

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO***

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

Castellano

El presente proyecto pertenece al ámbito de rectificado, más concretamente al rectificado plano. El objetivo del mismo es desarrollar una sensorica avanzada para ser capaces de medir las temperaturas generadas durante el proceso del rectificado. Para ello, se trabajará con un pirómetro ya que se piensa que es la mejor opción para dichas medidas de temperaturas en las condiciones en las que se trabaja.

De esta forma, se realiza, en primer lugar, unas pruebas preliminares para comprobar el funcionamiento de dicho pirómetro. Para ello, se introducirá el pirómetro dentro de los agujeros de una pieza y posteriormente, se rectificará esa pieza. En segundo lugar, una vez que se ha comprobado que el pirómetro funciona correctamente se realizará un protocolo de pruebas en las que se analizarán todos los resultados de temperaturas, fuerzas, y potencias.

Por último, se espera, validar el pirómetro estático para la rectificadora plana. Para ello, se hará un análisis de la capacidad que tiene el pirómetro de medir temperaturas y en qué condiciones específicas.

Euskera

Aurkezten dugun proiektua artezketa eremuan sartzen da, bereziki, artezketa lauuan. Artezketa prozesuan sortutako tenperatura neurtzeko sentsore aurreratua garatzea da proiektu honen helburu nagusia. Horretarako, lan egiten dugun badintzetan, tenperatura neurtzeko pirometro batekin lan egitea aukerarik onena dela deritzogu.

Modu horretan, aurretiazko probak egiten dira pirometro horren funtzionamendua egiaztatzeko. Horretarako, pirometroa piezaren zuloetan sartuko da eta geroago pieza hori arteztuko da. Bigarrenik, pirometroa ondo funtzionatzen duen egiaztatuta, probak egingo dira tenperatura, indar eta potentziaren emaitza guztiak aztertuko dira.

Azkenik, artezteko laua egiteko makinaren pirometro estatikoa balioztatuko da. Horretarako, pirometroak tenperatura neurtzeko daukan ahalmena eta bere baldintzak ikertzea espero da.

Ingles

The present project belongs to the field of grinding, more specifically to flat grinding. The main objective is to develop an advanced sensor to be able to measure the temperatures generated during the grinding process. To do this, we will work with a pyrometer since it is thought to be the best option for temperature measurements in the conditions in which we work.

In this way, preliminary tests are carried out in order to check the operation of pyrometers. In this process, the pyrometer will be introduced into the holes of a piece and later, that piece will be rectified. Secondly, once it has been verified that the pyrometer works correctly, a test protocol will be carried out in which all the results of

temperatures, forces, and powers will be analyzed.

Finally, it is expected to validate the static pyrometer for the flat grinding machine. To do this, an analysis will be made of the pyrometer's ability to measure temperatures and under what specific conditions.

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

**DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO**

DOCUMENTO I- INDICE GENERAL

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Gañáñez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 1: INDICE GENERAL

DOCUMENTO 1 INDICE GENERAL	4
DOCUMENTO 2: TABLA DE ILUSTRACIONES	6
DOCUMENTO 3: MEMORIA	9
DOCUMENTO 4: METODOLOGIA SEGUIDA EN EL DESARROLLO DEL TRABAJO	33
ASPECTOS ECONOMICOS	75
CONCLUSIONES	80
BIBLIOGRAFIA	85
ANEXO 1	89
ANEXO 2	105

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO***

DOCUMENTO 2- LISTA DE ILUSTRACIONES

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Gaíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 14, 07, 2019>

DOCUMENTO 2: LISTA DE ILUSTRACIONES

1. Ilustración 2.1: Logotipo de IDEKO.....	12
2. Ilustración 2.2: Logotipo de DANOBAT	13
3. Ilustración 2.3: Arranque de material por abrasión.....	14
4. Ilustración 2.4: Profundidad de pasada real vs teórica.....	15
5. Ilustración 2.5: Rectificado plano	15
6. Ilustración 2.6: Rectificado cilíndrico.....	16
7. Ilustración 2.7: Rectificado sin centros	16
8. Ilustración 2.8: Parámetros de corte en el rectificado plano	17
9. Ilustración 2.9: Parámetros de corte en el rectificado cilíndrico.....	17
10. Ilustración 2.10: Fuerzas en el rectificado	18
11. Ilustración 2.11: Quemado de pieza en dientes de un engranaje.....	20
12. Ilustración 2.12: Rectificado convencional.....	21
13. Ilustración 2.13: Radiación infrarroja emitida por una imagen	22
14. Ilustración 2.14: Emisividad de distintos materiales	24
15. Ilustración 2.15: Maestro y esclavo del pirómetro	25
16. Ilustración 2.16: Funcionamiento de la fibra óptica	26
17. Ilustración 2.17: Comparación de distintos métodos de medida de temperatura....	27
18. Ilustración 2.18: Protocolo de ensayos	29
19. Ilustración 2.19: Composición química del GG30	30
20. Ilustración 2.20: Plano de la probeta	31
21. Ilustración 3.1: Máquina de electroerosión por hilo	35
22. Ilustración 3.2: Máquina de electroerosión por penetración.....	36
23. Ilustración 3.3: Rectificadora plana.....	36
24. Ilustración 3.4: Kistler junto mesa dinamométrica y mordaza	37
25. Ilustración 3.5: Calibrador de temperatura	37
26. Ilustración 3.6: Rugosímetro.....	38
27. Ilustración 3.7: Reloj comparador	38
28. Ilustración 3.8: Durómetro.....	39
29. Ilustración 3.9: SW Great	39
30. Ilustración 3.10: Cronograma del proyecto.....	43
31. Ilustración 3.11: Primera prueba del protocolo de pruebas.....	44
32. Ilustración 3.12: Parámetros de corte y del material en el simulador térmico	44
33. Ilustración 3.13: Numero de nodos de la pieza y nombre	45
34. Ilustración 3.14: Diámetro del agujero Y distancia del fondo del agujero Hasta la superficie	45
35. Ilustración 3.15: Resultado de temperaturas en GrindSim.....	46
36. Ilustración 3.16: Plano de la probeta con el electrodo.....	47
37. Ilustración 3.17: Plano del fondo del agujero.....	47
38. Ilustración 3.18: Profundidades de los agujeros de la probeta 1	49
39. Ilustración 3.19: Profundidades de los agujeros de la probeta 2	50
40. Ilustración 3.20: Profundidades de los agujeros de la probeta 3	52
41. Ilustración 3.21: Profundidad de los agujeros 1-2-3-4 de la probeta 1	52
42. Ilustración 3.22: Profundidad de los agujeros 1-2-3-4 de la probeta 2	53
43. Ilustración 3.23: Profundidades de los agujeros 17 y 18 de la probeta 3	53
44. Ilustración 3.24: Ft y Fn recibida por la Kistler.....	56

45. Ilustración 3.25: Resultados del pirómetro en el bloc de notas.....	57
46. Ilustración 3.26: Temperaturas respecto al tiempo en el rectificado.....	57
47. Ilustración 3.27: Pruebas preliminares.....	58
48. Ilustración 3.28: Resultado de fuerzas en W2-PP1	59
49. Ilustración 3.29: Resultado de voltaje en W2-PP1	60
50. Ilustración 3.30: Resultado de potencias en W2-PP2	61
51. Ilustración 3.31: Resultado de fuerzas en W2-PP2.....	61
52. Ilustración 3.32: Resultado de voltaje en W2-PP2	62
53. Ilustración 3.33: Resultado de potencias en W2-PP3	63
54. Ilustración 3.34: Resultado de fuerzas en W2-PP3.....	64
55. Ilustración 3.35: Resultado de voltaje en W2-PP3	65
56. Ilustración 3.36: Resultado de fuerzas en W2-PP4.....	66
57. Ilustración 3.37: Resultado de voltaje en W2-PP4	66
58. Ilustración 3.38: Condiciones de corte del protocolo de pruebas modificado.....	66
59. Ilustración 3.39: Montaje para el protocolo de pruebas	67
60. Ilustración 3.40: Potencias obtenidas en P_TEMP_C1	68
61. Ilustración 3.41: Fuerzas generadas en la prueba P_TEMP_C1	69
62. Ilustración 3.42: Voltaje del pirómetro 1 en P_TEMP_C1	70
63. Ilustración 3.43: Detalle del pico del voltaje de P_TEMP_C1	70
64. Ilustración 3.44: Datos numéricos de la prueba P_TEMP_C1	71
65. Ilustración 3.45: Quemado de pieza en una de las pruebas	71
66. Ilustración 3.46: Temperaturas generadas en el P_TEMP_C1 en GrindSim	72
67. Ilustración 3.47: Montaje de la calibración del horno	74
68. Ilustración 3.48: Datos numéricos parejados de ratio de voltaje y temperatura	75
69. Ilustración 3.49: Grafica de ratio de voltaje vs temperatura	76
70. Ilustración 4.1: Presupuesto de los recursos humanos.....	79
71. Ilustración 4.2: Presupuesto de los recursos materiales fungibles	80
72. Ilustración 4.3: Presupuesto de los recursos materiales amortizables	80
73. Ilustración 4.4: Presupuesto de los recursos informáticos amortizables	81

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

**DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO**

DOCUMENTO 3- MEMORIA

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 3: MEMORIA

1. INTRODUCCION.....	11
2. CONTEXTO.....	11
3. OBJETIVOS Y ALCANCE	13
4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO	13
5. DESCRIPCION DE REQUERIMIENTOS Y/O ANALISIS DEL ESTADO DEL ARTE	14
5.1. Rectificado	14
5.1.1. Que es el rectificado	14
5.1.2. Tipos de rectificado.....	15
5.1.2.1. Rectificado plano.....	15
5.1.2.2. Rectificado cilindrico	15
5.1.2.3. Rectificado sin centros.....	16
5.1.3. Parámetros en el rectificado	17
5.2. Quemado de pieza.....	17
5.2.1. Fuerzas y consideraciones energéticas del proceso.....	17
5.2.2. Balance energético del proceso.....	19
5.2.3. Dañado térmico en piezas rectificadas	19
5.3. Pirómetro	21
5.3.1. Transferencia de calor.....	21
5.3.2. Teoría de la luz	21
5.3.2.1. Ley de Plank	21
5.3.2.2. Radiación infraroja	22
5.3.2.3. Calibración del pirómetro mediante horno	23
5.3.2.4. Emisividad	23
5.3.3. Que es un pirómetro	24
5.3.4. Partes del pirómetro.....	24
5.3.4.1. Hardware	24
5.3.4.2. Fibra optica	25
6. ANALISIS DE ALTERNATIVAS	26
6.1. Forma de medir las temperaturas de las piezas	26
6.2. Pirómetro que mide pasada a pasada o mide en continuo mas que una pasada	27
6.3. Donde realizar los agujeros en la pieza.....	28
7. DESCRIPCION DE LA SOLUCION PROPUESTA.....	29

1. INTRODUCCION

El rectificado es un tipo de mecanizado que se basa en la eliminación del material superficial de una pieza por el método de abrasión. El rectificado tiene como finalidad corregir las imperfecciones de carácter geométrico y dimensional que se producen en las distintas operaciones que sufren las piezas. Por lo que se basa en la corrección de excentricidad, circularidad, rugosidad, etc. Pero el rectificado también se encarga de conseguir unas tolerancias específicas que un cliente te pida.

Hoy en día, el rectificado es un proceso de rectificado muy utilizado en la industria. Dentro del automóvil, las piezas que se rectifican son las muñequillas de bancada y de manivela del cigüeñal, los ejes y las excéntricas de los árboles de levas y las camisas de los cilindros. Dentro del tema aeroespacial, el rectificado es necesario para componentes de tren de aterrizaje, discos de turbina, ejes de rotor, estatores, etc. Además, el rectificado también es muy útil en temas como ferrocarril, energía, petróleo, gas y muchas más. Por lo tanto, se podría decir que el rectificado es un proceso que a medida que pasa el tiempo está cogiendo una importancia notable dentro de la industria.

En estos últimos años se puede decir que ha habido un gran avance en el tema del rectificado. A pesar de ello, sigue habiendo muchos problemas hoy en día y hay muchas cuestiones sin solucionar. Una de las cuestiones sin solucionar es el quemado de la pieza que se produce en el rectificado, debido al mecanizado con herramientas de corte de geometría irregular, se producen daños en la superficie. Estos defectos se suelen llamar quemaduras de rectificado (Grinder Burns) y pueden tener diferentes grados, desde pequeñas oxidaciones superficiales hasta grandes cambios estructurales que pueden derivar en fisuras o incluso en la rotura de la pieza. Los métodos tradicionales que hasta ahora se han utilizado para detección de estas quemaduras de rectificado, por ejemplo, ataque químico (Nitral eching) o ruido de Barkhausen, son sumamente costosos, a veces algo ineficientes y sobre todo no son automatizables. Por lo que hoy en día, es muy difícil la detección de dichas quemaduras de rectificado.

Este trabajo se basa en el cálculo de las temperaturas que cogen las piezas en el rectificado. Este tipo de medidas las haremos mediante un pirómetro. Se desarrollarán distintas estrategias para dicho calculo, se plantearán las mejores soluciones obtenidas y sacaremos conclusiones de las pruebas realizadas. De esta manera conseguiremos saber cuándo se producirán las distintas quemaduras en la pieza y cuando no se producirán ningún dañado en la pieza en el proceso de rectificado.

2. CONTEXTO

Este trabajo como ya hemos dicho en el apartado anterior es un trabajo que se basa en saber cuándo se produce el quemado de la pieza en un breve resumen. Para ello, se trabaja como cooperación educativa con el centro tecnológico IDEKO.

IDEKO es un centro tecnológico cuya localización está en Arriaga Kalea, 2, 20870

Elgoibar, Gipuzkoa. Es una empresa que se dedica a generar, captar y desarrollar nuevas tecnologías capaces de dar respuesta a los retos actuales y futuros de la industria.

La especialización de IDEKO es en tecnologías de fabricación, la cual les permite ofrecer soluciones avanzadas para mejorar las capacidades de producción y competitividad de sus clientes en sectores como máquina de herramienta, ferrocarril, aeronáutica, bienes de equipo, automoción y energía, entre otros.

Respecto al área de este proyecto de investigación, IDEKO se encarga de introducir las últimas tecnologías y las soluciones más avanzadas en los procesos de fabricación. Dichos procesos de fabricación tienen en cuenta el torneado, rectificado, fresado, plegado, o taladrado, laser.

Por lo que la propia actividad de IDEKO abarca desde la investigación en tecnologías de fabricación y producción industrial hasta la identificación y el análisis de oportunidades, el diseño y desarrollo tecnológico de productos, las líneas de negocio y procesos productivos y la resolución de problemas mediante la prestación de servicios tecnológicos como consultoría técnica o servicios basados en equipamiento.



Ilustración 2.1: Logotipo de IDEKO

IDEKO se conoce como IK4-IDEKO. IK4 es una alianza de centros tecnológicos, privada e independiente, de referencia en el ámbito tecnológico europeo. Está integrada por 6 entidades del País Vasco: AZTERLAN, CEIT, IDEKO, IKERLAN, LORTEK y TEKNIKER. IK4 Research Alliance tiene por objeto la generación, captación y transferencia de conocimiento científico-tecnológico con el fin de contribuir a la mejora de la competitividad de las empresas y el progreso de la sociedad.

IDEKO es parte del grupo DANNOBATGROUP. En DANNOBATGROUP se desarrollan y proveen máquinas herramienta, líneas llave en mano y soluciones para aplicaciones específicas, destinadas a sectores de alta tecnología y a clientes que demandan requisitos técnicos elevados.

La oferta se traduce en máquinas avanzadas que aseguran una alta precisión, fiabilidad y productividad, y están diseñadas para hacer frente a los procesos de mecanizado más exigentes; soluciones avanzadas para la fabricación de componentes de alto valor añadido que se desarrollan en estrecha colaboración con empresas líderes en su sector y dando lugar a soluciones totalmente automatizadas y líneas llave en mano; y servicios avanzados basados en las tecnologías de información y comunicación más modernas.



Ilustración 2.2: Logotipo de DANOBAT

3. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objetivo principal o general de este proyecto es el siguiente:

- Validar el pirómetro estático para el rectificado plano: Se tendrá un programa que simulará el proceso de rectificado y dará una cantidad de valores de temperatura que la pieza cogerá en dicho proceso. Por lo que habrá que comparar los valores medidos con el pirómetro y los valores medidos por el programa de simulación y de esta manera, validar el pirómetro estático.

En cambio, también tendremos unos objetivos secundarios:

- Analizar comportamiento pieza-muela. Después de hacer muchas pruebas de temperatura con distintas pieza-muela, caracterizar que procesos de muela-pieza se han comportado bien referido a rugosidades, reloj comprador (Si ha quitado lo que ha tenido que quitar) y a apartados del punto siguiente.
- Estudio de las propiedades de la pieza después del rectificado (Daño térmico, decoloración, durezas, tensiones residuales, estructura metalográfica).
- Análisis de las fuerzas y potencias puestas en juego en el rectificado. Esto se hará mediante la Kistler, que son unos sensores que calculan las fuerzas generadas en el proceso de rectificado.
- Conclusiones efecto de la temperatura en la pieza y en el proceso del rectificado con distintas piezas y distintas muelas. Con que temperaturas se comporta bien la muela con la pieza, temperatura en las que hace quemar la pieza.

Para terminar el alcance de este proyecto será:

- Obtención de resultados significativos que IDEKO necesite para sus propios procesos.
- Validación del pirómetro estático.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

Al final todo proyecto de investigación los beneficios que aporta es la mejora de procesos. En el caso específico de este proyecto, es conseguir la mejora de los procesos en el rectificado. De esta manera aportar estrategias y soluciones a IDEKO para la mejora de calidad de productos, servicio, productividad y competitividad en el área de mecanizado a nivel mundial. Los beneficios serían los siguientes:

- Obtener un intervalo de temperaturas para una pieza y una muela en específico daña la pieza.
- Caracterizar unos parámetros óptimos para pieza y muela específicas.

