la prueba más restrictiva.

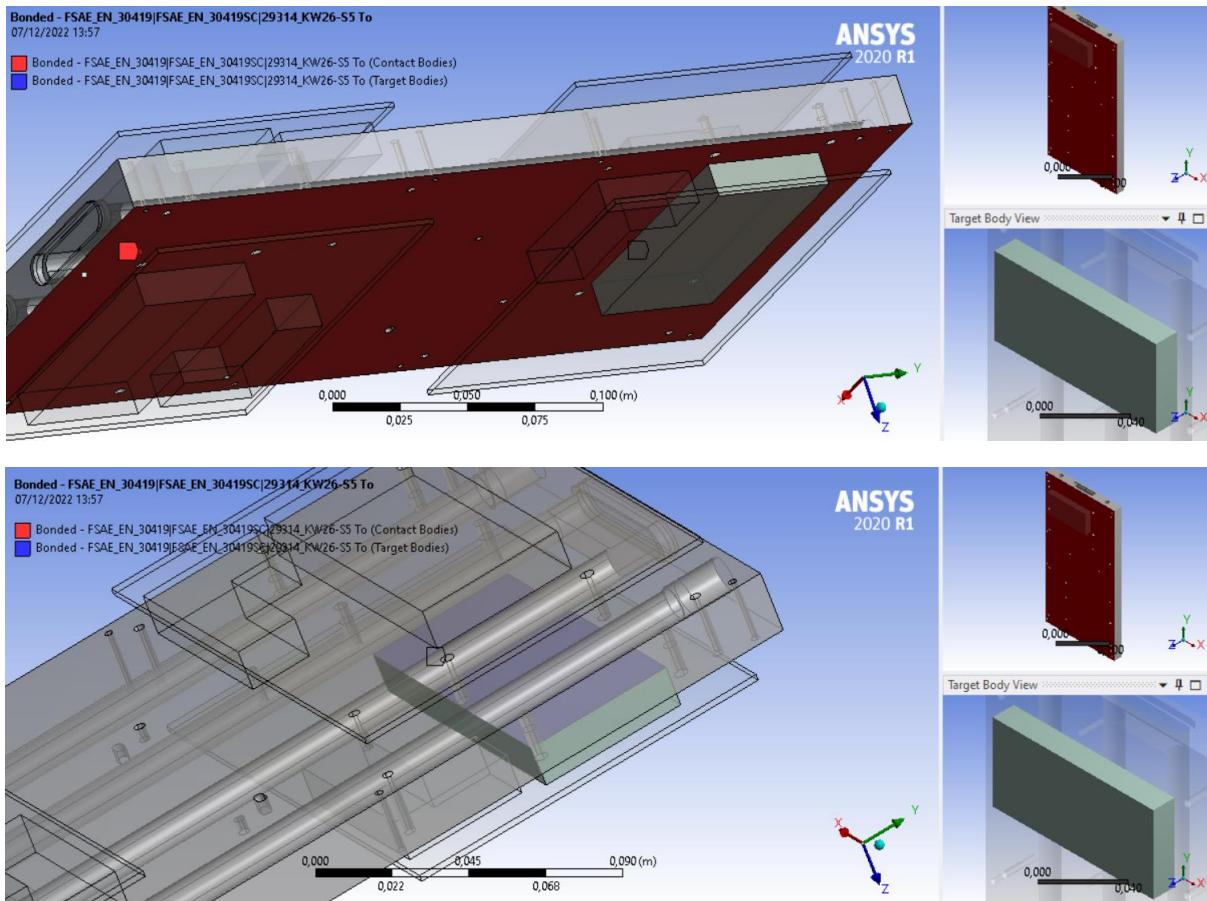
Primero, tras unos problemas iniciales al mallar el assembly de inversores con cooling plate se decidió por simplificar la geometría. Se redujo el assembly, únicamente teniendo en cuenta los elementos que se podrían considerar como fuentes de calor. Después, dichos elementos se simplificaron a geometrías sencillas, ya que muchas al ser parts de elementos electrónicos tenían detalles que influían en el mallado, dando problemas y aumentando el tiempo. Pero dichos elementos no influyen en nuestra simulación por lo que pueden suprimirse o generarse formas sencillas sin ellos.

Tras tener la geometría sobre la que trabajar definida, comenzamos a definir las condiciones de contorno, iniciales y la transferencia a tener en cuenta.

Contactos = Conducción

En el apartado **Connections>Contacts** ha sido necesario crear boundeds entre la superficie de los elementos considerados fuentes y la cooling plate. Dicho contacto, será la pasta térmica correspondiente. Con dichos boundeds, modificando el apartado **Thermal Conductance Value**, se simulará la conductividad proporcionada por la pasta térmica. Para ello se mete el valor de la k (constante de conductividad térmica de la pasta térmica) entre el espesor a aplicar (se estima un milímetro).

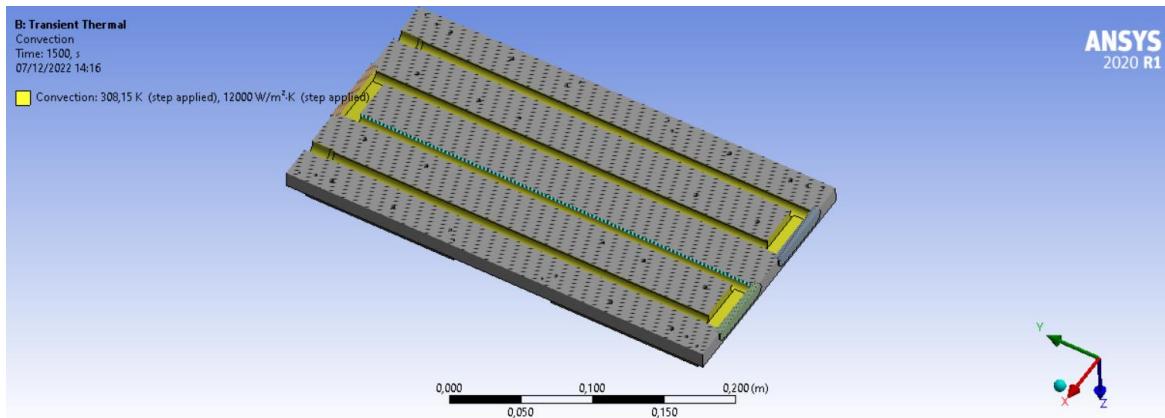
A continuación, se insertan fotos de un ejemplo de los boundeds mencionados. En ellas se puede ver la intersección de superficie entre elementos y el thermal conductance value.



Advanced	
Formulation	Program Controlled
Small Sliding	Program Controlled
Detection Method	Program Controlled
Elastic Slip Tolerance	Program Controlled
Thermal Conductance	Manual
Thermal Conductance Value	14200 W/m ² .K
Pinball Region	Radius
Pinball Radius	1,e-003 m

Convection

Para simular el agua, y por tanto la convección que se da entre ella y la cooling plate, se añade una condición de **convection**. Como no se puede representar el agua, lo que se selecciona es la superficie común entre el agua y la cooling plate, ósea la sección de los tubos interiores (en amarillo en la imagen posterior).



El siguiente parámetro necesario para que dicha condición represente el movimiento del agua es el **film coefficient**. Dicho valor depende de: Nusselt, k (agua), diámetro de la sección, caudal... entre otros. Con un diámetro de 10 mm, un caudal de 10 l/min y la k del agua se da un film coefficient de unos 12000 W/m² K.

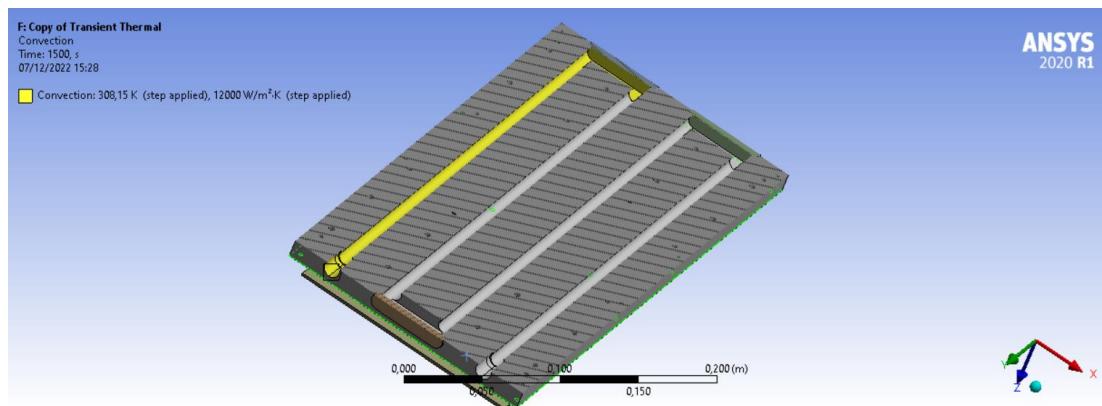
En todo momento se toma la temperatura inicial o ambiente del agua de 35°C.

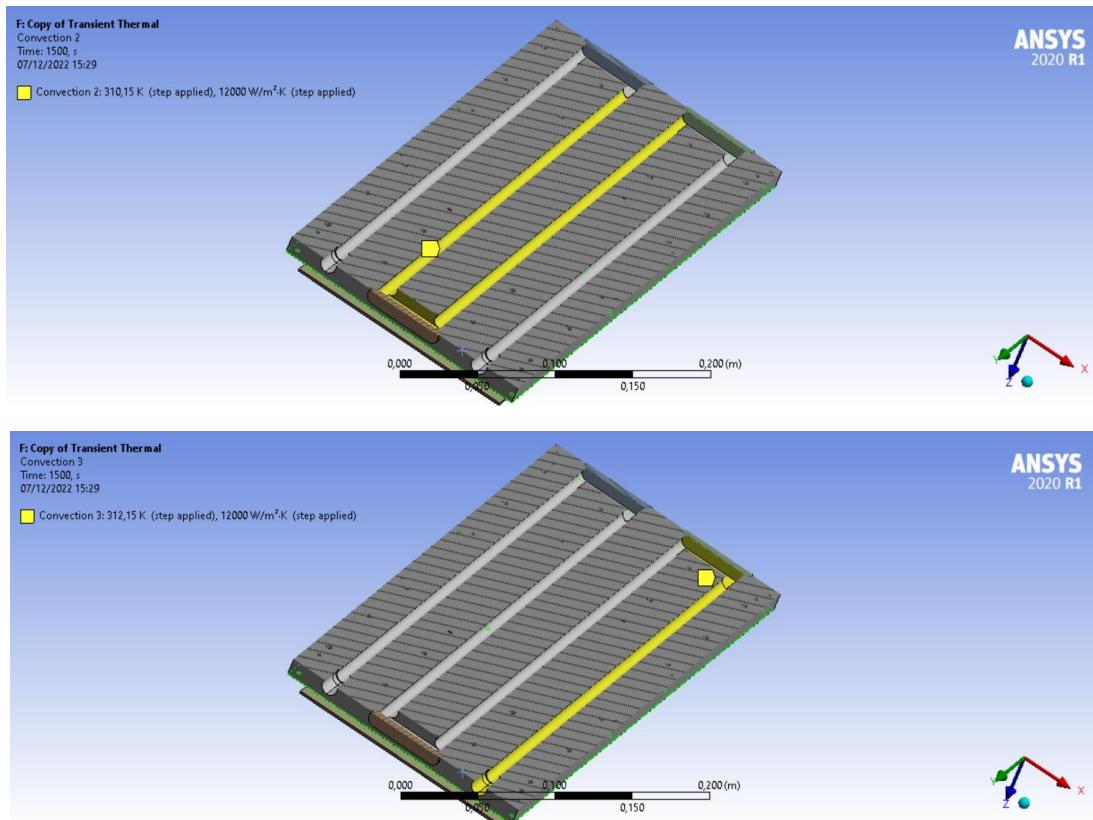
Definition	
Type	Convection
<input type="checkbox"/> Film Coefficient	12000 W/m ² ·K (step applied)
<input type="checkbox"/> Ambient Temperature	308,15 K (step applied)
Convection Matrix	Program Controlled
Suppressed	No

Dicha convección se añadirá a la solution, resultando un reaction probe donde veremos el valor concreto de disipación del agua por convección.

Convection 2 (3^a Simulation)

Para la última simulación se modificó la convection anterior, cambiándola por tres con distintas temperaturas. Se divide la superficie anterior en tres:





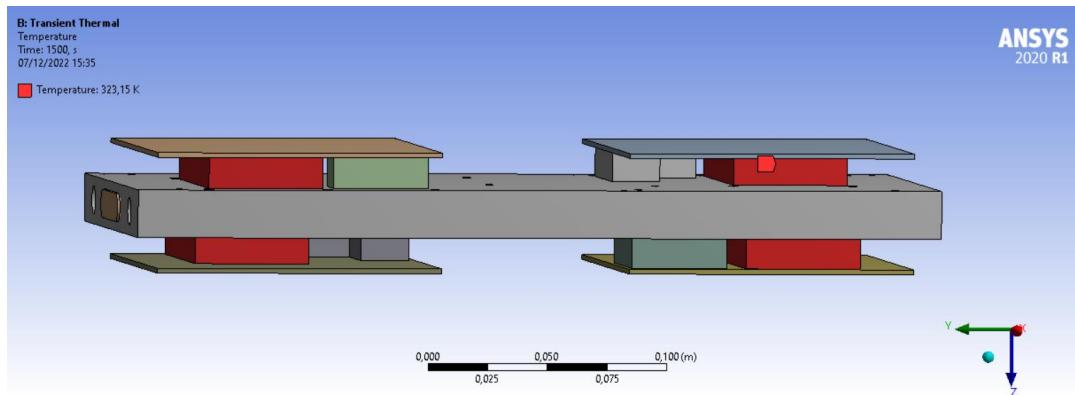
Además de dividir en tres la sección interior, cada sección tendrá una temperatura distinta, simulando el incremento de temperatura a lo largo del circuito debido al intercambio de calor. La primera sección será de 35°, la segunda de 37° y la última de 39°.

Los resultados de dicha simulación se comentarán en el apartado siguiente, correspondiendo al tercer subapartado.

Temperature 1

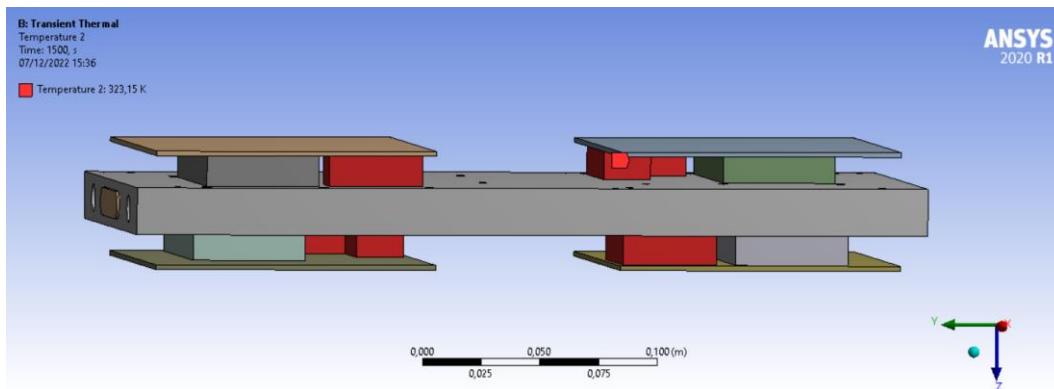
Todos los temperature se meten como bodies a una temperatura constante, intentando poner una temperatura en situación desfavorable y realista.

El primero de los elementos es el contacto principal entre inversores y cooling plate. Lugar donde estaba aplicada la pasta térmica por el propio fabricante. Como los inversores no deben pasar 50° para no degradarse y rendir correctamente, y además coincide con la temperatura más alta registrada en un rodaje, se ponen dichos bodies a esa temperatura durante todo el tiempo de simulación.



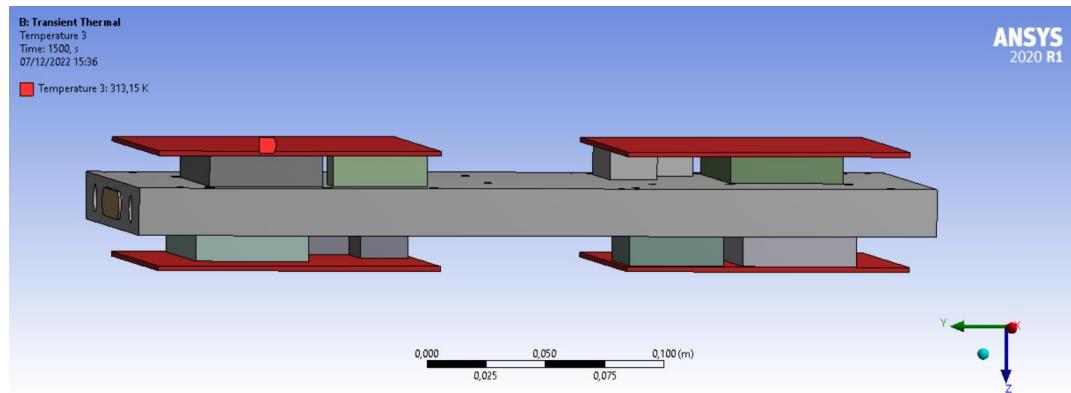
Temperature 2

Los siguientes cuerpos a tener en cuenta de la misma manera que los anteriores son los IGBTs. Estos transistores no llegan a estar en contacto con la cooling plate y tampoco tienen pasta térmica según el ensamblaje del vendedor. Con estas simulaciones se quiere ver la diferencia entre aplicar pasta térmica en estos elementos y la configuración actual. Como antes, estos elementos son los que llegan a una temperatura igual de elevada que los inversores, poniéndolos a 50°.