5. DESCRIPCION DE REQUERIMIENTOS Y/O ANALISIS DEL ESTADO DEL ARTE

En este apartado se explicará sobre los contenidos teóricos más importantes que se van a utilizar durante el proyecto. Para ello dividiremos este apartado en tres subapartados que serán: rectificado, quemado de pieza y pirómetro.

5.1. Rectificado

5.1.1. Que es el rectificado

El rectificado engloba a una serie de procesos de mecanizado que utilizan partículas abrasivas como medio de corte. Se trata de partículas de extrema dureza que se emplean para modificar la forma o el acabado de una pieza mediante rozamiento. La principal particularidad del rectificado comparándolo con otros procesos de mecanizado radica precisamente en la herramienta utilizada, la muela. Dicha herramienta “raya” o desgasta la superficie de la pieza por lo que las pasadas son de pequeños espesores (estamos hablando de micras).

Las muelas abrasivas están compuestas por dos elementos, granos abrasivos y material de unión. Atendiendo a estos dos parámetros existen una gran variedad de muelas. Una elección adecuada de la misma será indispensable para llevar a cabo el proceso de manera satisfactoria.

El proceso de arranque de material en el caso del rectificado lo llevan a cabo los granos de abrasivo, de tal manera que se puede plantear que cada grano es una herramienta de corte microscópica.

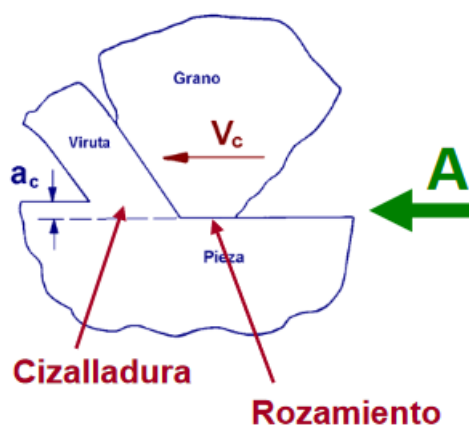


Ilustración 2.3: Arranque de material por abrasión

A diferencia con los procesos de corte, en el rectificado hablamos de espesores de virutas de 0,1-1 micras. El ángulo de desprendimiento es definido por cada grano, que normalmente suele ser muy negativo. En el rectificado la fuerza normal es la mayor de todas y la velocidad de corte suele ser de 30-40 m/s normalmente puede alcanzar

hasta los 100 m/s.

Tenemos que tener en cuenta que en el rectificado la profundidad de pasa efectiva (real) que se alcanza en la pieza no coincide con la programada en la maquina (teórica). Esto es debido a que las grandes fuerzas normales y de rozamiento hacen que se generen deformaciones elásticas de la máquina, efectos térmicos sobre la pieza, muela y máquina y desgaste de la muela.

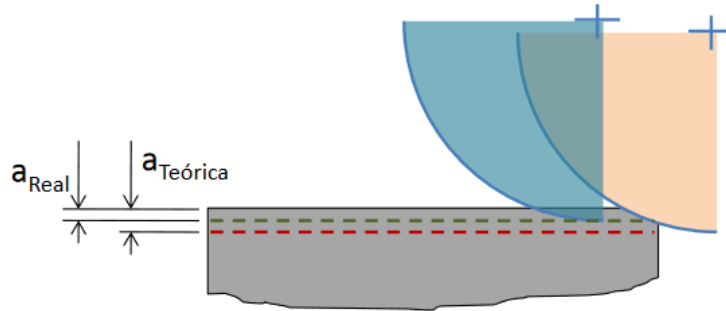


Ilustración 2.4: Profundidad de pasada real vs teórica. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

A medida que las muelas se van desgastando hay que tener en cuenta que algunas muelas se diamantan para volver a afilar la propia muela y para que vuelva a tener una buena capacidad de corte.

Dentro de la rama del rectificado hay distintos tipos. Los tipos del rectificado son el rectificado plano, el rectificado cilíndrico y el rectificado sin centros. Los más utilizados hoy en día son el plano y el cilíndrico. Pero a medida que pasa el tiempo se está empezando a utilizar más el rectificado sin centros.

5.1.2. Tipos de rectificado

5.1.2.1. Rectificado plano

Este es el proceso más difundido, el cual encuentra aplicación en casi todos los ámbitos del rectificado para la generación de superficies planas.

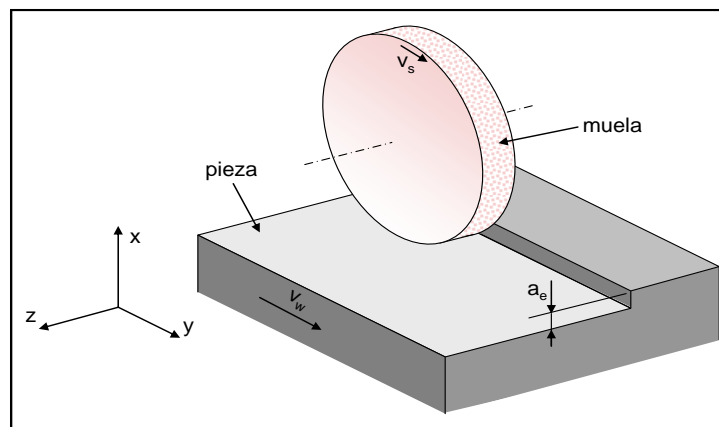


Ilustración 2.5: Rectificado plano. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

5.1.2.2. Rectificado cilíndrico

Es el rectificado de piezas redondas y cilíndricas con el objetivo de lograr la mayor redondez posible en las piezas.

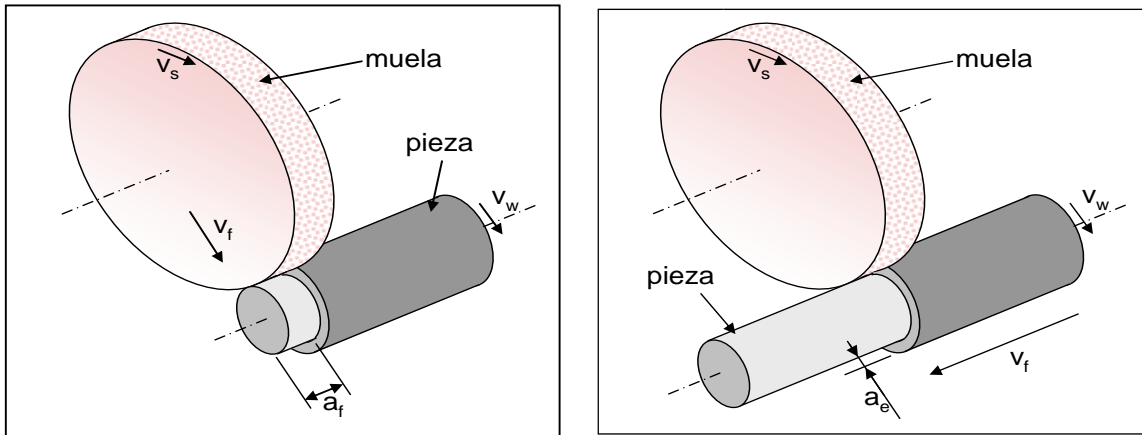


Ilustración 2.6: Rectificado cilíndrico. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

5.1.2.3. Rectificado sin centros

Según Rectyafil, Rectificados sin Centros, explica que:

El rectificado sin centros es una operación de acabado superficial sobre pieza cilíndrica en la que se logran unas condiciones de diámetro y de rugosidad (calidad superficial) excepcionales y todo ello con una buena fiabilidad y a un precio imbatible.

La sencillez conceptual de las máquinas se basa en la forma en la que la pieza queda colocada en la máquina, sin que haya nada que la sujete mientras es procesada, la pieza no está sujeta por ningún dispositivo, está literalmente cazada por dos muelas que mientras giran son presionadas entre ellas, adicionalmente a un tercer apoyo que es una regla planificada muy bien acabada que se sitúa justo debajo. Esta combinación de fuerzas mediante el uso de muelas con diferente composición, da al proceso toda la elasticidad que precisa.

De esta forma la pieza está perfectamente sujeta mientras el acercamiento entre muelas va bajando el diámetro final con resoluciones de milésimas de milímetro.

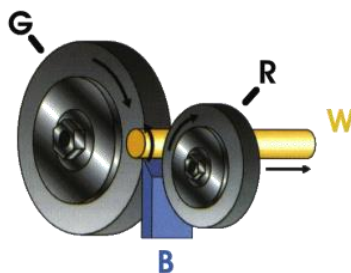


Ilustración 2.7: Rectificado sin centros. Fuente: Rectyafil

5.1.3. Parámetros en el rectificado

Se comentarán los parámetros que se utilizan en los distintos tipos de rectificado excepto en el de sin centros ya que no los utilizaremos.

RECTIFICADO PLANO

ae (mm)	Profundidad de pasada
vw (m/min)	Velocidad de avance
vs (m/s)	Velocidad de corte (muela)

Ilustración 2.8: Parámetros de corte en el rectificado plano

RECTIFICADO CILINDRICO

vf (mm/min)	Velocidad de penetración
vw (m/min)	Velocidad de pieza
vs (m/s)	Velocidad de corte (muela)
af (mm)	Anchura de pasada

Ilustración 2.9: Parámetros de corte en el rectificado cilíndrico

5.2. Quemado de pieza

En este subapartado comentaremos en que se basa el quemado de la pieza y en que fundamentos teóricos hay que hacer hincapié para que esto no ocurra. Para empezar, se comenzará hablando sobre las fuerzas y consideraciones energéticas que hay que tener en cuenta en el rectificado. Después hablaremos sobre el balance energéticos en dichos procesos de rectificado. Para terminar, se explicará detalladamente en que se basa el quemado de la pieza una vez entendidos los demás fundamentos teóricos.

5.2.1. Fuerzas y consideraciones energéticas del proceso

Respecto a las fuerzas y energías que hay que tener en cuenta en los procesos de rectificado, a diferencia de otros tipos de mecanizado, el rectificado se basa en el arranque de viruta mediante un material abrasivo (muela). Mientras que en procesos de fresado y torneado las fuerzas tangenciales son mayores que las normales, en el rectificado la fuerza normal es mayor que la tangencial (ya que “rayamos” o desgastamos la pieza). El rectificado se caracteriza por el gran rozamiento que hay entre muela-pieza y la energía que se genera debido a ello.

Como ya se sabe, en un proceso de rectificado se presentan tres fuerzas: la tangencial, la normal y la radial. La fuerza radial es responsable de la deformación lateral que al ser muy pequeña no se suele tener en cuenta a la hora de hacer los cálculos. La fuerza normal va a influir en la longitud de contacto entre muela-pieza y deformación de la máquina. Así mismo, la fuerza tangencial va a influir en la energía puesta en juego y, de manera, indirecta, en las temperaturas alcanzadas en la pieza. Por lo que, para nuestro

trabajo en especial, tendremos que fijarnos con más atención en la fuerza tangencial.

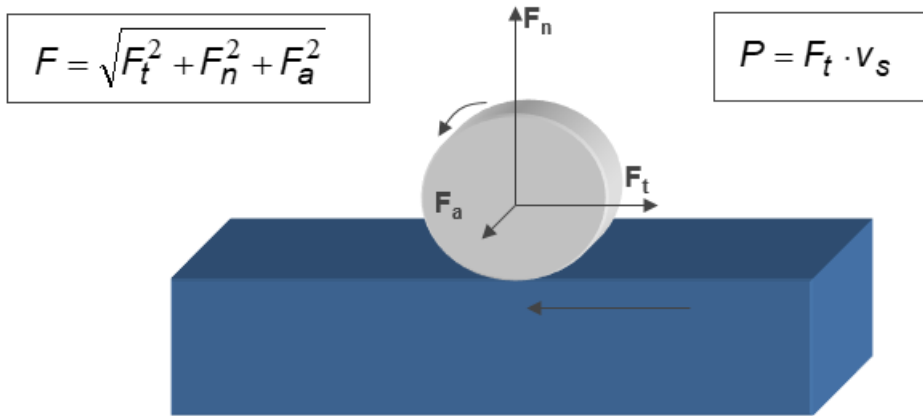


Ilustración 2.10: Fuerzas en el rectificado. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

De acuerdo con la Escuela de Ingeniería de Bilbao: Cabe comentar que cuando las muelas se encuentran recién diamantadas o en buen estado, presentaran unas fuerzas relativamente bajas (junto con un consumo de energía relativamente reducido) y buena calidad de pieza. En cambio, cuando la muela esta desgastada, aparte de generarse fuerzas altas (junto con un consumo de energía elevado), pueden aparecer problemas vibratorios, pérdida de calidad, aparición de daño térmico.

Después de hacer una pequeña introducción a datos necesarios que después los utilizaremos, nos basaremos ahora en datos y teoría necesaria para nuestro proyecto. Un parámetro importante a la hora de definir energéticamente el proceso de rectificado es la energía específica de rectificado. Dicho parámetro es la energía empleada en el arranque de una unidad volumétrica de material.

$$e_c = \frac{P}{Q_w} = \frac{F_t \cdot v_s}{b_s \cdot a_e \cdot v_w} \quad (2.1)$$

Donde Q_w , es el caudal de viruta obtenido y b_s es la anchura de la muela.

Una de las cosas que hay que tener claro para la energía específica es que, a menor arranque de material, mayor energía específica en el rectificado y menor eficiencia presenta el proceso.

Analizando la energía específica de corte a partir de las teorías de Kannapan y Malkin, esta se puede dividir en tres sumandos: formación de viruta, rozamiento o deslizamiento y deformación.

La energía específica de formación de viruta está referida a la energía específica empleada en cizallar el material. Partiendo de esto, la energía de formación de viruta está limitada por la energía de fusión del material rectificado y dependería fundamentalmente del material del que se tratara.

La energía específica de deformación depende fundamentalmente de los parámetros propios del proceso. Según Kannapan y Malkin, dicha energía específica de deformación

es independiente del tamaño de grano de la muela y generalmente su valor es menor a medida que aumentan la velocidad de corte o la profundidad de pasada.

Sobre la energía específica de rozamiento tenemos que tener en cuenta que cuando diamantamos la muela suponemos dicha energía como el valor de cero para simplificar todos los cálculos y debido a su complejidad en los cálculos. Por lo tanto, dicha energía específica de rozamiento se basará en el desgaste que tenga la muela. El valor de esta energía específica nunca es constante y es directamente proporcional al desgaste del grano.

5.2.2. Balance energético del proceso

De acuerdo con la Escuela de Ingeniería de Bilbao: En el rectificado hay que tener en cuenta que las energías puestas en juego son muy grandes, por lo que el problema térmico consiste básicamente en determinar cuanta de esa energía se evacua por toda pieza y en consecuencia cuales son las temperaturas alcanzadas en la misma. Para ello se hace un balance térmico.

La energía puesta en juego por unidad de tiempo se obtiene mediante la recogida de fuerzas y la utilización de la ecuación siguiente. Así mismo, midiendo la potencia consumida por la máquina durante el rectificado y teniendo en cuenta el rendimiento del cabezal es posible obtener dicho valor.

$$q_t = \frac{F_c * v_c}{b_s * l_c} \quad (2.2)$$

La energía se puede evacuar de distintas maneras: por la pieza rectificada (q_w), por la viruta (q_{ch}), por el fluido refrigerante (q_f) y por la propia muela (q_s). por lo que:

$$q_t = q_w + q_{ch} + q_f + q_s \quad (2.3)$$

Si se asignara un porcentaje (en tanto por uno) a cada fracción de energía, donde los parámetros R_i indican el porcentaje de energía en tanto por uno evacuado por cada uno de los caminos de evacuación.

$$q_t = R_w * q_t + R_{ch} * q_t + R_f * q_t + R_s * q_t \quad (2.4)$$

De cara a hacer un análisis térmico riguroso del proceso es preciso conocer todos los sumandos presentes en la ecuación del balance energético del proceso. Debido a su complejidad, la mayoría de autores se centran simplemente en estudiar R_w , que corresponde con la fracción de energía evacuada a través de la pieza.

5.2.3. Dañado térmico en piezas rectificadas

Una vez que hemos hablado de las energías puestas en juego en el rectificado cabe destacar los daños térmicos que suceden habitualmente en los procesos del

rectificado. Como ya se ha explicado en el apartado anterior el proceso de rectificado se caracteriza por presentar una energía específica elevada. Gran parte de esta energía puesta en juego se evacuará a través de la pieza mecanizada. Esto hará que la temperatura de la pieza aumente considerablemente de tal manera que si dicha energía es excesiva esta pueda resultar dañada. Los principales tipos de daño térmico que pueden aparecer son los siguientes:

Decoloración, a altas temperaturas se produce oxidación acelerada del material que produce una decoloración en la superficie del mismo. Evidentemente el color que adquiera dicha superficie dependerá de la temperatura máxima que alcance el material.

Tensiones residuales, el calentamiento y posterior enfriamiento de la pieza durante el rectificado va acompañada de expansiones y contracciones del material. Si estas contracciones y expansiones se dan en la zona de deformación plástica producen tensiones residuales que serán perjudiciales ya que pueden dar lugar a fallos inesperados en la vida útil de la pieza rectificada.

Cambios en la estructura metalúrgica del material, si se producen temperaturas muy altas se pueden dar cambios metalúrgicos en las zonas de la pieza afectadas.

Para evitar en la medida de lo posible el daño térmico de las piezas, se utiliza el fluido de corte que además de refrigerar la zona de rectificado disminuye la fricción del proceso y consecuentemente la energía puesta en juego en el mismo.

El tipo de muela utilizada en el proceso y su estado también condicionan enormemente las temperaturas alcanzadas durante el mismo. Esto es debido a que la muela será otro de los posibles caminos de evacuación de la energía puesta en juego durante el proceso. Por otro lado, el desgaste de la muela es de vital importancia para evitar el quemado de las piezas rectificadas. A medida que la muela se desgasta, el mecanismo de arranque de material predominante será el rozamiento.