Temperature 3

Por último, se añade la temperatura a una geometría que simularía las PCBs de los inversores. Se escoge este elemento para simplificar la temperatura general de otros elementos electrónicos de menor tamaño. Para ello se ponen las PCBs a 40° ya que no se calientan tanto como los anteriores.

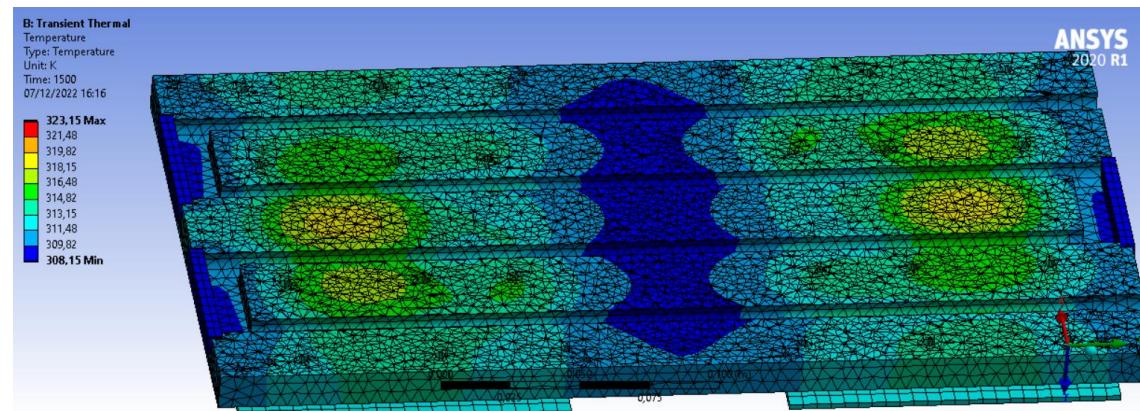
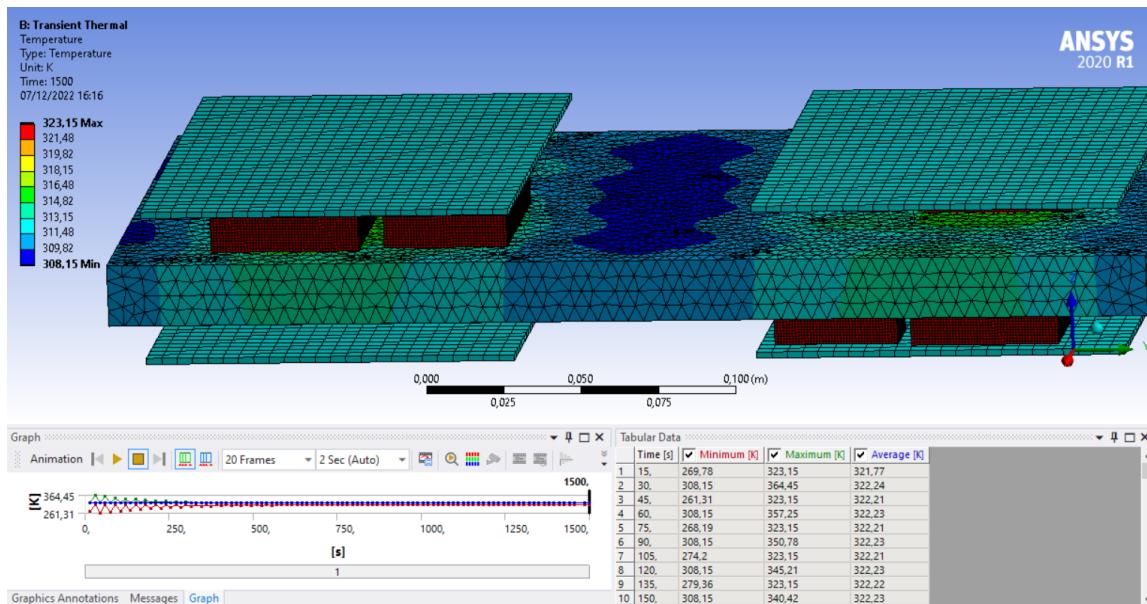


RESULTS

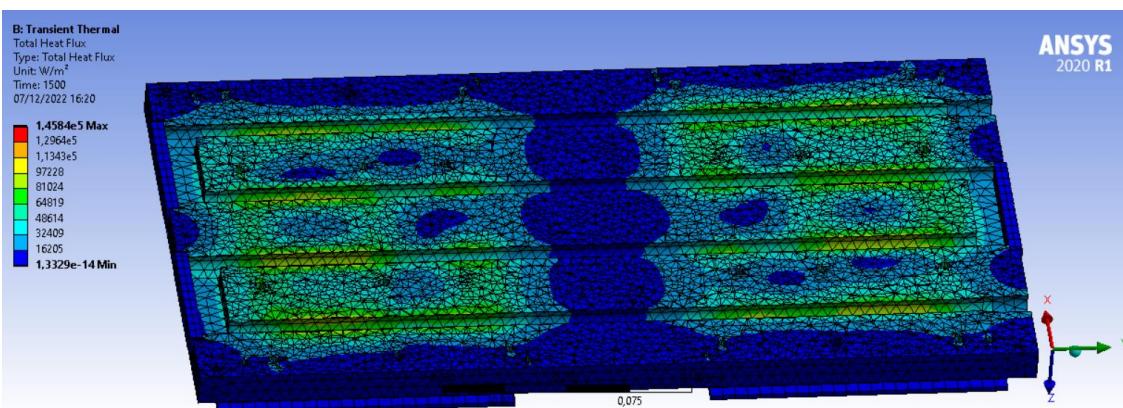
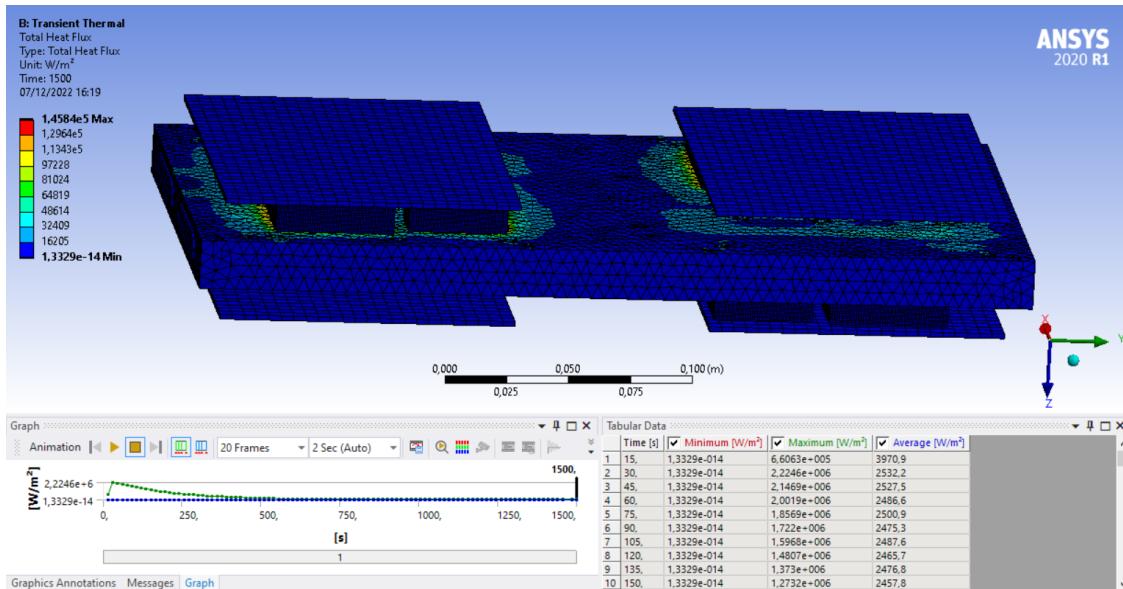
1^a Simulación

La configuración o propiedades de esta primera simulación tiene en cuenta la primera convección y pasta térmica aplicada en todas las fuentes de 50°.

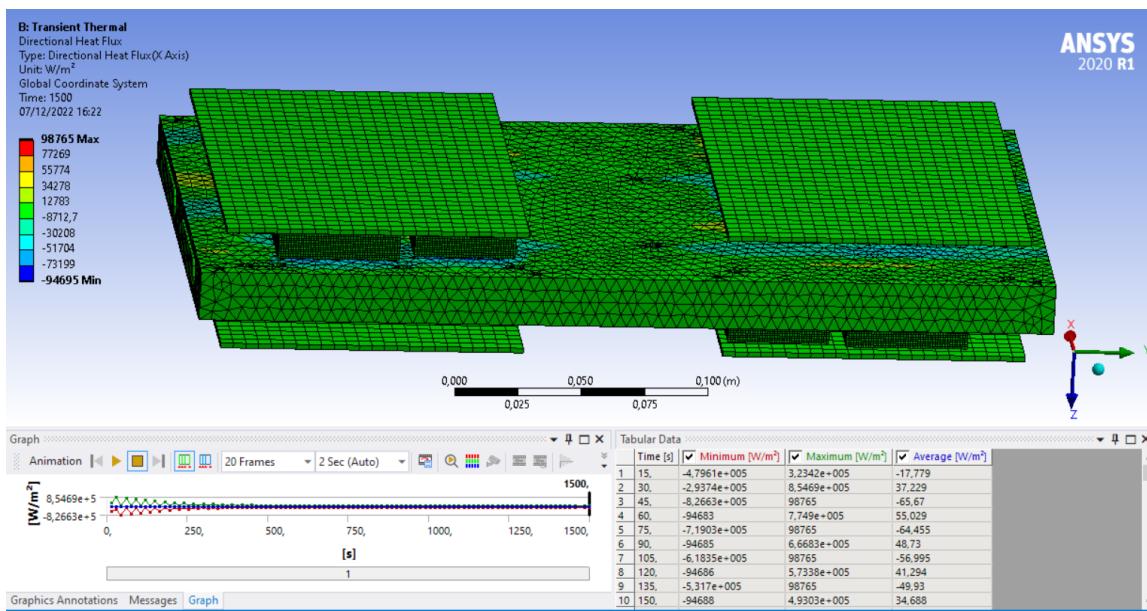
Temperature

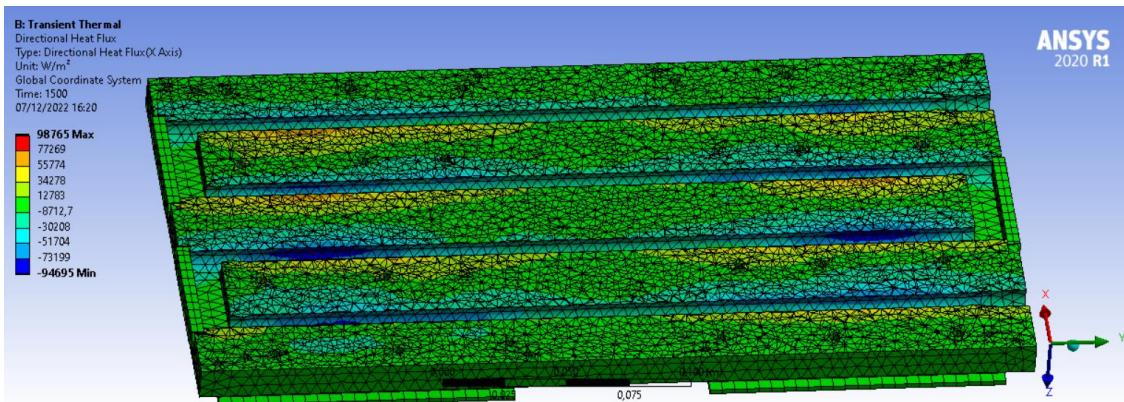


Total Heat Flux

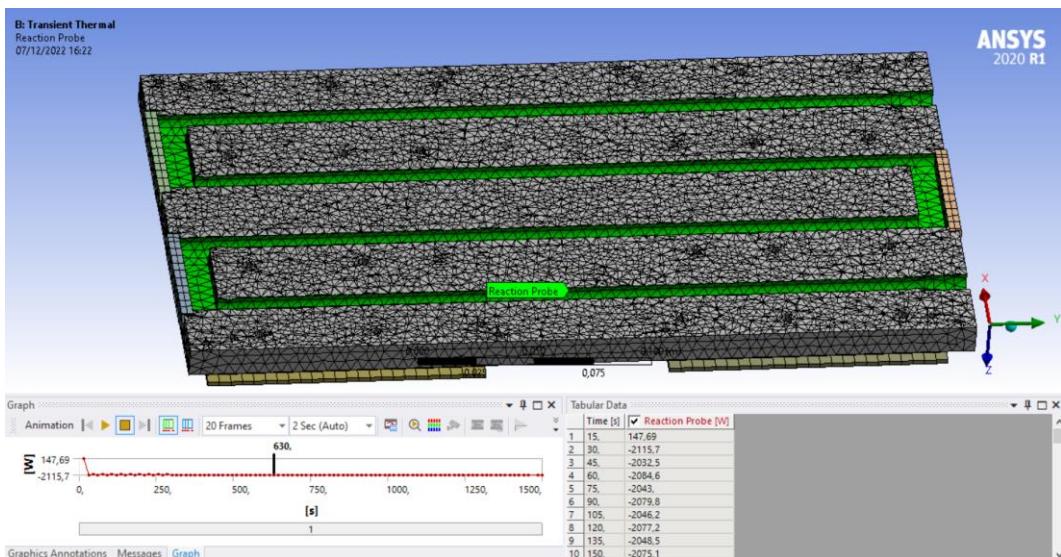


Directional Heat Flux





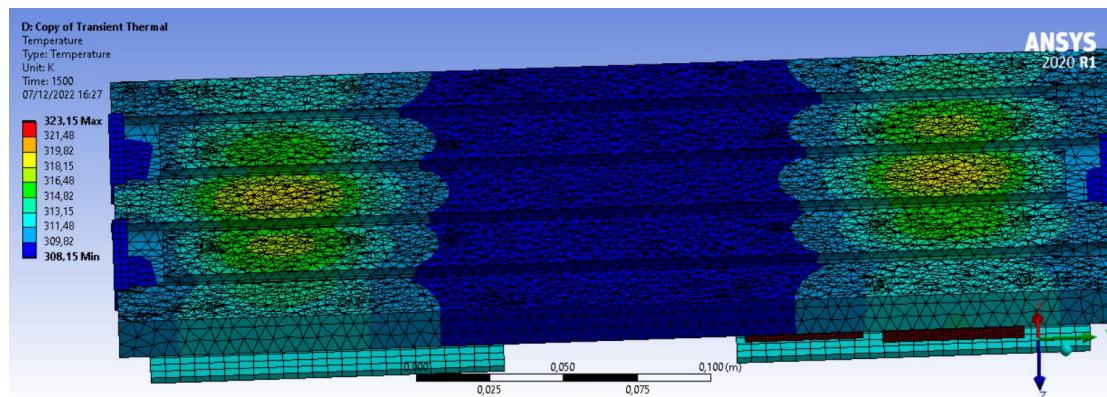
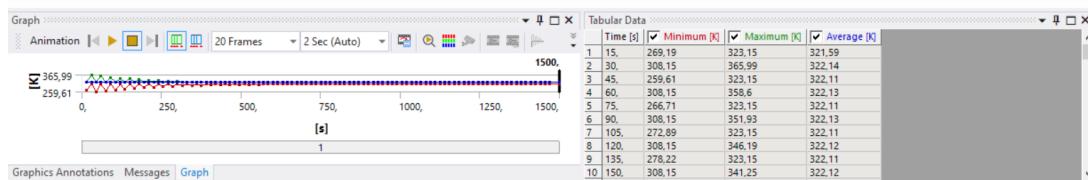
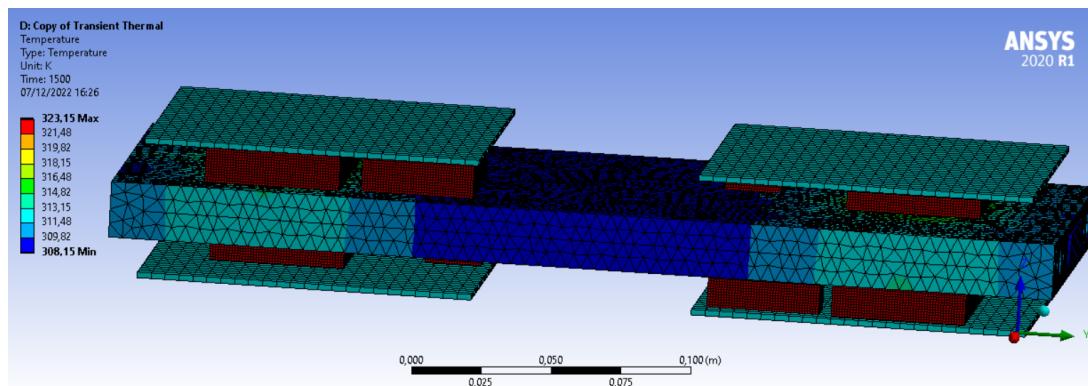
Reaction Probe (Water Convection)