Ilustración 2.11: Quemado de pieza en dientes de un engranaje. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

5.3. Pirómetro

En este subapartado se hablará sobre la manera del cálculo de temperaturas que utilizaremos durante este proyecto. Primero es necesario explicar unos fundamentos teóricos como que es la transferencia de calor y la teoría de la luz para entender más o menos como transmite calor una pieza. Después se hará una breve explicación sobre que es un pirómetro y para terminar, se seguirá hablando sobre las partes que contiene el pirómetro que a posterior se utilizara para la medida de temperaturas.

5.3.1. Transferencia de calor

La transferencia de energía siempre se produce del medio que tiene la temperatura más elevada hacia el de temperatura más baja y esa transferencia se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura. Las energías existen en varias formas, por lo que nosotros relacionaremos la energía con el calor debido al proyecto con el que estamos trabajando. Que es la forma de la energía que se puede transferir de un sistema a otro como resultado de la diferencia de temperatura. La ciencia que trata de la determinación de las razones de esa transferencia es la transferencia de calor.

La razón por la cual queremos abordar un estudio detallado acerca de la transferencia de calor es debido a que la termodinámica se interesa en la cantidad de transferencia de calor para cualquier sistema que pase por cualquier proceso (En nuestro caso el proceso será el rectificado), de un estado de equilibrio a otro, y no indica cuanto tiempo transcurrirá.



Ilustración 2.12: Rectificadora convencional. Fuente: Escuela Técnica Superior de Ingeniería

5.3.2. Teoría de la luz

5.3.2.1. Ley de Plank

Para comenzar explicando la teoría de la luz, es necesario hacer una breve explicación sobre la ley de Planck y sobre la radiación que emite un cuerpo. Es importante saber que es una de las teorías con las que empieza el mundo cuántico, en los siglos XIX y XX con

el estudio de la emisión de radiación de cuerpos calientes. El estudio comenzó con la radiación térmica de los cuerpos opacos (aquellos cuerpos que no son transparentes). Cuando la radiación lumínica incide en un cuerpo, parte de dicha radiación la absorbe el cuerpo y la otra parte de la radiación es reflejada. Cuando dicha radiación lumínica provoca el coloreado del cuerpo normalmente el cuerpo refleja la radiación, mientras que en los cuerpos oscuros absorben toda la radiación. La radiación absorbida por un cuerpo incrementa la energía cinética de los átomos que constituyen el cuerpo, los cuales oscilan sobre sus posiciones de equilibrio. Como ya sabemos la translación de los átomos desde su posición de equilibrio, hace que la temperatura del cuerpo incremente. Debido a la teoría electromagnética clásica, los átomos emiten radiación electromagnética la cual reduce la energía cinética de las oscilaciones y tiende a reducir la temperatura. Cuando la tasa de absorción iguala a la de emisión, la temperatura es constante y se dice que el cuerpo está en equilibrio térmico con su ambiente. Un buen absorbente de radiación es también un buen emisor, y a la inversa (Ley de Kirchoff).

La radiación electromagnética emitida bajo estas circunstancias es llamada radiación térmica. La superficie de un cuerpo material mantenido a una temperatura elevada emite luz de todas las frecuencias o longitudes de onda. Por lo tanto, la radiación térmica es la radiación electromagnética emitida por un cuerpo en virtud de su temperatura. Dicha radiación presenta una distribución espectral (la emisión según las distintas frecuencias o longitudes de onda), cuya forma concreta depende de la temperatura establecida.

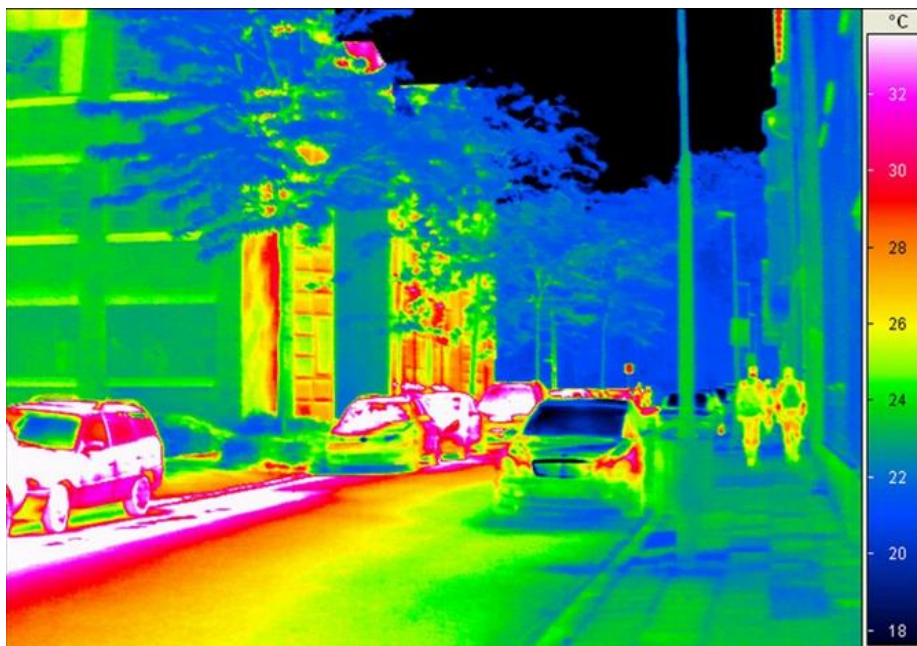


Ilustración 2.13: Radiación infrarroja emitida por una imagen

5.3.2.2. Radiación infrarroja

La razón por la cual no podemos ver estas luces es por la radiación infrarroja. La radiación infrarroja, o radiación IR es un tipo de radiación electromagnética (denominada de manera específica "radiación térmica"), de mayor longitud de onda que

la luz visible, pero menor que la de las microondas. Consecuentemente, tiene menor frecuencia que la luz visible y mayor que las microondas. Su rango de longitudes de onda va desde unos 0,7 hasta los 1000 micrómetros.[1] La radiación infrarroja es emitida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor que 0 Kelvin, es decir, $-273,15$ grados Celsius (cero absoluto).

Una superficie o cuerpo que absorbe toda la radiación que incide sobre ella se llama superficie de cuerpo negro ideal.

5.3.2.3. Calibración del pirómetro mediante horno

Para comprobar dicha radiación de un cuerpo negro (ya que el cuerpo negro es un emisor ideal), se hace una prueba teniendo un recinto cerrado u "horno", construido con un material adecuado y un orificio pequeño en la pared. Se dirigen los instrumentos (en nuestro caso, un pirómetro) hacia el orificio y de esta manera medimos la energía radiante que emerge desde el interior del recinto.

Es importante saber las pautas que se siguen para la calibración del pirómetro ya que en este proyecto será una de las tareas más importantes. Cabe destacar que se trabajará con un pirómetro de dos colores que más adelante aparecerá explicado en detalle. Pero para hacer un breve resumen, un pirómetro de dos colores es un pirómetro que determina la temperatura de un cuerpo por la cantidad de radiación que emite: al aumentar la radiación, también lo hace la temperatura. Mide la radiación en dos colores distintos y calcula la temperatura a partir del cociente de ambas señales.

Por lo que, a la hora de calibrar el pirómetro mediante un horno se utilizara la fibra óptica, que es la encargada de recibir y de enviar las señales de voltaje, en el horno a unos grados centígrados de temperaturas específicas. Comenzaremos la lectura de datos desde los 280°C hasta los 1200°C e iremos aumentando la temperatura de 20 grados en 20 grados. De esta manera, por cada lectura a una temperatura específica obtendremos dos señales, la división de estas dos señales será la relación a una temperatura específica.

5.3.2.4. Emisividad

Como ya hemos dicho, todo objeto emite radiación infrarroja, cuando más caliente este el objeto más radiación. Pero la cantidad de radiación que emite un objeto, y que por tanto llega a nuestra cámara no sólo depende de su temperatura, hay otros elementos que afectan a nuestra termografía, de todas aquellas circunstancias la que más puede equivocarte y la más complicada de conocer es la emisividad o emitancia. Es fundamental tener claro que es una propiedad de la superficie del objeto, igual que hay materiales que conducen bien la electricidad y otros no, hay superficies que emiten radiación térmica mejor que otras. Un ejemplo de cómo conducen la radiación distintos materiales sería la siguiente tabla:

Hierro pulido.....	0,21
Hierro oxidado.....	0,94
Cobre pulido.....	0,02 a 0,05
Cobre a 600 °C.....	0,57
Ladrillo.....	0,93
Hormigón.....	0,92 a 0,97
Agua.....	0,95
Vidrio.....	0,80 a 0,95

Ilustración 2.14: Emisividad de distintos materiales

5.3.3. Que es un pirómetro

Un pirómetro es un instrumento que se utiliza para medir temperaturas a distancia, tienen un rango de temperatura demasiado amplio, que va desde los -40°C hasta los 4000°C. Se emplea sobre todo para medir objetos o sustancias en movimiento, o en lugares donde se requiere una medición sin contacto. En este proyecto se va a trabajar con un pirómetro de dos colores.

5.3.4. Partes del pirómetro

5.3.4.1. Hardware

El hardware completo requiere dos pirómetros, de HAMAMATSU, además de una electrónica de control y un convertidor de alimentación, todo ello incorporado de forma que se integre en las cajas de los dispositivos originales al tiempo que facilite la conexión y uso.

Para ello, los dos adaptadores originales de HAMAMATSU se dividen en dos roles distintos: Maestro y esclavo. De ellos, el esclavo sufre una leve modificación de uso, mientras que el maestro será el que incorpore los elementos extra necesarios para el funcionamiento de ambos.

Estos elementos extra son:

- La medida y comunicaciones
- La alimentación simétrica

Se pueden aprovechar los conectores BNC pre-existentes para el conexionado entre las dos cajas, ya que uno es macho y otro es hembra y se pueden cruzar.

Para la alimentación, se puede hacer del mismo modo. El maestro (que recibirá la alimentación a través del USB) contiene el convertidor DC/DC y alimenta el equipo local (maestro) además de enviar la alimentación a través del conector (en este caso salida) al equipo esclavo.

Una modificación que afecta a ambos equipos es la inclusión de un zócalo para permitir el cambio del sensor. Esta modificación se ha preparado para su uso en un entorno de

pruebas básicas y aprendizaje. Las modificaciones pueden añadir (respecto al montaje original) ruido a la medida.

El cambio de sensor (debido a que se trata de una modificación que se debe adaptar a un equipo existente) no es una tarea compleja, pero debe hacerse con extremo cuidado.

Para poder desmontar el sensor junto con su zócalo es necesario desmontar también el soporte ya que, si no, no tiene espacio para desplazarse completamente sobre el circuito impreso.

Se recomienda emplear para los cambios de forma preferente el equipo esclavo, ya que al tener apenas modificaciones no presenta tantos riesgos de fallo.

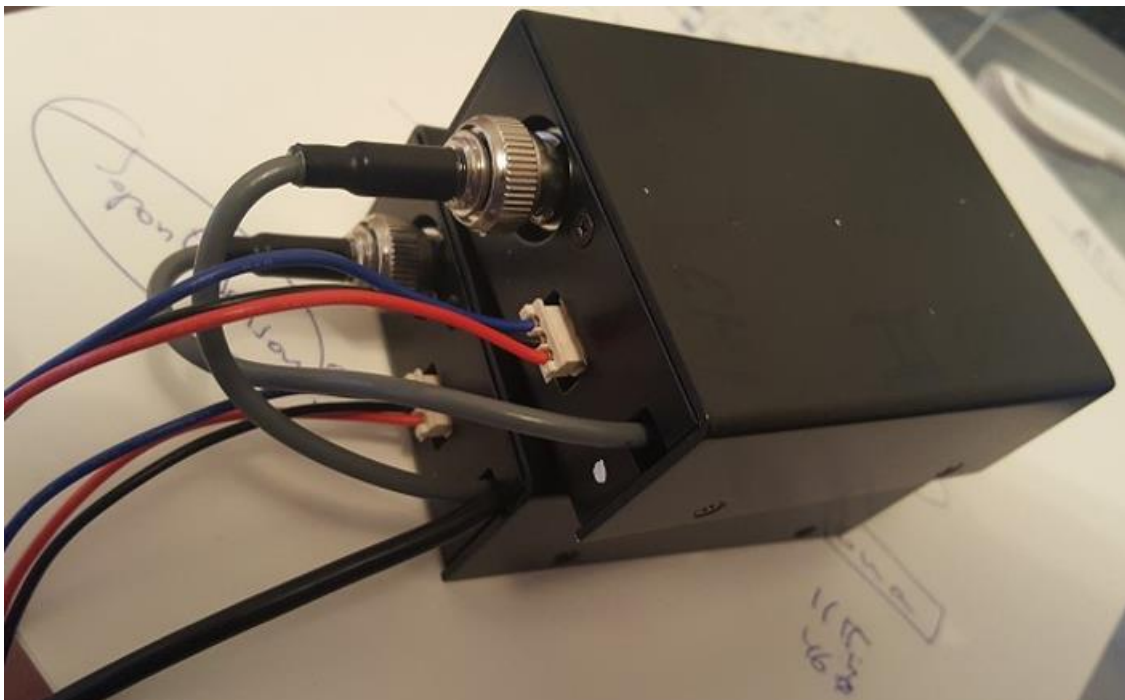


Ilustración 2.15: Maestro y esclavo del pirómetro

5.3.4.2. Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que envía pulsos de luz para representar los datos. Gracias a su reducido tamaño (la medida de la fibra es de 62,5 micras) puede acceder a áreas muy pequeñas. Esta fibra óptica es utilizada para transmitir señales a gran velocidad en las redes de datos.

La fibra óptica deberemos de limar para conseguir que la fibra óptica sea lo más plana posible. Para ello utilizaremos limas de 1 y 3 micras. Su procedimiento será haciendo con la fibra óptica formas de ocho y lo más correcto sería viendo en un microscopio lo plano que esta la fibra óptica.

Tenemos que poner atención a que la taladrina, polvo, manchas... nos afectaran a la

medición de la fibra óptica, por lo que deberemos de limpiar las superficies, y los orificios en los que metamos la fibra óptica cerrarlos para que no entre suciedad.

El pirómetro determina la temperatura de un cuerpo por la cantidad de radiación que emite: al aumentar la radiación, también lo hace la temperatura. Mide la radiación en dos colores distintos y calcula la temperatura a partir del cociente de ambas señales. El sistema está calibrado para que pueda empezar a medir a partir de 300 grados y podría llegar hasta 1.000 grados porque la fibra, que es de sílice, soporta temperaturas muy altas.

Tener en cuenta que estamos con taladrina por lo que la fibra óptica no puede estar en contacto ni con taladrina, ni con líquidos, ni con polvo ya que si no la medida te da mal.

Agujero ciego en la maquina por electro erosión. (Distancia buena para dejar entre cara del agujero y cara de la superficie en un principio es bueno dejar de dos milímetros).

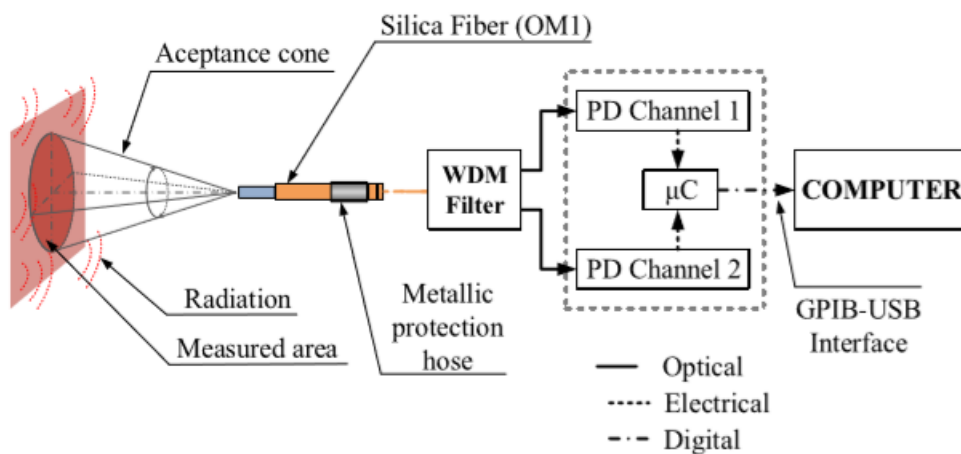


Ilustración 2.16: Funcionamiento de la fibra óptica

6. ANALISIS DE ALTERNATIVAS

6.1. Forma de medir las temperaturas de las piezas

Hoy en día, no hay solo una manera de medir las temperaturas en las piezas en distintos tipos de mecanizado. Por esa razón hay que escoger la estrategia y el instrumento de medida más adecuado para evitar las incertidumbres posibles y la medida que más se adecue a la realidad. Para ello, como estamos hablando de un proceso de rectificado en el cual utilizamos taladrina, se han escogido tres opciones para la forma de medida de temperaturas:

- Pirómetro (A1): Esta explicado en los apartados anteriores.
- Termopares (A2): Un termopar es un sensor para medir la temperatura. Se compone de dos metales diferentes, unidos en un extremo. Cuando la unión de los dos metales se calienta o enfría, se produce una tensión que es proporcional

a la temperatura. Las aleaciones de termopar están comúnmente disponibles como alambre.

- Estado de la pieza a partir del proceso del rectificado (A3): Normalmente los ensayos que se suelen hacer para ver el estado de la pieza una vez rectificada son los ensayos de metalografía. El análisis metalográfico es un estudio de alto valor para la caracterización de los materiales. Este análisis es la ciencia que estudia las características microestructurales de metales o aleaciones, las cuales están relacionadas con las propiedades químicas y mecánicas.

A continuación, se hará una breve comparación entre los distintos tipos de medidas de temperaturas que se han explicado antes. Las puntuaciones serán sobre 3 y el valor de 3 será la mejor puntuación:

	Precisión	Comportamiento con taladrina o polvo	Rango de temperaturas	Total
A1	2	3	3	8
A2	2	2	2	6
A3	2	3	2	7

Ilustración 2.17: Comparación de distintos métodos de medida de temperatura

Por lo que se puede ver que en la suma de puntos total la mejor alternativa nos sale medir la pieza mediante un pirómetro.

6.2. Pirómetro que mide pasada a pasada o mide en continuo más que una pasada

Para empezar con el proyecto se decidió trabajar con un pirómetro que mida solo una pasada en el rectificado, es decir, que el pirómetro coja datos durante un tiempo muy corto (10 segundos máximo). A medida que pasaba el tiempo se decidió que lo mejor era obtener un pirómetro que coja datos durante un tiempo más largo y que se puedan hacer sucesivas pasadas para que la potencia de la maquina en el rectificado se nivelase así de esta manera se obtendrán resultados más apropiados a los de la realidad en el mundo industrial. Por lo que en un principio se iba a trabajar con una tarjeta que tuviese una memoria de 0,46 megas, esto daba para captar datos durante un tiempo de 3 segundos más o menos. Por lo que la modificación del nuevo pirómetro será trabajar con una tarjeta de 60 megas para poder captar una cantidad de datos de mínimo de 300 segundos. Para trabajar con la nueva modificación del pirómetro, se trabajará mediante un cable el cual este alimentando de manera continua el pirómetro y se trabajará en paralelo con un programa llamado teraterm el cual nos ayudará a mandar ordenes distintas al pirómetro.

Por otro lado, el proyecto comenzó con la idea de solo trabajar con un pirómetro de un canal, es decir, con una única fila de agujeros y con una sola fibra óptica. A medida que paso el tiempo, se decidió que la mejor opción era trabajar con dos canales que te estén sacando datos los dos canales de manera independiente. Así de esta manera se podría hacer la comparación de si la medición de los dos canales es correcta o no, o de si los

datos que sacan son parecidos o no tienen nada que ver. De esta manera, obtendremos una fiabilidad mayor.

6.3. Donde realizar los agujeros en la pieza

Para realizar los agujeros en la pieza había dos opciones: Realizar los agujeros mediante toda la pieza, es decir comenzar desde una esquina y terminar en la otra. De esta manera con esta primera opción se pretendía realizar cortes a medida que se iba rectificando y haciendo análisis metalográfico por cada corte. La otra opción era realizar los agujeros en medio de la pieza y no cortar la pieza hasta terminar las pruebas.

Al final se llegó a la conclusión que la mejor opción era realizar los agujeros en medio ya que se iba a perder mucho tiempo y debido a que la máquina de electroerosión por hilo da muchos problemas. Encima se medirá la temperatura en la mitad de la pieza lo que ayudará a que las medidas sean mejores ya que en el medio de la pieza la potencia de la maquina se estabilizará.

7. DESCRIPCION DE LA SOLUCION PROPUESTA. DISEÑO

Para empezar, se comenzará hablando sobre el protocolo de rectificado de la pieza y los pasos previos que tenemos que tener en cuenta.

Como ya hemos dicho anteriormente trabajaremos con un pirómetro que nos mida en continuo, es decir pasada a pasada. Ya que, la mejor manera para que los datos que obtengamos sean los más correctos y los que más se adecuen a la realidad industrial, se trabajara en rectificado continuo.

Respecto al rectificado continuo, nos basamos en rectificar inmediatamente pasada tras pasada sin hacer paradas (paradas para medir con el reloj comparador, rugosidad, quemado de la pieza...). Para ello, hemos tenido que programar la maquina ya que nuestra maquina rectificadora no estaba planificada para la investigación sobre rectificado, por lo que automáticamente siempre te hace pasadas de chispeo. Ya que nuestro objetivo es perder el menos tiempo posible para que la pieza no se enfrié (y debido a esto, se contraiga) y cambie lo menos posible de medidas. De esta manera, conseguiremos que la potencia de la maquina se estabilice lo mejor posible y trabaje la maquina en sus mejores condiciones. Así, en un principio, conseguiremos que los datos obtenidos sean de la mayor confianza posibles.

Respecto a los agujeros ciegos para meter la fibra óptica del pirómetro es importante que los agujeros se hagan con la máquina de electroerosión. Trabajaremos con dos pirómetros para comparar los resultados de temperatura de uno y otro y para que no haya diferencias de temperaturas significativas. Para ello en la pieza deberemos de hacer dos columnas de agujeros ciegos para los dos pirómetros y unas cuantas filas a distintas profundidades para aprovechar la pieza al máximo. El modelo de la pieza aparece explicado después.

Una vez que hemos hecho un pequeño resumen de cómo vamos a seguir el protocolo

respecto de la pieza. Tendremos que explicar cuál es el protocolo que vamos a seguir a la hora de parámetros de corte del rectificado. En la siguiente imagen se puede observar los parámetros que utilizaremos.

Ensayo	Øs [mm]	Q' [mm ³ /(mm.s)]	Vs [m/s]	ae [mm]	Vw [mm/mi]	Agre	Número de pruebas.
W1-C1	315,00	1,00	20,00	0,008	7500,00	31,497	60
W1-C2	315,00	1,00	20,00	0,024	2500,00	18,185	20
W1-C3	315,00	1,00	20,00	0,060	1000,00	11,501	8
W1-C4	315,00	2,00	20,00	0,016	7500,00	44,544	30
W1-C5	315,00	2,00	20,00	0,048	2500,00	25,717	10
W1-C6	315,00	2,00	20,00	0,120	1000,00	16,265	4
W1-C7	315,00	3,00	20,00	0,024	7500,00	54,554	20
W1-C8	315,00	3,00	20,00	0,072	2500,00	31,497	7
W1-C9	315,00	3,00	20,00	0,180	1000,00	19,920	3
W1-C1	315,00	1,00	25,00	0,008	7500,00	25,198	60
W1-C2	315,00	1,00	25,00	0,024	2500,00	14,548	20
W1-C3	315,00	1,00	25,00	0,060	1000,00	9,201	8
W1-C4	315,00	2,00	25,00	0,016	7500,00	35,635	30
W1-C5	315,00	2,00	25,00	0,048	2500,00	20,574	10
W1-C6	315,00	2,00	25,00	0,120	1000,00	13,012	4
W1-C7	315,00	3,00	25,00	0,024	7500,00	43,644	20
W1-C8	315,00	3,00	25,00	0,072	2500,00	25,198	7
W1-C9	315,00	3,00	25,00	0,180	1000,00	15,936	3
W3-C1	315,00	1,00	30,00	0,008	7500,00	20,998	60
W3-C2	315,00	1,00	30,00	0,024	2500,00	12,123	20
W3-C3	315,00	1,00	30,00	0,060	1000,00	7,667	8
W3-C4	315,00	2,00	30,00	0,016	7500,00	29,696	30
W3-C5	315,00	2,00	30,00	0,048	2500,00	17,145	10
W3-C6	315,00	2,00	30,00	0,120	1000,00	10,843	4
W3-C7	315,00	3,00	30,00	0,024	7500,00	36,370	20
W3-C8	315,00	3,00	30,00	0,072	2500,00	20,998	7
W3-C9	315,00	3,00	30,00	0,180	1000,00	13,280	3

Ilustración 2.18: Protocolo de ensayos

Este Excel está dividido en distintas columnas y filas. Las filas significan los distintos protocolos de parámetros de corte que vamos a seguir, como ya se ve son 27 parámetros de corte distintos. Los parámetros de corte que vamos a ir variando en orden de izquierda a derecha son el caudal específico de viruta, velocidad periférica de muela, profundidad de pasada, velocidad de avance y agresividad. Como podemos observar el diámetro de la muela supondremos en un principio siempre constante, aunque esta variara debido al diamantado...

Con este Excel nuestro objetivo será comprobar el comportamiento de muela-pieza con 3 caudales específicos de viruta. En la cual con cada caudal específico de viruta utilizaremos 3 velocidades de muela diferentes. Para terminar con cada caudal específico de viruta y cada velocidad de muela utilizaremos 3 combinaciones de parámetros de profundidad de pasada y velocidad de avance. Por lo que en total serán 27 ensayos. En la última columna aparece el número de pruebas que tendremos que hacer por cada ensayo, por lo que en total haremos 486 pruebas. Estas pruebas son suficientes para ver el comportamiento que tienen muela-pieza respecto a las temperaturas.

Los resultados que tenemos que sacar por cada prueba que hagamos son la temperaturas, fuerzas y potencias. Las temperaturas las mediremos con los pirómetros, las fuerzas con la Kistler y las potencias con el programa hecho por Iñigo Pombo Rodilla

(sw great).

Respecto a la probeta que vamos a utilizar la primera será de GG30 (fundición gris perlítica), haciendo las pruebas de dureza antes de rectificar las caras nos da una dureza de 488 HL = 16,5 HRc. Las características del GG30 son las siguientes:

Características Mecánicas:

- Aspecto: La superficie exterior en la fundición es de color gris
- Peso específico: Fundición gris = 7 a 7.2
- Temperatura de fusión: Varía con la composición promediando: Fundición gris 1200° C
- Contracción: En las fundiciones grises, en las cuales en el momento de la solidificación se segregan las laminillas de grafito (de peso específico - 2) con aumento de volumen de la masa, la contracción final resulta menor (10 por 1000); la contracción varia también según los obstáculos mayores o menores que encuentra la colada en el molde.
- Resistencia a la tracción: La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción, de cerca de 15 Kg/mm², llega a los 30, 40 y 45 Kg/ mm². La resistencia a la comprensión es mayor, y para las fundiciones grises normales resulta cerca de tres veces la de la tracción: por eso, es aconsejable someter las piezas de fundición a esfuerzos de comprensión, más bien que a los de tracción.
- Resistencia a la tracción: La fundición gris tiene una carga de rotura a la tracción, de cerca de 15 Kg/mm², llega a los 30, 40 y 45 Kg/ mm². La resistencia a la comprensión es mayor, y para las fundiciones grises normales resulta cerca de tres veces la de la tracción: por eso, es aconsejable someter las piezas de fundición a esfuerzos de comprensión, más bien que a los de tracción.
- Dureza: La fundición gris tiene una dureza de 140 a 250 Brinell

Composición Química:

	GG-30
C	2.80 a 3.80 %
Si	1.40 a 3.00 %
Mn	0.40 a 0.90 %
P	0.09 a 0.40 %
S	0.04 a 0.10 %

Ilustración 2.19: Composición química del GG30

Al estar trabajando con una rectificadora plana, nuestra probeta (pieza) será plana también, es decir, no trabajaremos con una probeta cilíndrica en un principio. Por lo que trabajaremos con una probeta de 190x20x20.

En dicha probeta, como ya hemos explicado anteriormente haremos distintos agujeros ciegos en escalón. Es decir, las profundidades de dichos agujeros no serán todos iguales, irán en escalón. Para ello hemos hecho un pequeño plano en el que están acotados la

distancias entre agujeros, las profundidades de cada agujero...

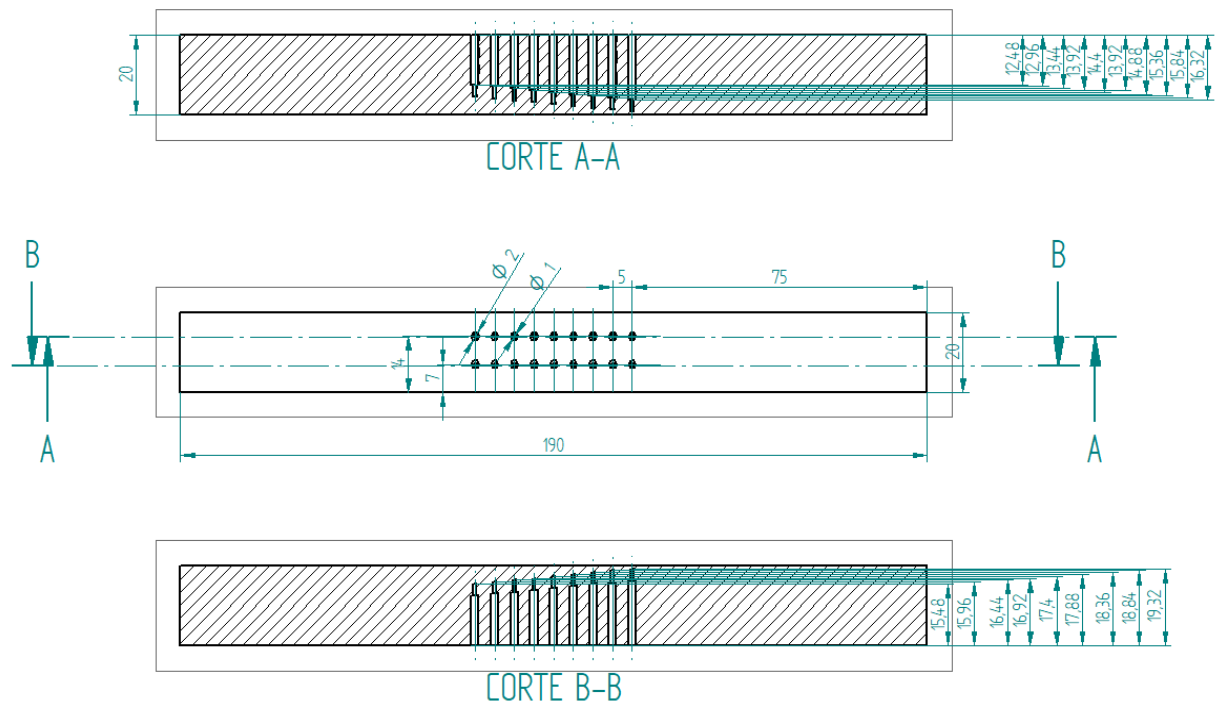


Ilustración 2.20: Plano de la probeta

Como podemos observar los agujeros ciegos están compuestos de agujeros de 1 y 2 mm de diámetro. La razón por la cual hemos decidido hacer de distinto diámetro es debido al tiempo de espera de la máquina de electroerosión por penetración. Por lo que hemos decidido que los últimos 3 mm del agujero sean de 1mm de diámetro.

Otra de las cosas que tenemos que tener claras es que la distancia de la superficie de la pieza a la cabeza de los primeros dos agujeros ciegos es de 0,68 mm. Esta distancia es debido a que nosotros queremos quitar 0,48 mm de profundidad rectificando y dejar 0,2 mm de espacio entre superficie de pieza a cabeza de agujero para evitar accidentes. Una vez llegados al espacio de 0,2 mm entre superficie de pieza y cabeza de agujero quitaremos las fibras ópticas, cortaremos la pieza (mediante la maquina por electroerosión mediante hilo), colocaremos las fibras ópticas en la siguiente fila de agujeros ciegos y volveremos a rectificar otros 0,48 mm de pieza (ya que, a partir del primer agujero ciego, las distancias entre profundidades de los agujeros son de 0,48 mm).

Una de las cosas que debemos tener claro con los resultados obtenidos, es que cuando nosotros hacemos agujeros en la pieza para la fibra óptica, la transmisión de calor en la pieza no va a ser lo mismo por lo que los resultados de la temperatura no van a ser completamente correctos. Para ello utilizaremos el software explicado anteriormente, en la que simularemos la transmisión térmica en la pieza sin agujeros y de ahí se obtendrán los datos necesarios para el comportamiento térmico de la pieza que nos faltarían.

Para terminar, el objetivo de dicho proyecto se basa en los resultados de la temperatura.

Pero al leer las señales del pirómetro, las unidades no son unidades de temperatura si no, unidades de voltaje. Para ello, tendremos que hacer una calibración del pirómetro, para relacionar los valores de voltaje con los valores de temperatura.

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

**DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO**

DOCUMENTO 4- METODOLOGIA DEL TRABAJO

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 4: METODOLOGIA DEL TRABAJO

1. DESCRIPCION DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS	36
1.1. Equipos	36
1.2. Tareas	41
2. DIAGRAMA DE GANTT/CRONOGRAMA	44
3. CALCULOS, ALGORITMOS	45
3.1. SimRect.....	45
4. DESCRIPCION DE LOS RESULTADOS	47
4.1. Resultados de los agujeros ciegos	47
4.2. Resultados de los ensayos experimentales.....	55
4.2.1. Pruebas preliminares	57
4.2.1.1. W2_PP1	58
4.2.1.2. W2_PP2	60
4.2.1.3. W2_PP3	63
4.2.1.4. W2_PP4	65
4.2.2. Protocolo de pruebas modificada.....	66
4.2.2.1. Resultados en P_TEMP_C1	67
4.3. Resultados mediante la simulación térmica GrindSim.....	72
4.3.1. P_TEMP_C1	72
4.4. Resultados de la calibración del pirómetro.....	73

1. DESCRIPCION DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS

1.1. Equipos

- Máquina de electroerosión por hilo (CFAA, E250 y AX3)

Es un proceso de mecanizado mediante el cual se utiliza un hilo de metal para cortar un contorno programado en una pieza. El hilo siempre atraviesa la pieza. Antes de empezar a mecanizar, es necesario realizar un agujero en la pieza. O bien, el mecanizado debería entonces empezar en el borde de la pieza. Desde que el hilo puede ser inclinado, es posible cortar piezas cónicas o de diferentes perfiles desde la superficie hasta el final de la pieza. El hilo se basa generalmente en aleaciones de cobre y diámetros desde 0.02 hasta 0.33mm.



Ilustración 3.1: Máquina de electroerosión por hilo ONA AX3

- Máquina de electroerosión por penetración (CS300)

La electroerosión por penetración es un proceso de erosión térmica en el cual se extrae metal mediante una serie de descargas eléctricas recurrentes entre una herramienta de corte que actúa como electrodo y una pieza conductora, en presencia de un fluido dieléctrico. Esta descarga se produce en un hueco ("gap") de voltaje entre el electrodo y la pieza. El calor de la descarga vaporiza partículas diminutas del material de la pieza y del electrodo, que seguidamente se eliminan del hueco por el dieléctrico que fluye continuamente.