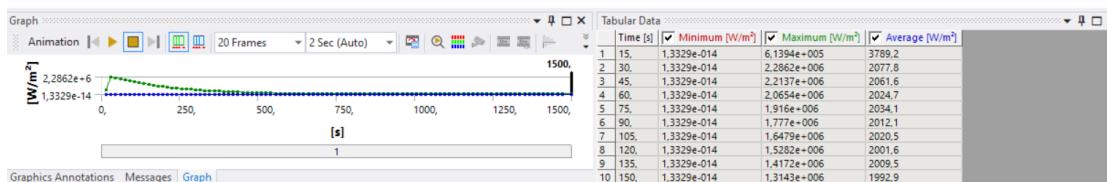
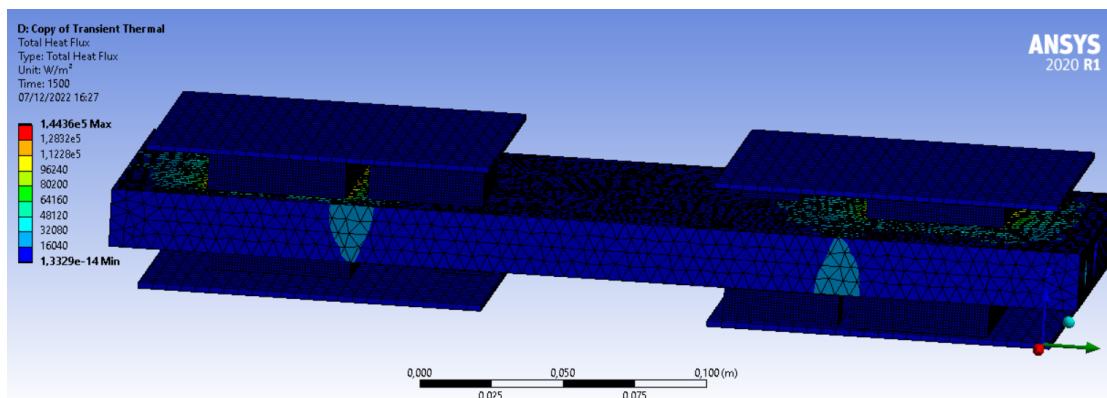
2^a Simulación

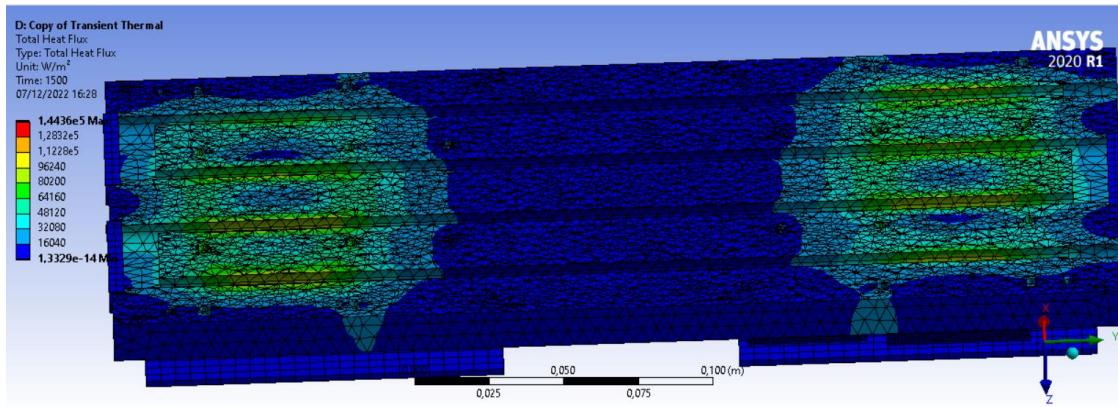
La configuración o propiedades de esta primera simulación tiene en cuenta la primera convección y pasta térmica aplicada en las fuentes de 50°, quitando los IGBTs.

Temperature

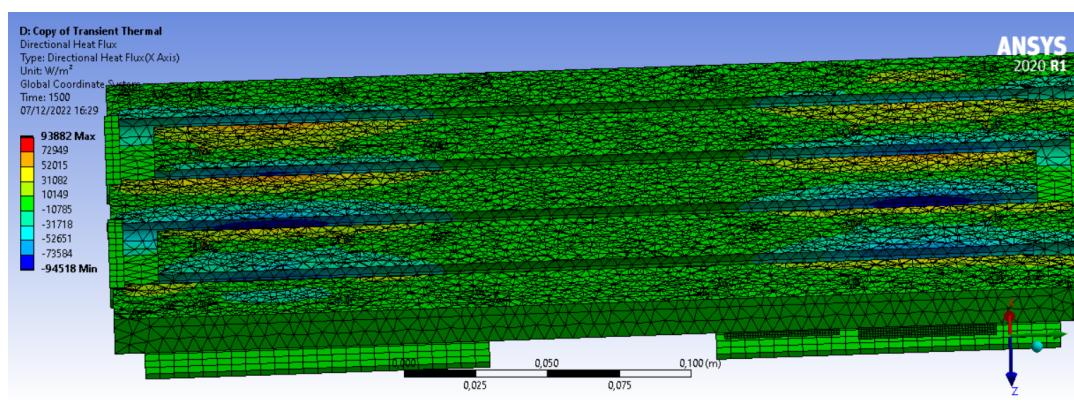
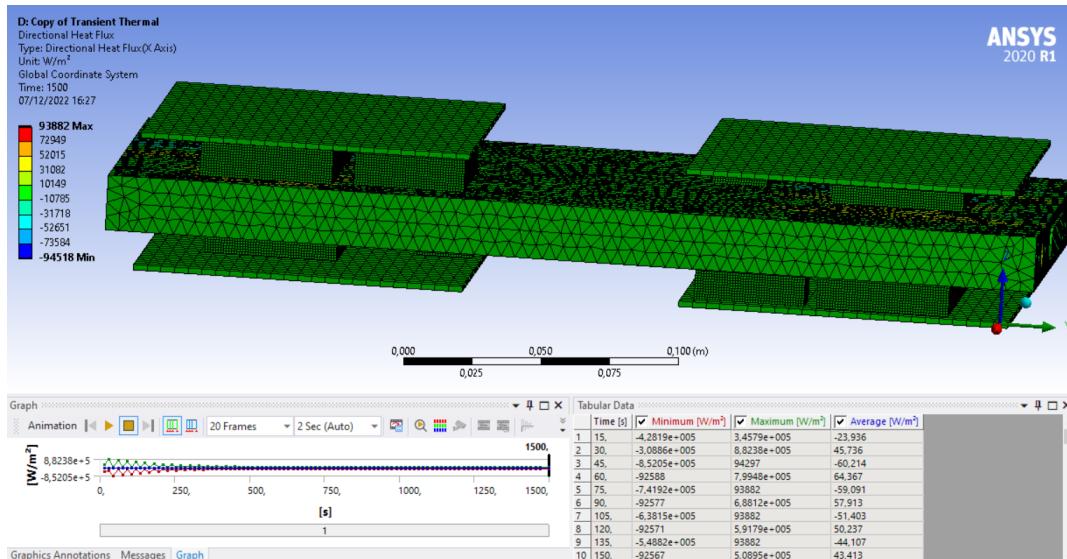