Ilustración 3.2: Máquina de electroerosión por penetración ONA CS300

- Rectificadora plana (DANOBAT DS-630)

La rectificadora es una máquina herramienta, utilizada para realizar mecanizados por abrasión, con mayor precisión dimensional y menores rugosidades que en el mecanizado por arranque de viruta.

Las piezas que se rectifican son principalmente de acero endurecido mediante tratamiento térmico. Para el rectificado se utilizan discos abrasivos robustos, llamados muelas. El rectificado se aplica después de que la pieza se ha sometido a otras máquinas herramientas que le han quitado las impurezas mayores, dejando solamente un pequeño excedente de material para ser eliminado por la rectificadora con precisión. A veces, a una operación de rectificado le siguen otras de pulido y lapeado, como por ejemplo en la fabricación de cristales para lentes.



Ilustración 3.3: Rectificadora plana BLOHM ORBIT 36

- Kistler (Mesa dinamométrica)

El dinamómetro es un instrumento utilizado para medir fuerzas o para calcular el peso de los objetos. El dinamómetro tradicional, inventado por Isaac Newton, basa su funcionamiento en el estiramiento de un resorte que sigue la ley de elasticidad de Hooke en el rango de medición. Al igual que una báscula con muelle elástico, es una balanza de resorte, pero no debe confundirse con una balanza de platillos (instrumento utilizado para comparar masas).



Ilustración 3.4: Kistler junto a la mesa dinamométrica y mordaza

- Calibrador de temperatura (JOFRA CTC-1200 A, AMELTEC)

Los calibradores CTC son calibradores de temperatura concebidos para el calibrado de sensores y contactos de temperatura. Para dicho proyecto, este calibrador de temperaturas será el responsable de relacionar un ratio de voltaje con una temperatura específica.



Ilustración 3.5: Calibrador de temperatura

- Rugosímetro (TAYLOR HOBSON AMETEC)

El rugosímetro sirve para determinar con rapidez la rugosidad en superficies o perforaciones. El rugosímetro muestra la profundidad de la rugosidad media Rz y el valor de rugosidad medio Ra en μm . El rugosímetro facilita la rápida determinación de la superficie de un componente. La realización de la medición de la rugosidad es muy sencilla. El PCE-RT1100 palpa la superficie en pocos segundos y muestra la rugosidad directamente en pantalla en Ra o Rz.



Ilustración 3.5: Rugosímetro

- Reloj comparador

Un reloj comparador o comparador de cuadrante es un instrumento de medición de dimensiones que se utiliza para comparar cotas mediante la medición indirecta del desplazamiento de una punta de contacto esférica cuando el aparato está fijo en un soporte.



Ilustración 3.6: Reloj comparador

- Durometro

El durómetro sirve para la determinación rápida de la dureza de superficies y están disponibles en la tienda. Este durometro es apto, según tipo, para la medición de la dureza de metales, plástico, goma, textiles. El durómetro se utiliza para el control de entrada y salida en la producción. La dureza se indica o bien directamente en Rockwell B, Rockwell C, Vickers HV, Brinell HB, Shore HS, Leeb HL, o bien en unidades de dureza según DIN ISO.



Ilustración 3.7: Durómetro

- SW Great

El SW GREAT es un programa informático de software libre para el estudio de los procesos del rectificado. Para este trabajo solo se utilizará el que mide las potencias en el proceso del rectificado. Pero, además, este programa tiene otras opciones muy útiles para el estudio de los procesos del rectificado como los desgastes de moletas, curvas de energía específica...

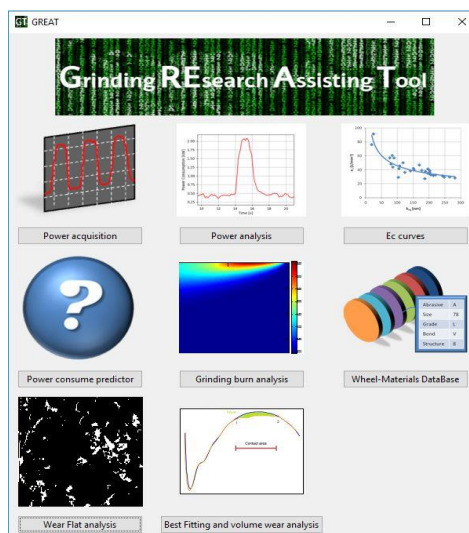


Ilustración 3.8: SW Great

1.2. Tareas

Tarea 1 Formación

El objetivo de dicha tarea es el de formarnos en todos los temas, máquinas y aspectos necesarios para la realización del proyecto.

Tarea 1.1 Rectificado

Para el comienzo de año se empezó con una formación sobre los fundamentos del rectificado. Esta formación se realizó los días 3, 4 y 5 de septiembre de 2018, con un total de 15 horas lectivas en la ESIB.

Tarea 1.2 Búsqueda de información y lectura

La búsqueda de información y lectura se realizó des el 5 de septiembre hasta el 24 de septiembre hasta el 5 de octubre de 2018

Tarea 1.3 Máquinas rectificadoras

Durante el año, se han recibido distintas formaciones sobre dos máquinas rectificadoras: Rectificadora plana y rectificadora cilíndrica. La formación de dichas máquinas se realizó desde el 24 de septiembre hasta el 5 de octubre de 2018, con un total de 50 horas.

Tarea 1.3.1 Máquina rectificadora plana

Para la formación de la rectificadora plana se necesitó desde el 24 de septiembre hasta el 5 de octubre de 2018, con un total de 30 horas.

Tarea 1.3.2 Máquina rectificadora cilíndrica

Para la formación de la rectificadora cilíndrica se necesitó desde el 8 de octubre hasta el 19 de octubre de 2018, con un total de 25 horas.

Tarea 1.4 Máquinas EDM

Durante el año, se han recibido distintas formaciones sobre dos máquinas de electroerosión: Máquina de electroerosión por penetración y máquina de electroerosión por hilo.

Tarea 1.4.1 Máquina de electroerosión por penetración

Esta formación para la máquina de electroerosión por penetración se realizó desde el 22 de octubre hasta el 2 de noviembre de 2018, con un total de 30 horas lectivas en la EIB. Después, se volvió a hacer otra pequeña formación sobre dicha máquina para

profundizar conceptos desde el 3 de diciembre hasta el 14 de diciembre de 2018, con un total de 15 horas lectivas en la EIB.

Tarea 1.4.2 Máquina de electroerosión por hilo

Esta formación para la máquina de electroerosión por hilo se realizó desde el 19 de noviembre hasta el 30 de noviembre de 2018, con un total de 30 horas lectivas en la EIB.

Tarea 2 Compra de material

El objetivo de dicha tarea es la compra de todo tipo de material que se necesita para la realización del proyecto.

Tarea 2.1 Material de pieza

Para la compra de material de pieza se han realizado en distintas fechas. Para comenzar, la primera compra de material de pieza ha sido desde el 5 de noviembre hasta el 9 de noviembre de 2018. La siguiente compra de material de pieza que se ha hecho ha sido desde el 27 de mayo hasta el 31 de mayo de 2019.

Tarea 2.2 Instrumentos

Para la compra de instrumentos se han realizado en distintas fechas. Para comenzar, la primera compra de instrumentos ha sido desde el 29 de octubre hasta el 2 de noviembre de 2018. Otra de las compras de material que se ha realizado ha sido desde el 21 de enero hasta el 15 de febrero de 2019. La siguiente compra que se ha realizado es desde el 22 de abril hasta el 24 de abril de 2019. Para terminar, la última compra de instrumentos que se ha realizado ha sido desde el 6 de mayo hasta el 10 de mayo.

Tarea 3 Preparación de las probetas

El objetivo de dicha tarea es la puesta a punto de todas las probetas para posteriormente poder realizar los ensayos.

Tarea 3.1 Corte de probetas

Para el corte de probetas se ha realizado desde el 12 de noviembre hasta el 16 de noviembre, con un total de 10 horas.

Tarea 3.2 Rectificado de caras paralelas

Para el rectificado de caras paralelas se ha realizado desde el 19 de noviembre hasta el 20 de noviembre, con un total 6 horas lectivas.

Tarea 3.3 Agujeros ciegos

Para la realización de agujeros ciegos se ha necesitado un intervalo de tiempo desde el 4 de marzo hasta el 26 de abril, con un total de 250 horas.

Tarea 4 Ensayos experimentales

El objetivo de dicha tarea es la realización de pruebas finales las cuales se van a tener mucho en cuenta para los resultados obtenidos. Para la realización de los ensayos experimentales se ha necesitado un intervalo de tiempo desde el 10 de junio hasta el 9 de julio, con un total de 32 horas.

Tarea 5 Calibración del pirómetro mediante horno

El objetivo de dicha tarea es conocer la relación entre los resultados de las señales del pirómetro a una temperatura específica. Para la realización de dicha tarea se ha necesitado un intervalo de tiempo desde el 15 de julio hasta el 17 de julio, con un total de 24 horas.

Tarea 6 Análisis de resultados

El objetivo de dicha tarea es el análisis de las pruebas realizadas en la tarea anterior para la comprensión de que ha sucedido y por qué dan esos resultados. Para la realización del análisis de los resultados se ha necesitado un intervalo de tiempo desde el 15 de julio hasta el 18 de julio, con un total de 35 horas.

Tarea 7 Conclusiones y documentación

El objetivo de dicha tarea es búsqueda de conclusiones válidas de los resultados obtenidos y la documentación del proyecto. Para la realización de los ensayos experimentales se ha necesitado un intervalo de tiempo desde el 15 de septiembre hasta el 22 de julio, con un total de 200 horas lectivas

2. DIAGRAMA DE GANTT/CRONOGRAMA

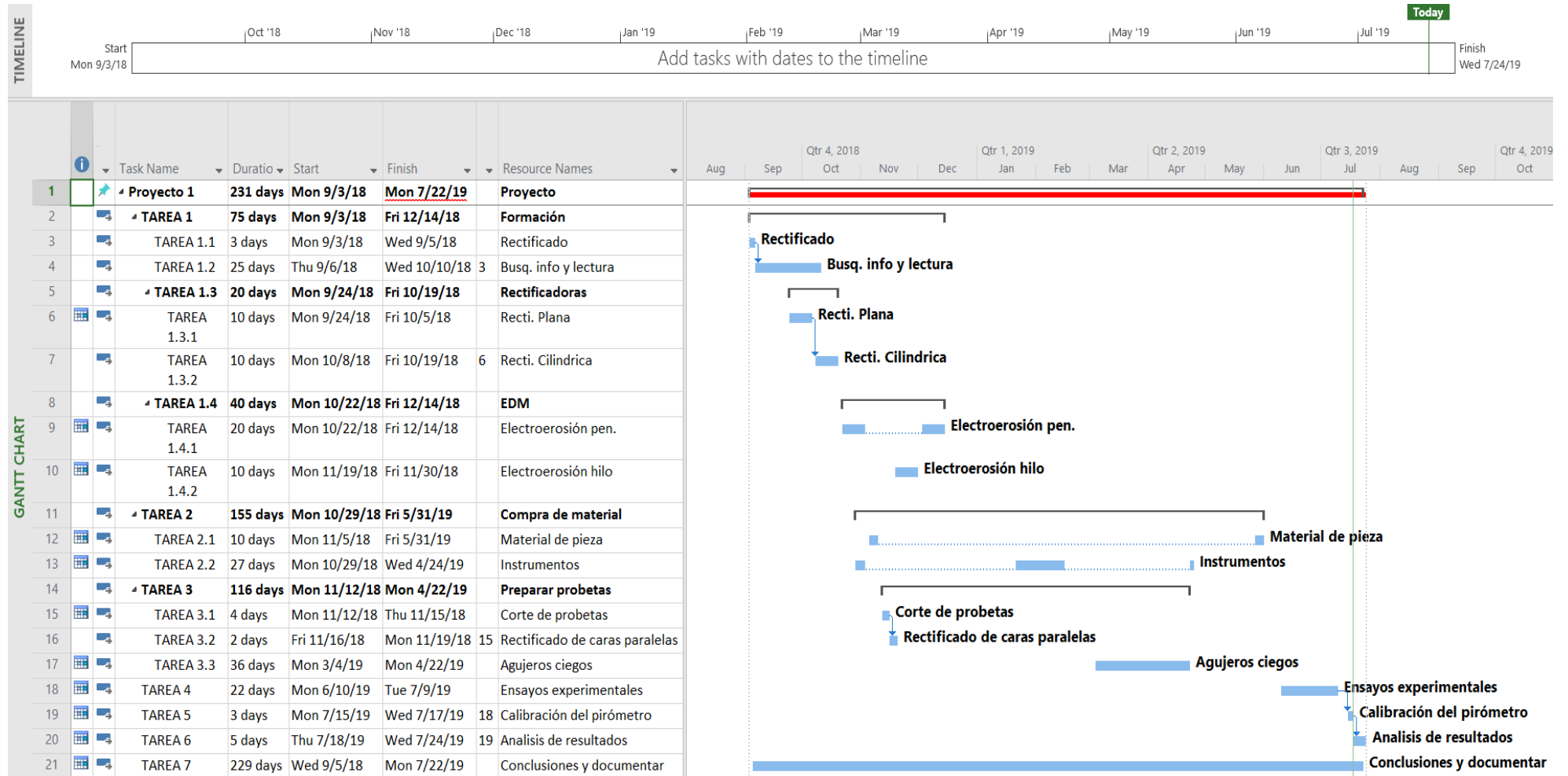


Ilustración 3.9: Cronograma del proyecto

3. CALCULOS, ALGORITMOS

3.1. SimRect

Los cálculos que se ha realizado en este trabajo no han sido muchos. Por ello, en este apartado se introducirán los cálculos que se han realizado mediante la simulación térmica GRINDSIM, que es una simulación de rectificado el cual te calcula las temperaturas teóricas que se llegaran a coger en un proceso de rectificado con unos parámetros de corte y unas constantes específicas.

A continuación, se pondrán pantallazos de dicho simulador para entender más o menos el funcionamiento del programa. De esta manera se entenderá los resultados que da este programa, ya que más tarde se tendrá que comparar con los resultados reales que se han obtenido. Para ello, se introducirá la primera prueba que se realizará en el protocolo de pruebas.

Ensayo	Øs [mm]	Q' [mm ³ /(mm.s)]	Vs [m/s]	ae [mm]	Vw [mm/min]	Agre	Número de pruebas.
W1-C1	315,00	1,00	20,00	0,008	7500,00	31,497	60

Ilustración 3.10: Primera prueba del protocolo de pruebas

La primera pantalla que aparece en el simulador térmico es el siguiente pantallazo. En esa pantalla, se introducen todos los parámetros de corte y los parámetros específicos que pide el programa.

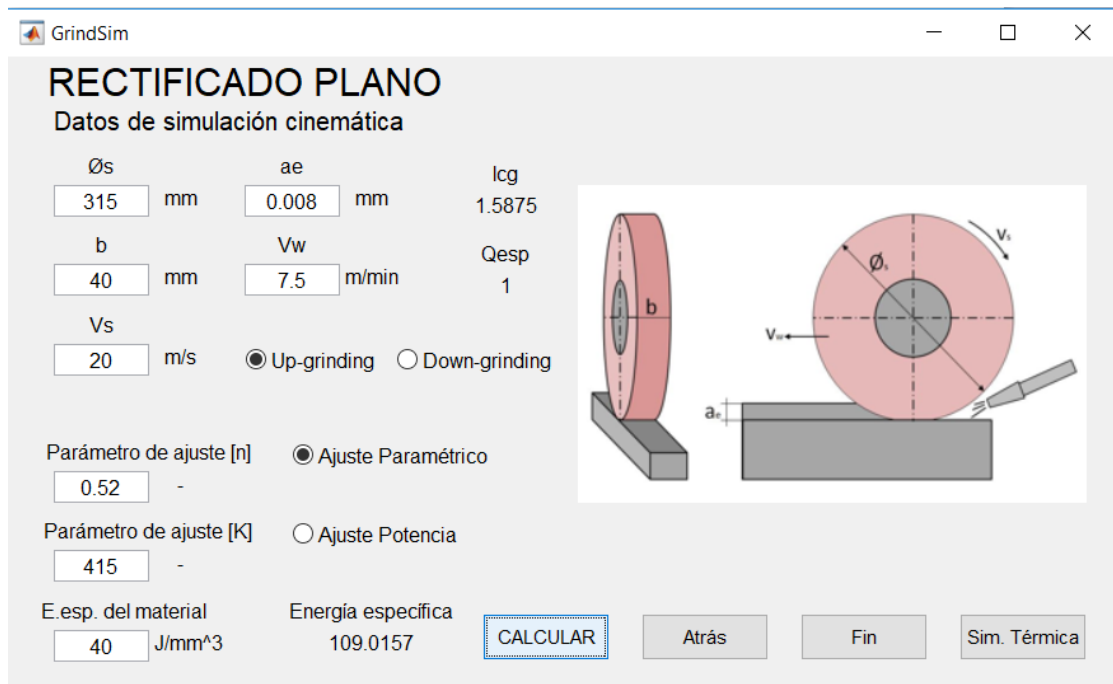


Ilustración 3.11: Parámetros de corte y del material en el simulador térmico

Una vez que se rellenan todos los datos, se le da al botón CALCULAR, te calcula el programa solo la energía específica y se le da al botón Sim. Térmica. A continuación, te aparecerá la siguiente pantalla.

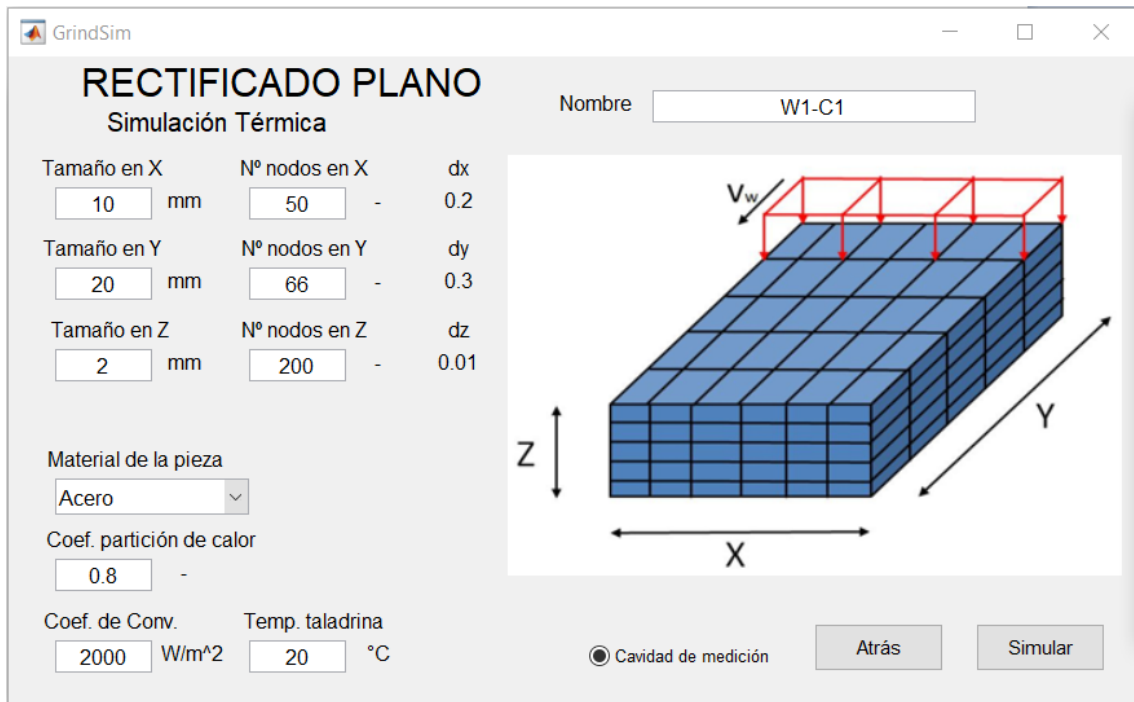


Ilustración 3.12: Numero de nodos de la pieza y nombre

En esta pantalla anterior, piden los números de nodos y otros datos necesarios de la pieza y taladrina. Este número de nodos significa la cantidad de puntos que se tendrán en cuenta para dicho análisis de temperaturas en la pieza. Cuantos más puntos se pongan, más precisos serán los cálculos y los resultados que se obtengan. Esto ya depende de la precisión y la eficiencia que se necesita ya que cuantos más nodos se tengan más tiempo tardara en conseguir los resultados.

Después, abajo a la derecha de la pantalla hay una opción: Cavidad de medición. Esto es un punto muy importante ya que nuestra pieza tiene agujeros realizados para insertar las fibras ópticas y para calcular las temperaturas de la pieza. Ya que la transferencia de calor en la pieza será distinta debido a los agujeros realizados. Por lo que el simulador te da la opción de calcular la transferencia de calor mediante la pieza con agujero o sin agujero. La pantalla que sale una vez pulsado el botón de Cavidad de medición es la siguiente.

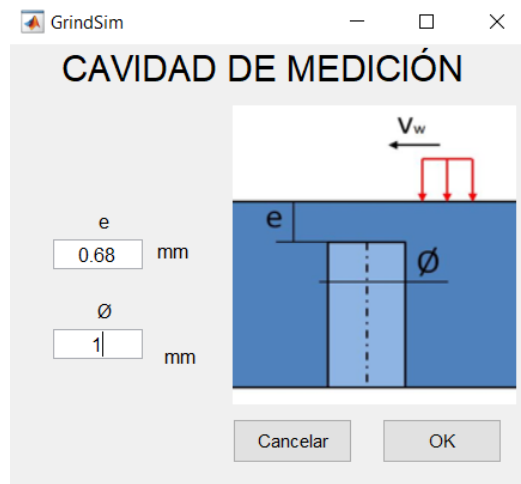


Ilustración 3.13: Diametro del agujero y distancia del fondo del aguj hasta la sup.

En la pantalla de Cavidad de medición se tendrán que rellenar dos datos necesarios. Por un lado, es la distancia entre la superficie de la pieza y el fondo del agujero. Por otro lado, es el diámetro del fondo del agujero. Una vez, rellenado estos dos datos se le dará al botón OK y a Simular.

Estas imágenes adjuntadas hasta aquí, son los pantallazos del programa que hay que rellenar con distintos parámetros. A partir de ahora se adjuntarán imágenes de los resultados que te da dicho simulador. Estos cálculos te los realiza dicho simulador utilizando las formulas de la propia teoría del rectificado.

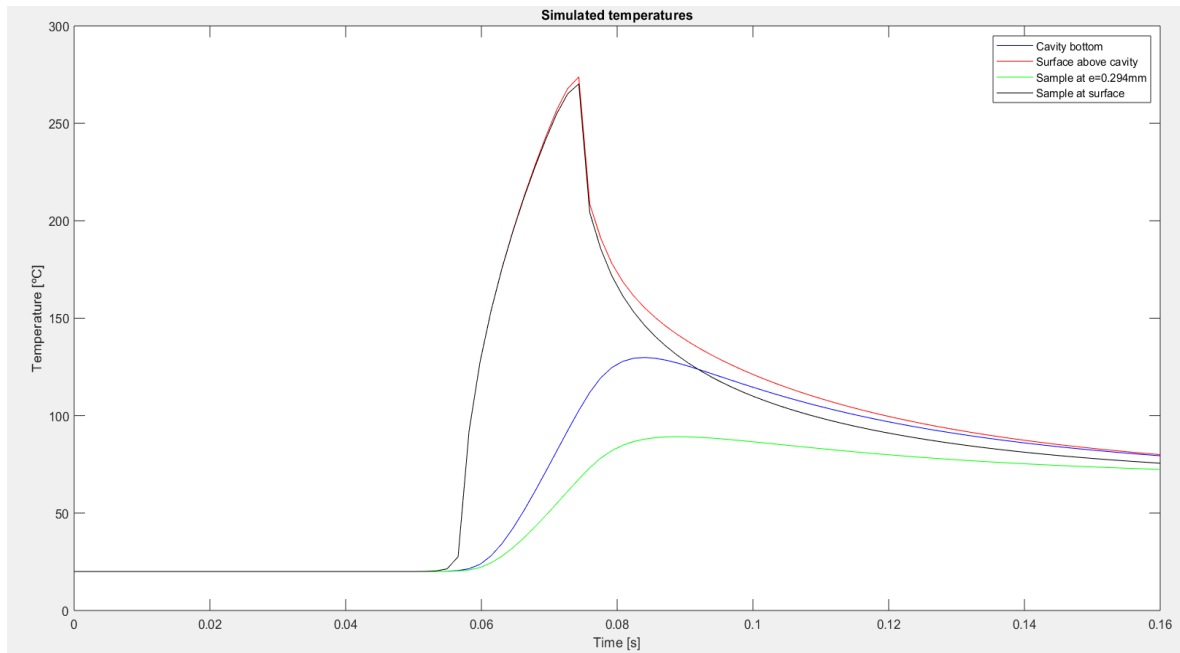


Ilustración 3.14: Tipo de resultado de temperaturas del GrindSim

4. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

4.1. Resultados de los agujeros ciegos

Antes de empezar con los resultados se hará una breve explicación de cómo se realizará la tarea de la realización de los agujeros. Por lo tanto, nos basaremos en el concepto que se ha utilizado para realizar la tarea 3.3 nombrado en el apartado de tareas.

Agujeros ciegos se refieren a todos aquellos agujeros que no son pasantes, es decir, que tienen una profundidad finita. Los agujeros ciegos se realizarán mediante la máquina de electroerosión por penetración. Con esta máquina, como ya se ha explicado anteriormente se conseguirá buena precisión. Los agujeros están explicados en la memoria como se harán, a cuanta profundidad y cuantos se harán. Una vez que se terminen de hacer los agujeros se comprobará a que profundidad están mediante la misma máquina de electroerosión por penetración metiendo un electrodo de diámetro más pequeño que 1 mm. Esta máquina tiene un comando para hacer contacto en el fondo del agujero y de esta manera se conseguirá saber cuál es la profundidad de los agujeros con un más menos 20 micras de error. Una vez que se haya comprobado la

profundidad real de los agujeros se apuntaran para cuando se vaya a hacer el protocolo de pruebas para saber a qué distancia tenemos los agujeros realizados. También es importante saber la planitud de los fondos de los agujeros ya que esto luego va a afectar en los resultados de las medidas de temperatura posterior. Para ello, se cogerá una mina de 0,7mm y se sujetará al portaelectrodos para que pueda entrar hasta el fondo de los agujeros sin problemas. Como el diámetro final del agujero es de 1mm de diámetro no habrá problemas para hacer contacto con el fondo del agujero. Quedará algo así como la siguiente imagen.

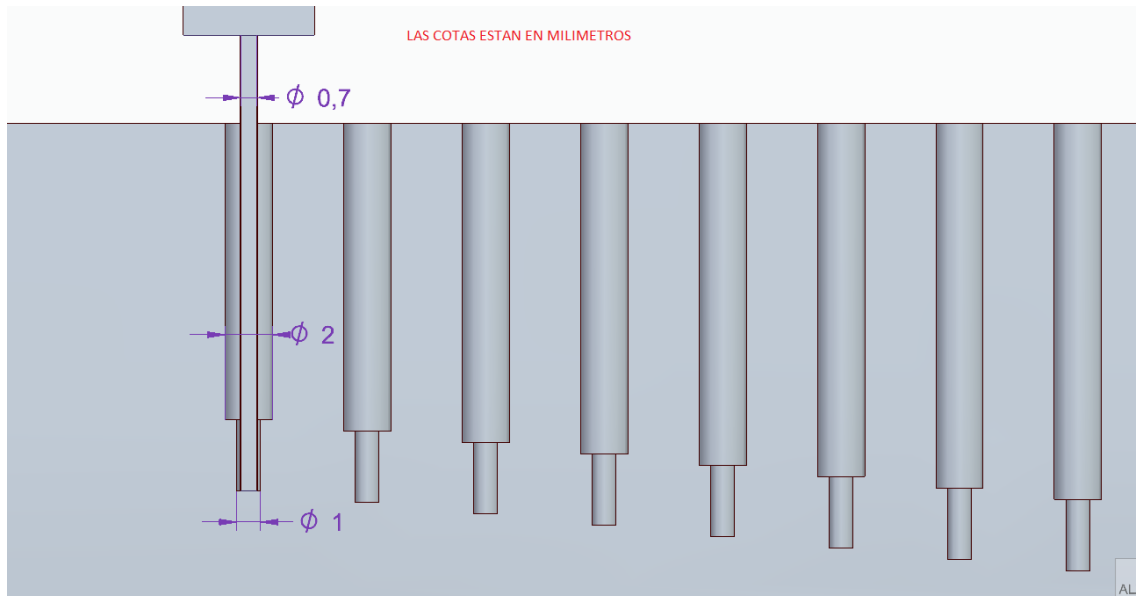


Ilustración 3.15: Plano de la probeta con el electrodo

Con esta mina de 0,7mm se van a poder coger tres puntos distintos de las profundidades de los agujeros, estos resultados ayudaran a saber la planitud de los fondos de los agujeros. Estos tres puntos escogidos serán los siguientes.

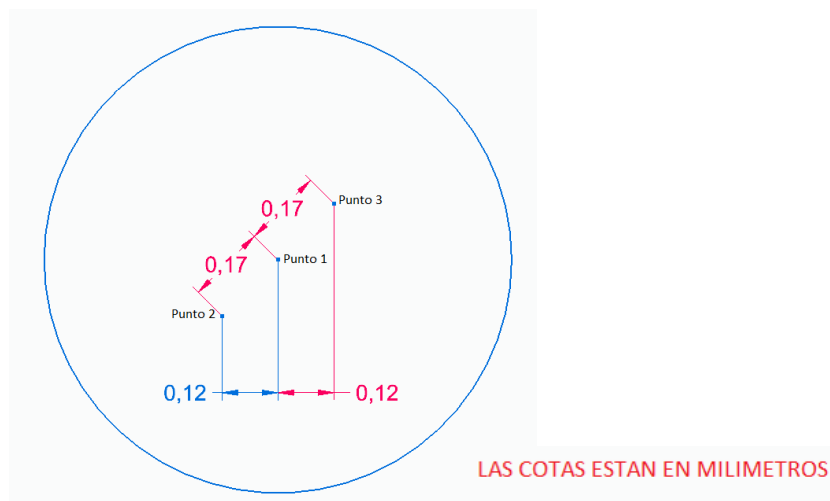


Ilustración 3.16: Puntos escogidos en el fondo de los agujeros

El mínimo de probetas que se necesitan para cumplir el protocolo de las pruebas serán 3, por lo que solo se realizaran en 3 probetas los agujeros ciegos y en caso de que en un futuro se quieran realizar más pruebas se utilizaran.

Para empezar con los resultados obtenidos, se comenzará explicando los resultados obtenidos mediante la máquina de electroerosión por penetración de diámetro 1mm, ya que son los agujeros que de verdad importan. Por una parte, se tiene la profundidad real de los agujeros de la probeta que se obtienen mediante la máquina de electroerosión. Por otra parte, se tienen las profundidades teóricas de los agujeros (Es la altura que deberían de tener los agujeros).

Después como ya se ha explicado se calcularán las profundidades de los agujeros en tres puntos distintos, por lo que aparecerán tres profundidades reales distintas por cada agujero.

A continuación, se añadirán unas tablas en las cuales se escogerán de los tres puntos medidos anteriormente el punto más profundo, el menos profundo y la resta entre ellas. También estarán en las tablas los valores de las restas entre las profundidades reales y teóricas.

Altura probeta 1 = 19,513mm		Profundidad real	Profundidad teórica	prof real-prof teórica	pto max	pto min	pto max-pto min
Aguj 1	Punto 1	18,874	18,833		18,888	18,874	0,014
	Punto 2	18,874					
	Punto 3	18,888					
Aguj 2	Punto 1	18,895	18,833	0,064	18,897	18,885	0,012
	Punto 2	18,885					
	Punto 3	18,897					
Aguj 3	Punto 1	18,424	18,353		18,45	18,424	0,026
	Punto 2	18,45					
	Punto 3	18,424					
Aguj 4	Punto 1	18,413	18,353	0,101	18,467	18,413	0,054
	Punto 2	18,454					
	Punto 3	18,467					
Aguj 5	Punto 1	17,92	17,873		17,93	17,92	0,01
	Punto 2	17,93					
	Punto 3	17,92					
Aguj 6	Punto 1	17,929	17,873	0,068	17,941	17,929	0,012
	Punto 2	17,941					
	Punto 3	17,938					
Aguj 7	Punto 1	17,454	17,393		17,54	17,428	0,112
	Punto 2	17,54					
	Punto 3	17,428					
Aguj 8	Punto 1	17,465	17,393	0,079	17,472	17,464	0,008
	Punto 2	17,472					
	Punto 3	17,464					
Aguj 9	Punto 1	16,999	16,913	0,102	17,015	16,986	0,029
	Punto 2	17,015					

	Punto 3	16,986					
Aguj 10	Punto 1	17,005	16,913		17,015	17,001	0,014
	Punto 2	17,015					
	Punto 3	17,001					
Aguj 11	Punto 1	16,512	16,433		16,52	16,501	0,019
	Punto 2	16,52					
	Punto 3	16,501					
Aguj 12	Punto 1	16,57	16,433	0,158	16,591	16,57	0,021
	Punto 2	16,591					
	Punto 3	16,58					
Aguj 13	Punto 1	16,003	15,953		16,032	16,001	0,031
	Punto 2	16,001					
	Punto 3	16,032					
Aguj 14	Punto 1	16,03	15,953	0,094	16,047	16,03	0,017
	Punto 2	16,047					
	Punto 3	16,04					
Aguj 15	Punto 1	15,611	15,473		15,624	15,607	0,017
	Punto 2	15,624					
	Punto 3	15,607					
Aguj 16	Punto 1	15,644	15,473	0,177	15,65	15,64	0,01
	Punto 2	15,65					
	Punto 3	15,64					
Aguj 17	Punto 1	15,109	14,993		15,118	15,07	0,048
	Punto 2	15,118					
	Punto 3	15,07					
Aguj 18	Punto 1	15,102	14,993	0,125	15,11	15,08	0,03
	Punto 2	15,11					
	Punto 3	15,08					

Ilustración 3.17: Resultados numéricos de las profundidades de los agujeros de la probeta 1

		Altura probeta 2 = 19,643mm					
		Profundidad real	Profundidad teórica	prof real-prof teórica	pto max	pto min	pto max-pto min
Aguj 1	Punto 1	19,036	18,963		19,051	19,036	0,015
	Punto 2	19,051					
	Punto 3	19,041					
Aguj 2	Punto 1	19,075	18,963	0,133	19,096	19,075	0,021
	Punto 2	19,096					
	Punto 3	19,082					
Aguj 3	Punto 1	18,546	18,483		18,546	18,532	0,014
	Punto 2	18,542					
	Punto 3	18,532					
Aguj 4	Punto 1	18,579	18,483	0,099	18,582	18,561	0,021
	Punto 2	18,561					
	Punto 3	18,582					
Aguj 5	Punto 1	18,096	18,003	0,148	18,096	18,08	0,016
	Punto 2	18,08					