Total Heat Flux

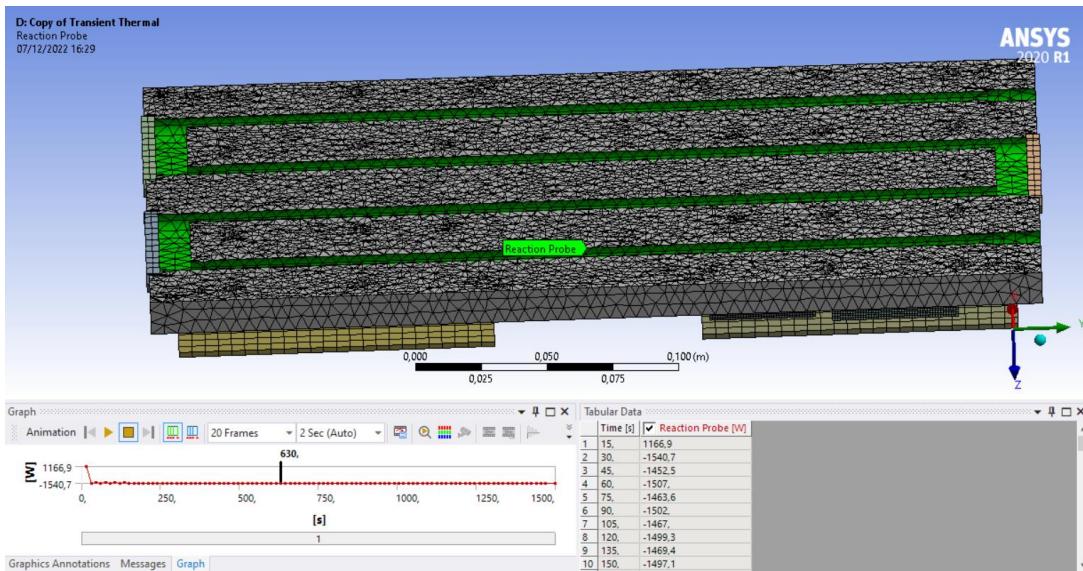




Directional Heat Flux



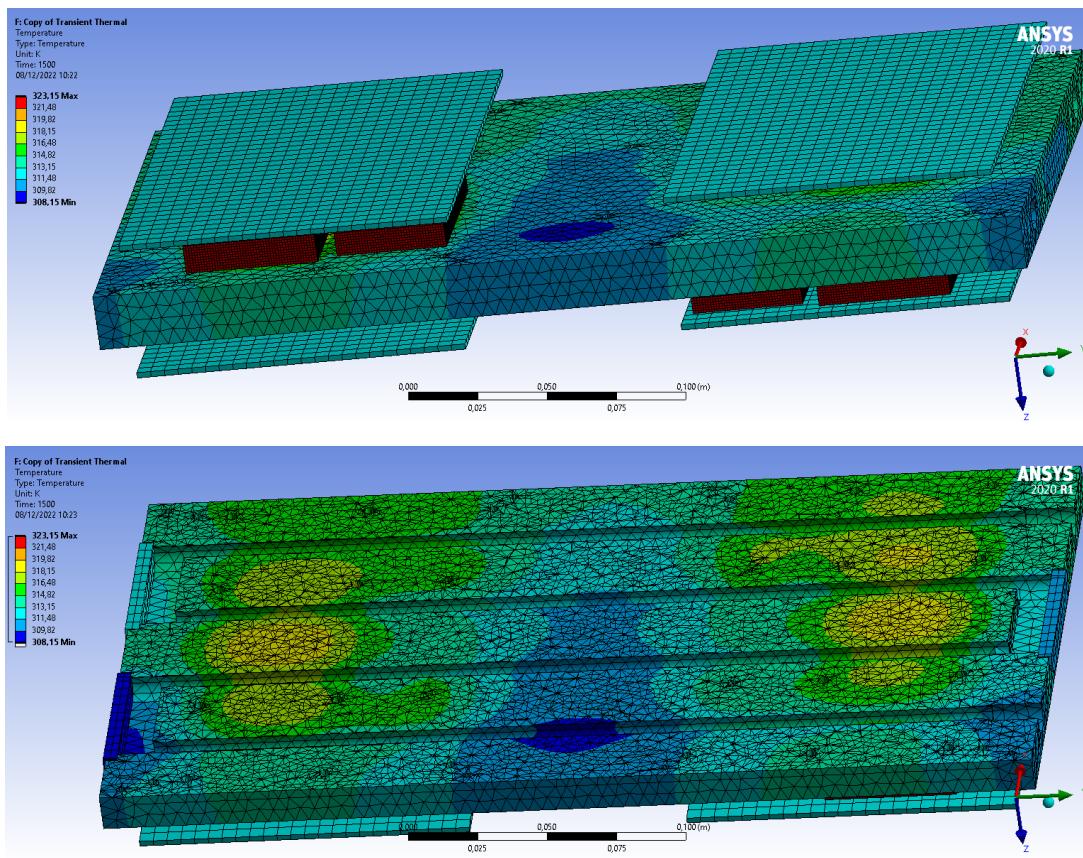
Reaction Probe (Water Convection)



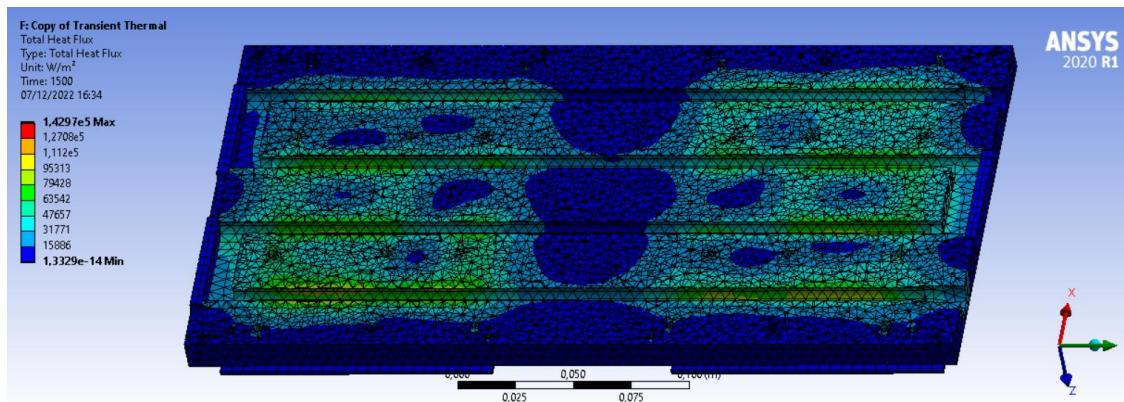
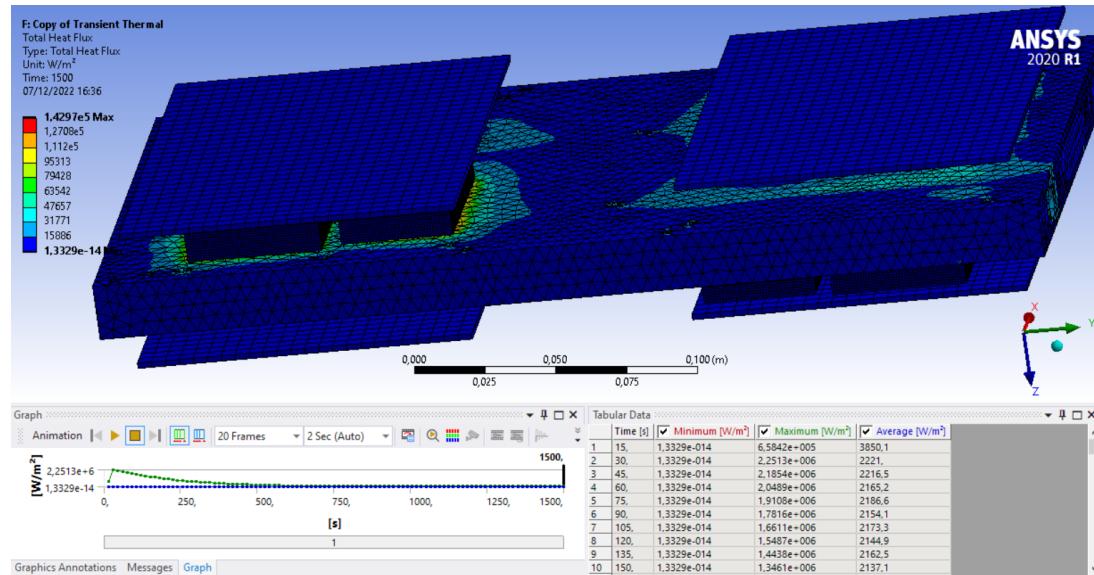
3^a Simulación

La configuración o propiedades de esta primera simulación tiene en cuenta la primera convección y pasta térmica aplicada en todas las fuentes de 50°. Y con la segunda convección explicada en el apartado anterior.