	Punto 3	18,082					
Aguj 6	Punto 1	18,151	18,003		18,151	18,13	0,021
	Punto 2	18,136					
	Punto 3	18,13					
Aguj 7	Punto 1	17,64	17,523		17,658	17,64	0,018
	Punto 2	17,656					
	Punto 3	17,658					
Aguj 8	Punto 1	17,666	17,523	0,145	17,67	17,666	0,004
	Punto 2	17,668					
	Punto 3	17,67					
Aguj 9	Punto 1	17,178	17,043		17,215	17,178	0,037
	Punto 2	17,215					
	Punto 3	17,191					
Aguj 10	Punto 1	17,223	17,043	0,18	17,223	17,211	0,012
	Punto 2	17,211					
	Punto 3	17,223					
Aguj 11	Punto 1	16,69	16,563		16,69	16,683	0,007
	Punto 2	16,683					
	Punto 3	16,684					
Aguj 12	Punto 1	16,664	16,563	0,121	16,678	16,663	0,015
	Punto 2	16,663					
	Punto 3	16,678					
Aguj 13	Punto 1	16,17	16,083		16,195	16,17	0,025
	Punto 2	16,18					
	Punto 3	16,195					
Aguj 14	Punto 1	16,14	16,083	0,112	16,18	16,12	0,06
	Punto 2	16,18					
	Punto 3	16,12					
Aguj 15	Punto 1	15,706	15,603		15,713	15,701	0,012
	Punto 2	15,713					
	Punto 3	15,701					
Aguj 16	Punto 1	15,699	15,603	0,11	15,705	15,699	0,006
	Punto 2	15,705					
	Punto 3	15,699					
Aguj 17	Punto 1	15,246	15,123		15,28	15,246	0,034
	Punto 2	15,28					
	Punto 3	15,273					
Aguj 18	Punto 1	15,238	15,123	0,121	15,244	15,238	0,006
	Punto 2	15,244					
	Punto 3	15,244					

Ilustración 3.18: Resultados numéricos de las profundidades de los agujeros de la probeta 2

Altura probeta 3 = 19,676mm		Profundidad real	Profundidad teórica	prof real-prof teórica	pto max	pto min	pto max-pto min
Aguj 1	Punto 1	18,973	18,996	0,026	19,022	18,973	0,049

	Punto 2	18,973					
	Punto 3	19,022					
Aguj 2	Punto 1	19,052					
	Punto 2	19,07					
	Punto 3	19,046	18,996	0,074	19,07	19,046	0,024
Aguj 3	Punto 1	18,598					
	Punto 2	18,661					
	Punto 3	18,598	18,516	0,145	18,661	18,598	0,063
Aguj 4	Punto 1	18,652					
	Punto 2	18,626					
	Punto 3	18,616	18,516	0,136	18,652	18,616	0,036
Aguj 5	Punto 1	18,127					
	Punto 2	18,138					
	Punto 3	18,139	18,036	0,103	18,139	18,127	0,012
Aguj 6	Punto 1	18,099					
	Punto 2	18,107					
	Punto 3	18,081	18,036	0,071	18,107	18,081	0,026
Aguj 7	Punto 1	17,593					
	Punto 2	17,618					
	Punto 3	17,588	17,556	0,062	17,618	17,588	0,03
Aguj 8	Punto 1	17,558					
	Punto 2	17,599					
	Punto 3	17,561	17,556	0,043	17,599	17,558	0,041
Aguj 9	Punto 1	17,11					
	Punto 2	17,137					
	Punto 3	17,103	17,076	0,061	17,137	17,103	0,034
Aguj 10	Punto 1	17,112					
	Punto 2	17,131					
	Punto 3	17,098	17,076	0,055	17,131	17,098	0,033
Aguj 11	Punto 1	16,657					
	Punto 2	16,668					
	Punto 3	16,649	16,596	0,068	16,668	16,649	0,019
Aguj 12	Punto 1	16,658					
	Punto 2	16,664					
	Punto 3	16,64	16,596	0,068	16,664	16,64	0,024
Aguj 13	Punto 1	16,174					
	Punto 2	16,196					
	Punto 3	16,168	16,116	0,08	16,196	16,168	0,028
Aguj 14	Punto 1	16,197					
	Punto 2	16,209					
	Punto 3	16,186	16,116	0,093	16,209	16,186	0,023
Aguj 15	Punto 1	15,565					
	Punto 2	15,561					
	Punto 3	15,556	15,636	-0,08	15,565	15,556	0,009
Aguj 16	Punto 1	15,58					
	Punto 2	15,602	15,636	-0,056	15,602	15,58	0,022

	Punto 3	15,58					
Aguj 17	Punto 1	15,087					
	Punto 2	15,097					
	Punto 3	15,089	15,156	-0,069	15,097	15,087	0,01
Aguj 18	Punto 1	15,101					
	Punto 2	15,096					
	Punto 3	15,09	15,156	-0,066	15,101	15,09	0,011

Ilustración 3.19: Resultados numéricos de las profundidades de los agujeros de la probeta 3

Con estos resultados, se va a conseguir saber cuánto se va a poder rectificar la probeta antes de cambiar las fibras ópticas de filas de agujeros. Encima, con estos datos, se podrá saber si los fondos de los agujeros que se han conseguido son lo más planos posibles o no. Para ello, a continuación, se adjuntarán también unas tablas en las cuales veremos las diferencias mediante gráficas para su mejor comprensión. Para poder ver bien las gráficas solo se pondrán de ejemplo por cada probeta los resultados de 3 o 4 agujeros.

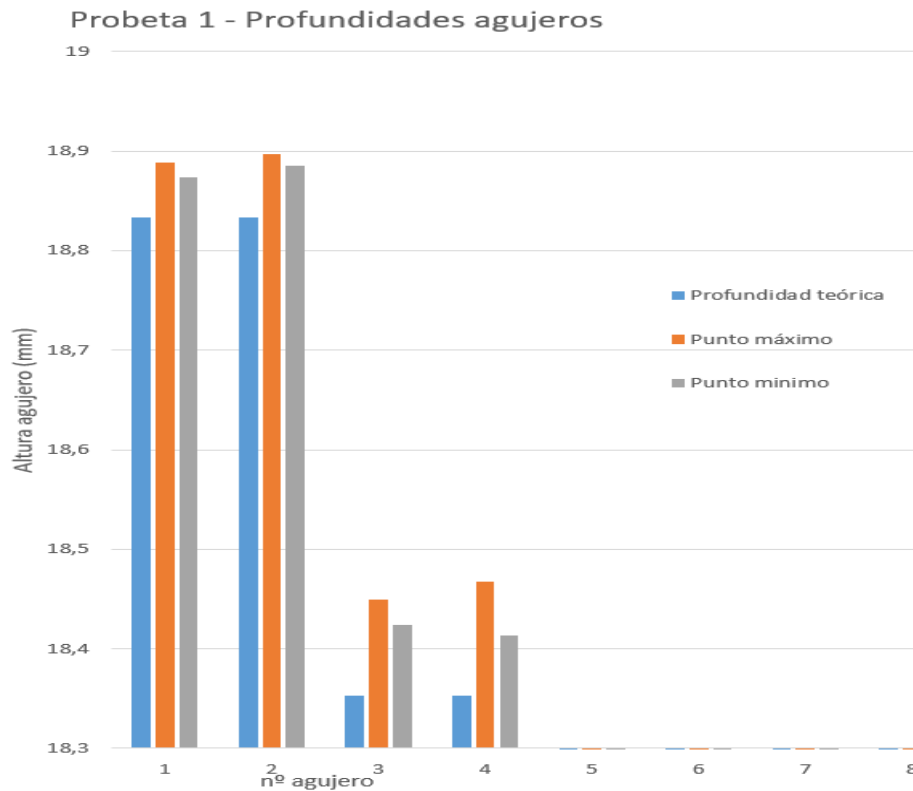


Ilustración 3.20: Profundidad de los agujeros 1-2-3-4 de la probeta 1

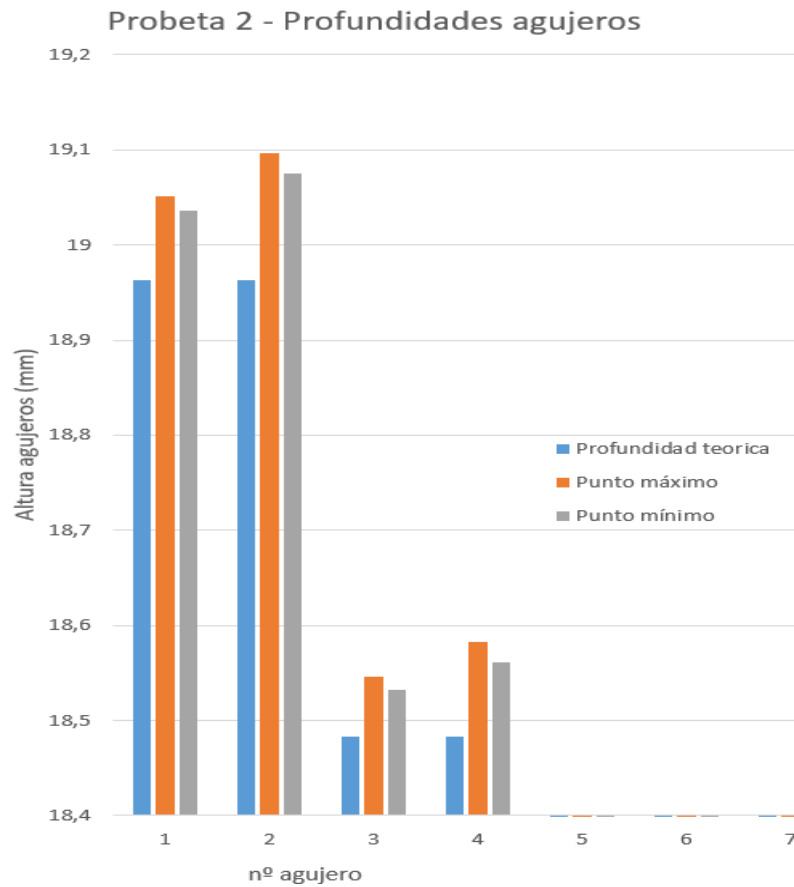


Ilustración 3.21: Profundidad de los agujeros 1-2-3-4 de la probeta 2

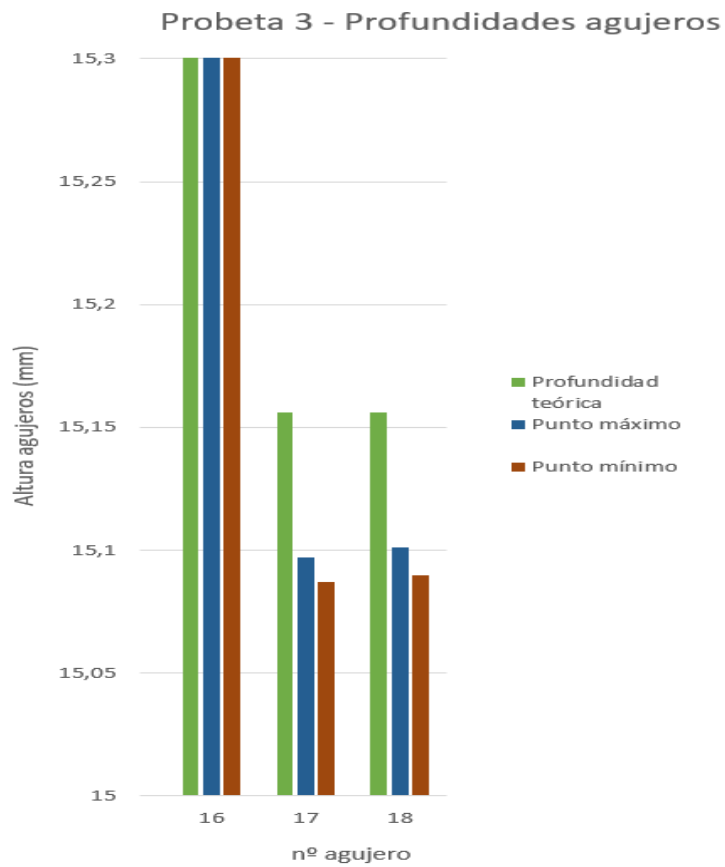


Ilustración 3.22: Profundidades de los agujeros 17 y 18 de la probeta 3

Como se puede observar en los resultados anteriores se ve que las profundidades reales siempre son mayores que las teóricas. Eso es debido a que, al hacer los agujeros ciegos, en todos los resultados casi, se han hecho los agujeros más profundos que la profundidad teórica. A pesar de hacer los agujeros más grandes, no hay problemas, ya que como se ha explicado anteriormente en la probeta hay 200 micras de margen para poder cumplir con todo el protocolo de pruebas y ningún agujero supera las 200 micras de margen.

Otra de las cosas que se puede observar con los resultados de las tablas anteriores, es que la diferencia máxima entre el punto más profundo y el menos profundo son de 60 micras y la media aritmética de la resta del punto más profundo y del menos profundo de todos los agujeros están en las 24 micras. Con esto se podría decir que los fondos de los agujeros son lo suficientemente planos para cumplir con el protocolo de pruebas y para la puesta a punto de la probeta.

Una vez obtenidos los resultados de las profundidades de los agujeros ciegos, se obtendrán los resultados mediante el rectificado de las probetas. Estos resultados se dividirán en fuerzas que da la kistler, potencias que da el SWGREAT, temperaturas que da el pirómetro, la rugosidad de la superficie rectificada que da el rugosímetro y la cantidad de material que hemos quitado mediante el rectificado que da el reloj comparador.

4.2. Resultados de los ensayos experimentales

Antes de empezar con los resultados se hará una breve explicación de cómo se realizarán los ensayos, los procedimientos y las tareas que se van a seguir teniendo un orden. Por lo tanto, se basará en el concepto que se ha utilizado para realizar la tarea 4 nombrado en el apartado de tareas.

Para la realización de los ensayos se han hecho varias modificaciones. Se ha comenzado realizando el protocolo de pruebas descrito desde un principio. Al realizar dichas pruebas se ha observado que las temperaturas generadas en dichos procesos no eran lo suficientemente altas como para que el pirómetro lo leyese. Por lo que se decidió modificar dicho protocolo de pruebas con un protocolo de pruebas más agresivo. Para ello, se realizaron unas pruebas preliminares para ver que el pirómetro funcionaba correctamente y después se comenzó con el protocolo de pruebas modificado.

Para empezar, se preparará la mesa de ensayos de la rectificadora. Para ello, se comenzará imantando la mesa dinamométrica, la cual en las pruebas te medirá las fuerzas que se realizan en el rectificado. Encima de la mesa dinamométrica a través de unos tornillos especiales amarraremos una mordaza la cual llevara colocada la probeta. Es importante que la mordaza agarre la probeta y que este recto respecto a la maquina planeadora y que no esté curvada. De esta manera la mesa de ensayos quedara preparada para el protocolo de pruebas.

Después, es importante preparar todo lo que no tenga que ver directamente con la mesa

de ensayos. Por primera parte, hay que preparar el programa que te mide la potencia utilizada por la máquina, es decir, el SW GREAT. Por otra parte, también hay que encender la kistler. Para terminar, hay que tener a mano el rugosímetro y el reloj comparador para cuando se vaya a necesitar.

Para terminar, también se explicará cómo se analizarán dichos resultados de los ensayos que se van a realizar. Por lo tanto, se basará en el concepto que se ha utilizado para realizar la tarea 5 nombrado en el apartado de tareas.

Para el análisis de los resultados de las pruebas realizadas se dividirán en los distintos resultados que nos den las pruebas.

Por una parte, dentro de los resultados de las pruebas, están los resultados de las fuerzas que se realizan en el proceso del rectificado. Estos resultados se consiguen mediante la kistler y la mesa dinamométrica. El tipo de datos que se reciben son las siguientes Los datos rosas son la fuerza normal y la roja la tangencial.