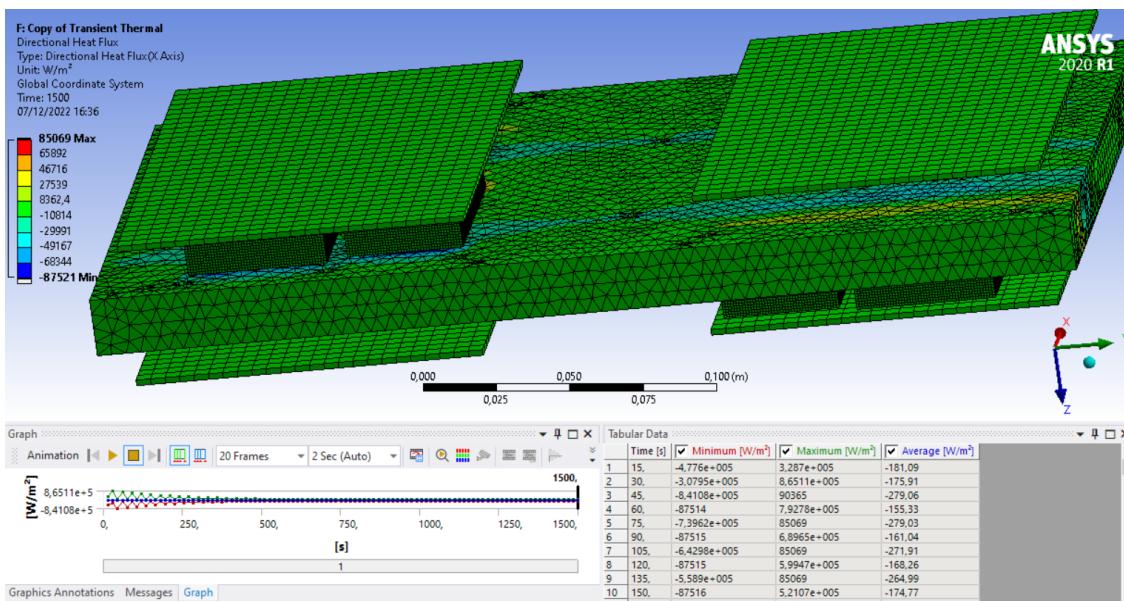
Temperature

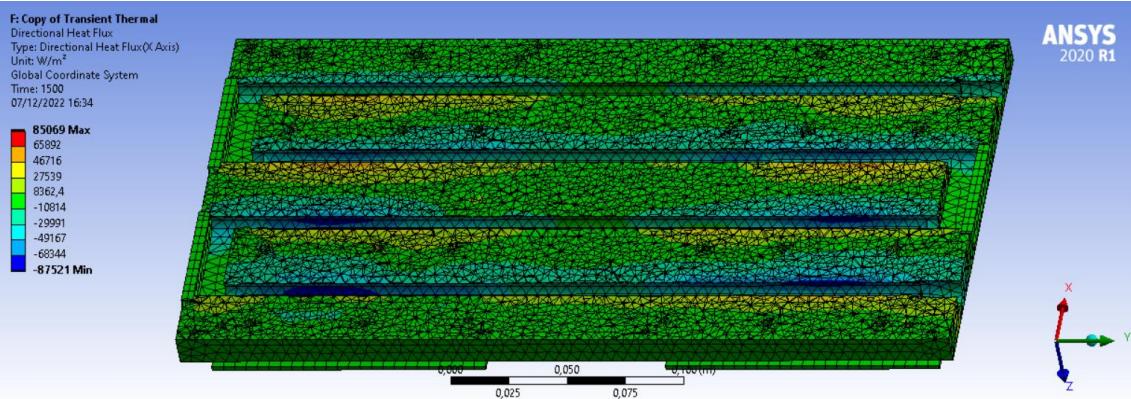


Total Heat Flux

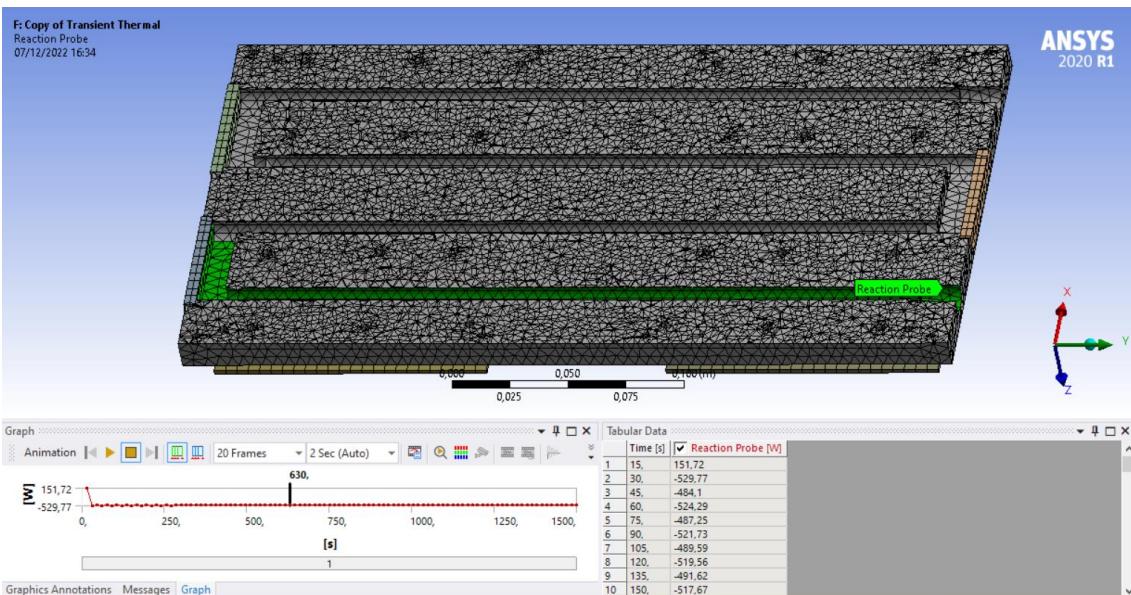


Directional Heat Flux

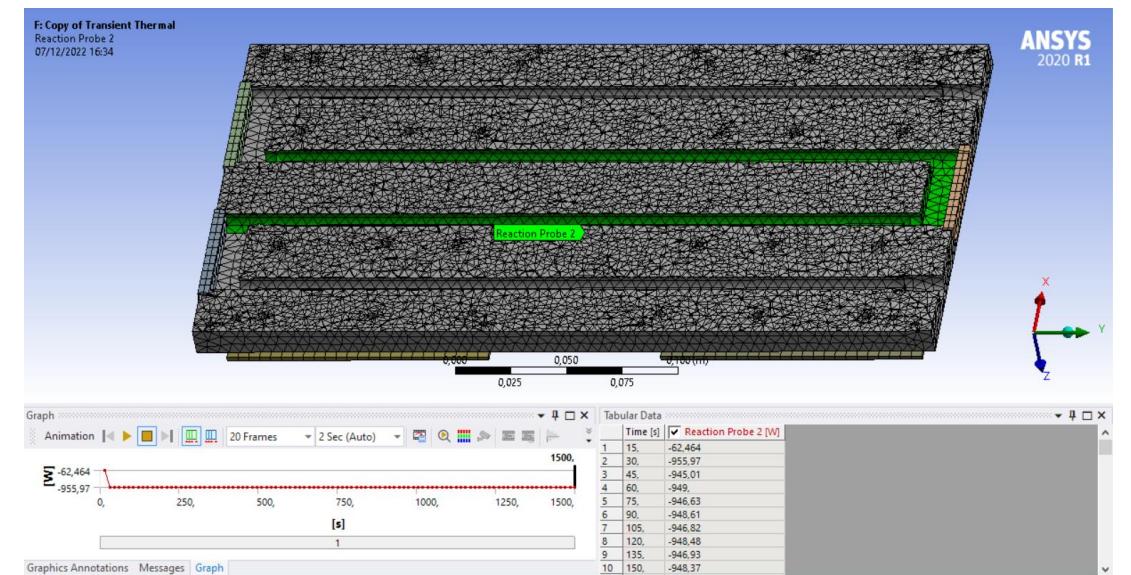




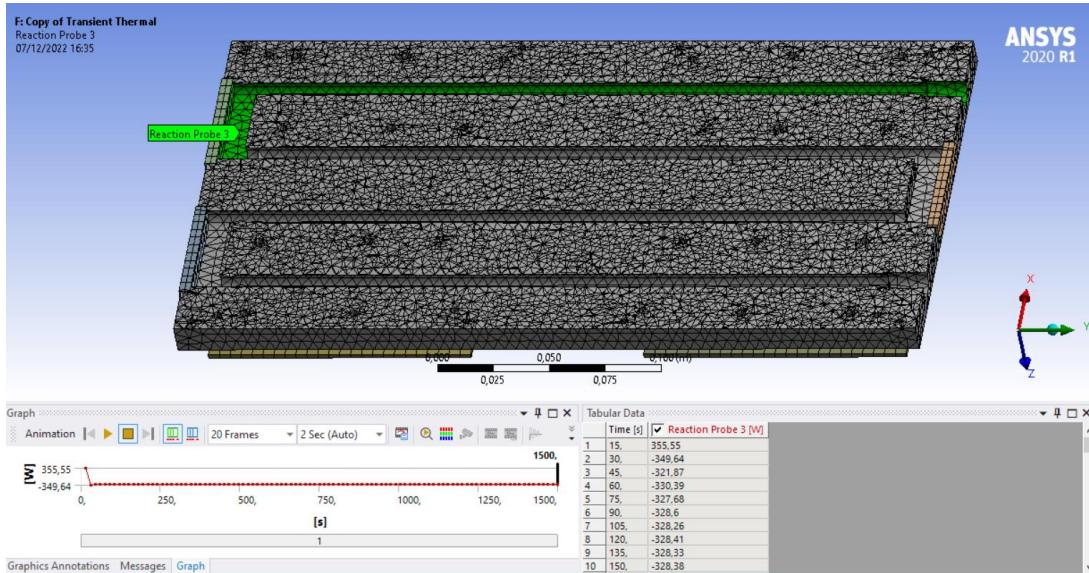
Reaction Probe (Water Convection 1)



Reaction Probe (Water Convection 2)



Reaction Probe (Water Convection 3)



CONCLUSIONS

Resumiéremos un poco los resultados anteriores destacando algún resultado según que simulación o elemento. Comparando también un poco los resultados de los tres modelos y lo esperado de cada uno presimulación.

1^a Simulation

Este modelo es el más importante ya que se supone que es el más representativo de lo que tenemos y donde querremos aplicar la pasta térmica. Por lo que sus resultados son los que más nos afectan y nos pueden marcar si la cooling plate lograría disipar el suficiente calor como para refrigerar la electrónica de los inversores, o por el contrario está mal dimensionada.

Temperature

No hay mucho que mencionar, los elementos en los que se fijo la temperatura la se mantiene. Como se puede observar la cooling plate tiene distinta temperatura según la proximidad a los elementos anteriores, nada a destacar.

Con el corte para ver la temperatura de los conductos interiores podemos observar que estos, y por tanto el contacto con el agua interior, que en un principio hemos supuesto que entra 35°, tiene contacto con zonas de distintas temperaturas. En general la mayoría de la superficie no pasa los 40°, destacando el color correspondiente a unos 38°. Pero hay algunos puntos, cerca de las fuentes de calor, donde las paredes llegan a poco mas de los 40°. Al ser dichas zonas menores en área, aproximadamente el agua estaría en contacto con una superficie de 39°, por lo que no podría superar dichos valores ya que no se daría transferencia. Esto verifica nuestros modelos de cálculo empleados para el

dimensionado del circuito donde aproximamos la temperatura de entrada del agua a 35° y la de salida a 39°.

Total Heat Flux

Con estos resultados podemos observar que la mayoría de la transferencia de calor del modelo se da en la conducción, por lo que la pasta térmica es importante para la disipación. Después la convección sería el segundo en transferencia de calor. No tendremos en cuenta los valores ya que son totales de los elementos, nos importa más analizar las zonas más influyentes como hemos mencionado.

Directional Heat Flux

Con estos resultados Podemos ver la dirección del flujo, es decir si son fuentes o si disipan. No se pueden extraer muchos resultados de estas imágenes.

Reaction Probe (Convection)

Aquí se dan los resultados que buscamos y más importancia tienen. Estos resultados reflejan la transferencia de calor en la convección modelizada anteriormente, ósea la cantidad de calor que sería capaz de disipar el agua. Al comenzar el transient, que se da a temperaturas (peores situaciones posibles, mencionadas anteriormente) constantes durante los 25 minutos, vemos que el **máximo de disipación** se acerca al inicio llegando a un valor de **-2115,7 W**. Posteriormente, se estabiliza dicho valor y se mantiene a una disipación de **-2062,3 W**, cerca de la mitad del tiempo.

Como mencionamos con anterioridad, la cooling plate según el fabricante es capaz de disipar 2000W, dato que no sabíamos si era realista según la necesidad proporcionada por los elementos electrónicos y configuración. Con esta primera simulación podemos observar que se obtienen parámetros bastante próximos al dato del fabricante. Por lo que si logramos aprovechar este valor con el correcto diseño del circuito completo no tendría que haber problemas dentro de la caja de inversores. (Como se comentará en el resultado de la 2ª simulación, aquí hay pasta térmica aplicada en más lugares de los que daba el fabricante cosa que afecta positivamente a dichos valores hallados)

2ª Simulation

Con esta simulación buscamos una comparación entre aplicar o no pasta térmica en los igbts o seguir con la superficie con pasta dada por el fabricante. Veremos y compararemos con los resultados de la simulación anterior.

Temperature

Resultados muy similares a los anteriores, no hace falta repetirse ya que no destaca nada.

Total Heat Flux

Vemos que la escala varia algo en valores, al haber menos zonas con pasta térmica habrá menos conducción. Y como hemos mencionado en la simulación anterior en este apartado de los resultados podemos ver que la conducción es la que más influye en la transferencia y por tanto en la disipación.

Directional Heat Flux

Similar a la anterior simulación.

Reaction Probe (Convection)

De nuevo el valor más importante a analizar. Hablando de datos, esta simulación da una disipación máxima de la convección de **-1540,7 W**, y se estabiliza en **-1483,75 W**.

Comparando con los anteriores, claramente son menores, siendo (tomando los valores estabilizados) estos el 72% de la disipación de lo anterior. Por lo que **perderíamos un 28%** de la posible disipación por no poner pasta térmica en los IGBTs.

Estos resultados tienen sentido, ya que como hemos visto en los resultados del total heat flux de ambos modelos, la conducción es la que mayor transferencia genera en toda la caja de inversores. Quitando cuatro superficies de conducción perdemos calor que es transferido a la cooling plate para ser disipado por el agua.

3^a Simulation

Con esta simulación se quiere ver si hasta ahora se había representado la convección del agua de una manera realista o no. Para ello optamos por tres convecciones que simularían el incremento de temperatura de esta a lo largo del circuito.

Temperature

Similar a los anteriores, al meter convecciones con mayores temperaturas se nota que incrementan las áreas de mayor temperatura dentro de los tubos. Ejemplo del tubo a 39 que es tiene área más verde que azul, distinto a los modelos anteriores. Normal si el agua en contacto tiene mayor temperatura.

Total Heat Flux

Varía únicamente los valores de la escala, y los colores o transferencia en los tubos ya que las convecciones son distintas.

Directional Heat Flux

Similar a lo que pasa en el total heat flux y la temperatura.

Reaction Probe (Convection 1)

Con esta primera convección, donde el agua está a 35° se disipa un máximo de **-529,77 W** y se estabiliza en unos **-505,1 W**. Veremos a continuación el resto, pero debería de ser el mayor de los tres ya que es el que tiene el agua a menor temperatura y por tanto el

que más podría disipar por metro cuadrado, ya que cada convección tiene una sección distinta.

Reaction Probe (Convection 2)

En la segunda, puesta a 37°, logramos un máximo de **-955,97 W**, y estabilizado de **-947,68 W**. Da mayor disipación que el anterior porque se ha seleccionado un área mayor y la temperatura no es tan alta como para disminuir el incremento de T en función del área ganada. Claramente las áreas seleccionadas se han aproximado y no son exactas, el agua entrará y se calentará progresivamente pero no sabemos el cambio de temperatura y sección exacto.

Reaction Probe (Convection 3)

En la última, a 39°, hay un máximo de **-349,64 W** y estabilizado de **-328,36 W**. Comparando con los anteriores tiene un incremento de T muy pequeño al estar a mayor temperatura. Comparado con el segundo además tiene menor sección, pero tiene la misma que el primero. Por lo que comparando con la disipación de la primera convección podemos ver la influencia clara del incremento de T mencionado.

Total Convection

Si sumamos las tres obtenemos la transferencia total de la convección. Dando un máximo de **-1835,38 W**, y estabilizado de **-1781,14 W**.

Claramente dan valores distintos a los de la simulación anterior. Pero son bastantes similares ya que da cerca de los 2000W que queremos. Variando un **14% menos** comparado con el estabilizado de la primera. Valor bastante pequeño teniendo en cuenta que las secciones de las distintas temperaturas no las sabemos con precisión, ni la temperatura exacta de los cambios.

De esta simulación podemos obtener la conclusión de que ambas modelizaciones de la transferencia en el agua dan cosas similares. La primera se aproxima más a los resultados esperados y esta es un cumulo de aproximaciones y estimaciones que por eso se aleja algo. A lo mejor si supiésemos aproximarla mejor podríamos obtener los mismos resultados y aprender dos formas de confirmar un resultado. Por ahora tomamos los resultados de ambas como buenos y cercanos, verificando lo obtenido por ambas.