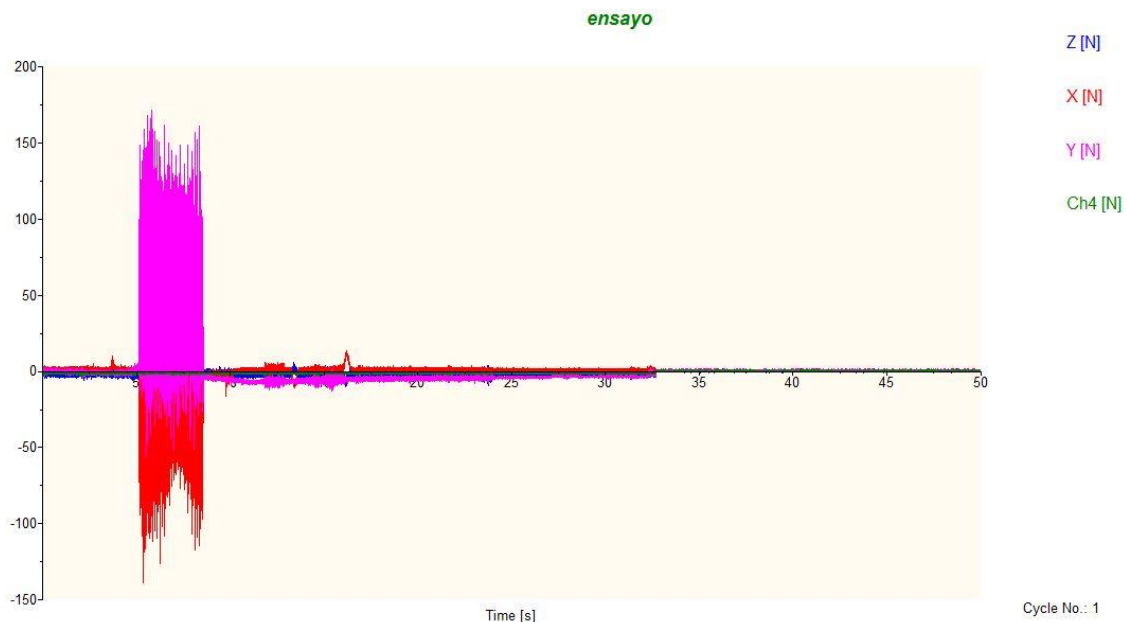


Ilustración 3.23: Grafica de la Fn y Ft recibida en el proceso de rectificado

Por otra parte, tenemos los resultados que nos da el pirómetro, es decir, que son las temperaturas que reciben las fibras ópticas en voltaje. Por lo que el pirómetro nos devolverá un .txt con muchos datos del voltaje recibido por la fibra óptica como la de la siguiente imagen:

26_7_18_A3_P22: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
746;	697;	850;	721	
753;	721;	746;	681	
795;	779;	792;	630	
776;	719;	786;	673	
915;	721;	820;	690	
828;	673;	769;	680	
843;	730;	802;	778	
810;	689;	779;	738	
803;	624;	737;	721	
794;	689;	802;	697	

Ilustración 3.24: Bloc de notas recibida por el pirómetro en el proceso de rectificado

Con estos datos en un .txt, se pasarán a un programa informático que se ha creado en MATLAB. Este programa se basará en coger los datos que estén dentro de un intervalo que convenga y en quitar todos los datos que sean ruido. De esta manera, dicho programa nos pasara los datos de voltaje a datos de temperatura. Por lo que la función del programa de lectura de temperaturas realizada por MATLAB nos dará la siguiente gráfica:

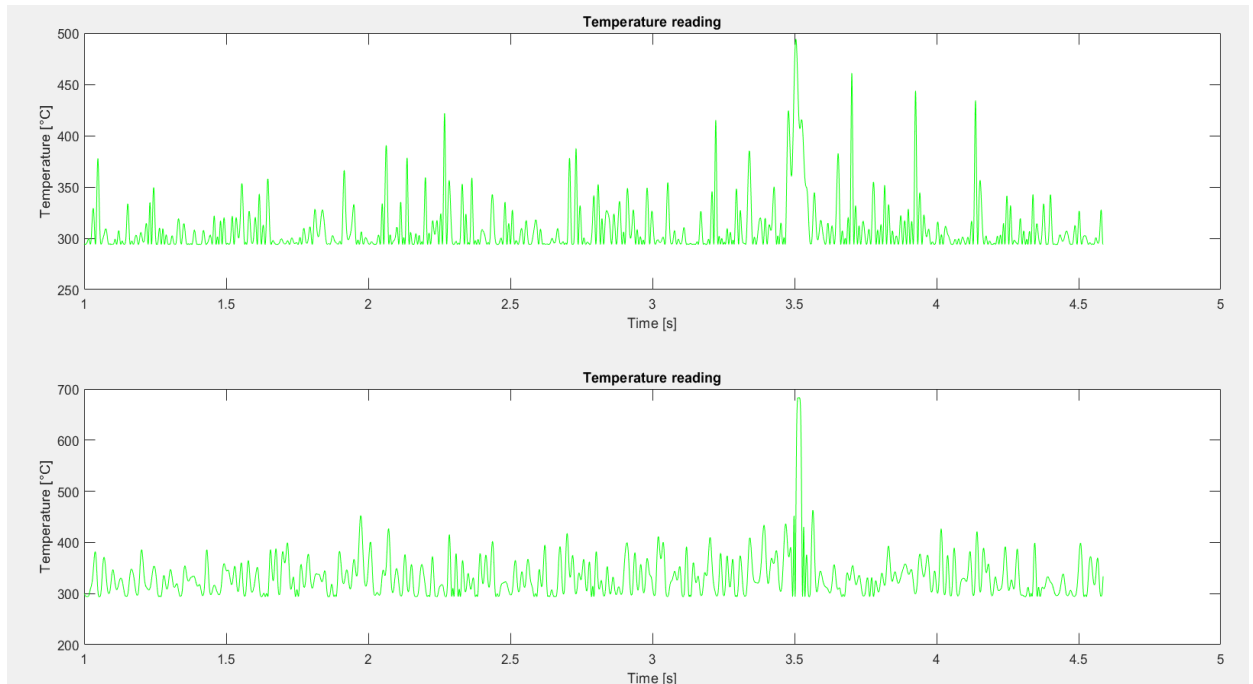


Ilustración 3.25: Grafica de temperaturas respecto al tiempo en el proceso de rectificad

Después, se obtendrán los resultados de la cantidad de material que se ha quitado por cada prueba mediante el reloj comparador. Esto se calculará midiendo primero la altura de la pieza sin hacer la prueba y después de hacer la prueba y la resta entre ellas será la cantidad de material que se ha quitado.

4.2.1. Pruebas preliminares

Como ya se ha explicado anteriormente para la realización de pruebas se tuvieron problemas con las temperaturas, ya que con condiciones de corte normales las temperaturas generadas no eran lo suficientemente altas como para que el pirómetro lo leyese. Por lo que, al principio, se decidió hacer unas pruebas con condiciones de corte agresivas para ver que el pirómetro funcionaba correctamente y el pirómetro leía temperaturas mayores a las mínimas. Para ello, se iba a probar hacer pruebas con velocidades de avance pequeñas y profundidades de pasadas altas, y en caso de que fuese necesario refrigerar mal la muela o hasta no utilizar refrigeración. Las pruebas y las condiciones de corte que se utilizaron en este tipo de pruebas fueron las siguientes:

Ensayo	ϕ_s [mm]	Q' [mm ³ /(mm.s)]	V_s [m/s]	a_e [mm]	V_w [mm/min]	Agre	Número de pruebas.
W2_PP1	315,00	0,50	20,00	0,030	1000,00	8,133	12
W2_PP2	315,00	1,00	30,00	0,080	750,00	6,640	6
W2_PP3	315,00	1,00	30,00	0,080	750,00	6,640	5
W2_PP4	315,00	6,00	30,00	0,090	4000,00	37,562	3

Ilustración 3.26: Pruebas preliminares

4.2.1.1. W2_PP1

Para la realización de esta prueba se ha realizado la primera mitad del número de las pasadas sin taladrina y la otra mitad final con refrigeración dirigida hacia la pieza con un caudal de 30 litros por minuto de taladrina. En el momento en el que se ha quitado la taladrina es el momento en el que se han medido temperaturas. El problema que se ha tenido es que, al quitar la fibra óptica de la pieza, la fibra óptica estaba rota, por lo que no se sabe si el pirómetro ha dejado de medir temperaturas por la taladrina o por la rotura de la fibra. Por lo que se seguirá realizando pruebas para el análisis de dichos resultados. La potencia se ha medido mal por razones de configuraciones informáticas. Los resultados de las temperaturas y de las fuerzas han sido las siguientes las siguientes:

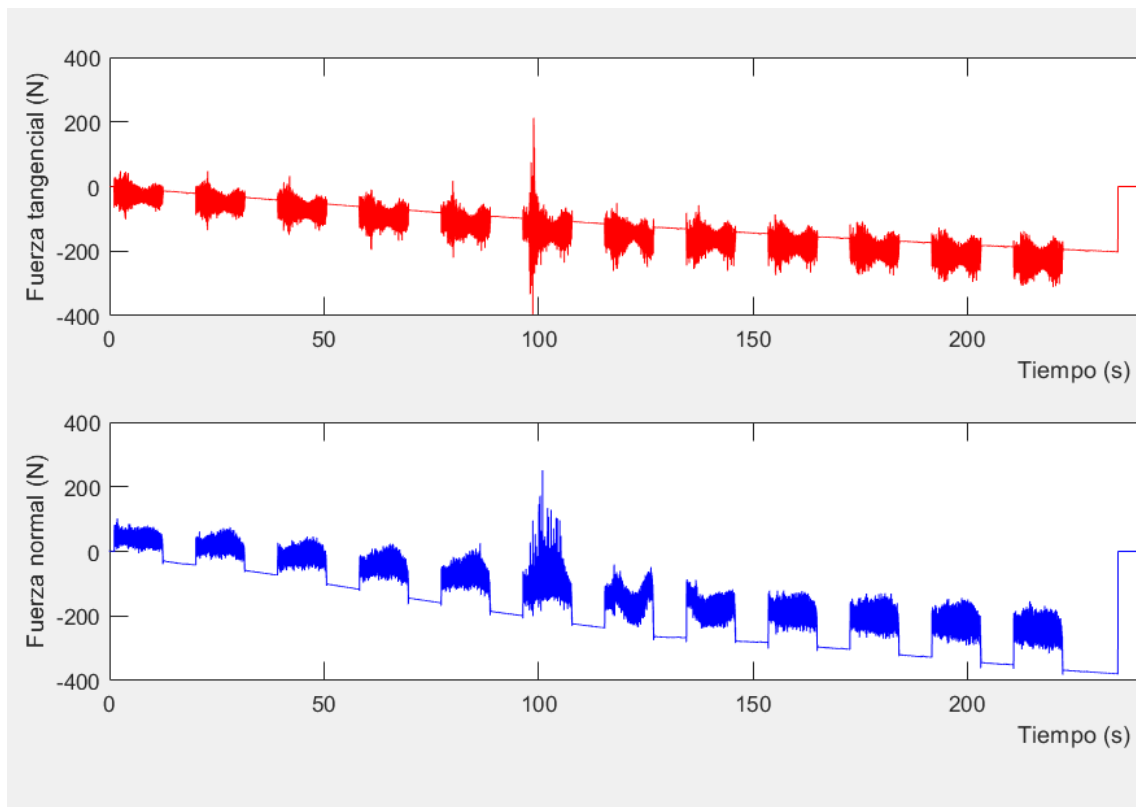


Ilustración 3.27: Resultado de fuerzas en W2_PP1

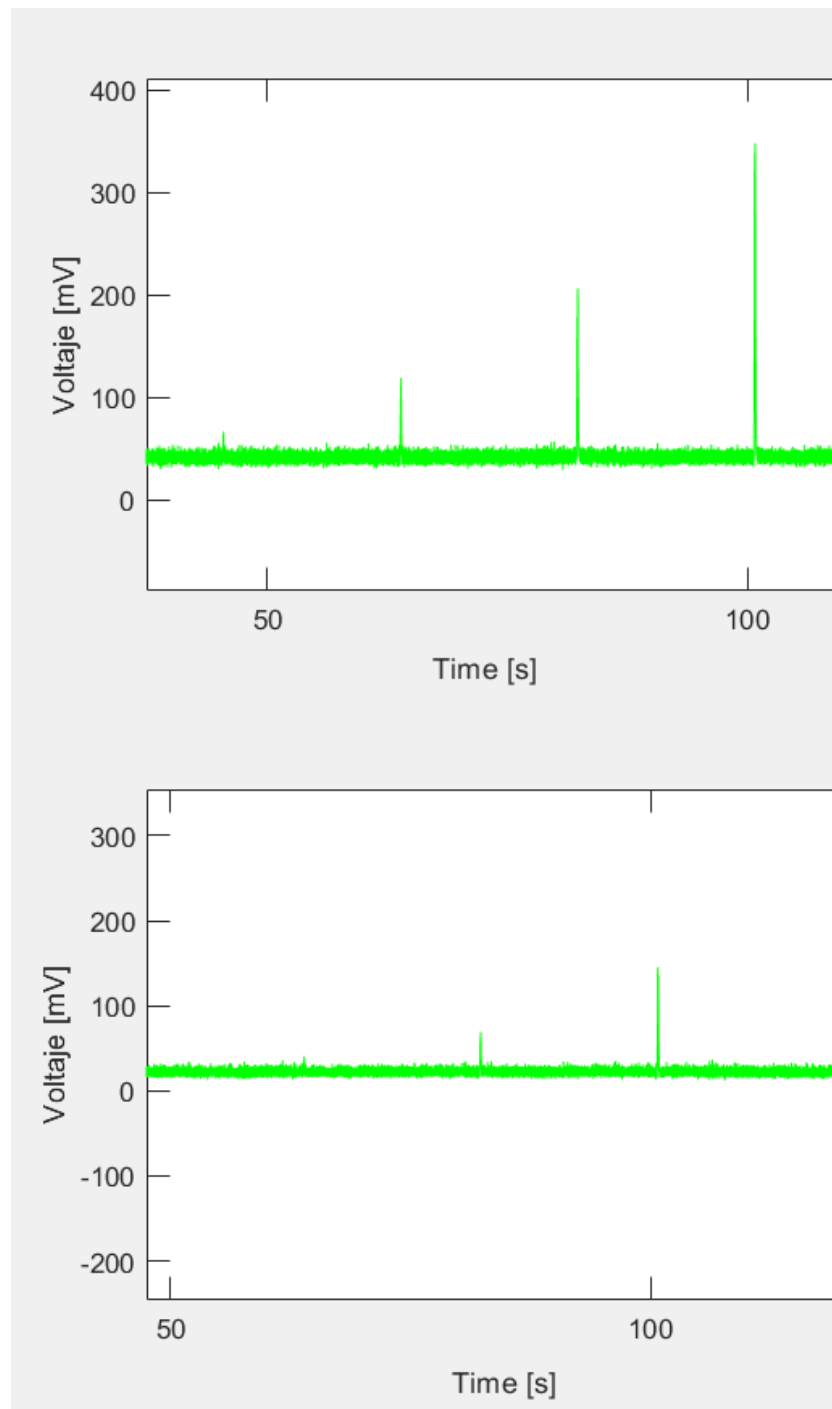


Ilustración 3.28: Resultado de voltaje en W2_PP1

4.2.1.2. W2_PP2

En la siguiente prueba, para aclarar las cuestiones que se tenían de la anterior prueba se ha realizado con refrigeración dirigida a la pieza. Las condiciones de corte que se han utilizado son con avance pequeño y profundidades de pasada altas. Los resultados de temperaturas, fuerzas y potencias que se han obtenido son las siguientes:

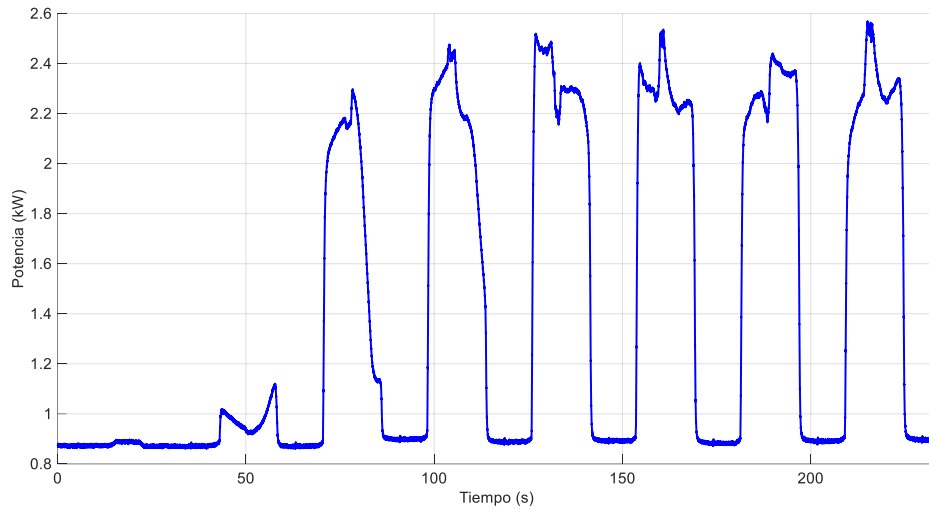


Ilustración 3.29: Resultado de potencias en W2_PP2

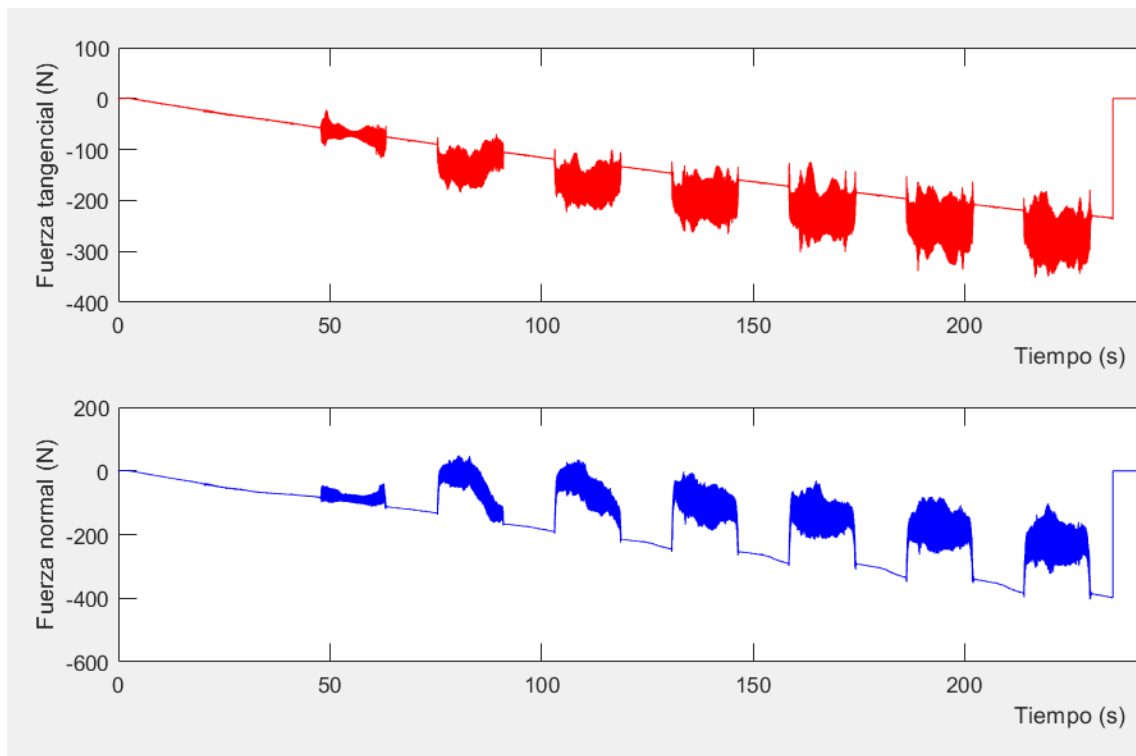


Ilustración 3.30: Resultado de fuerzas en W2_PP2

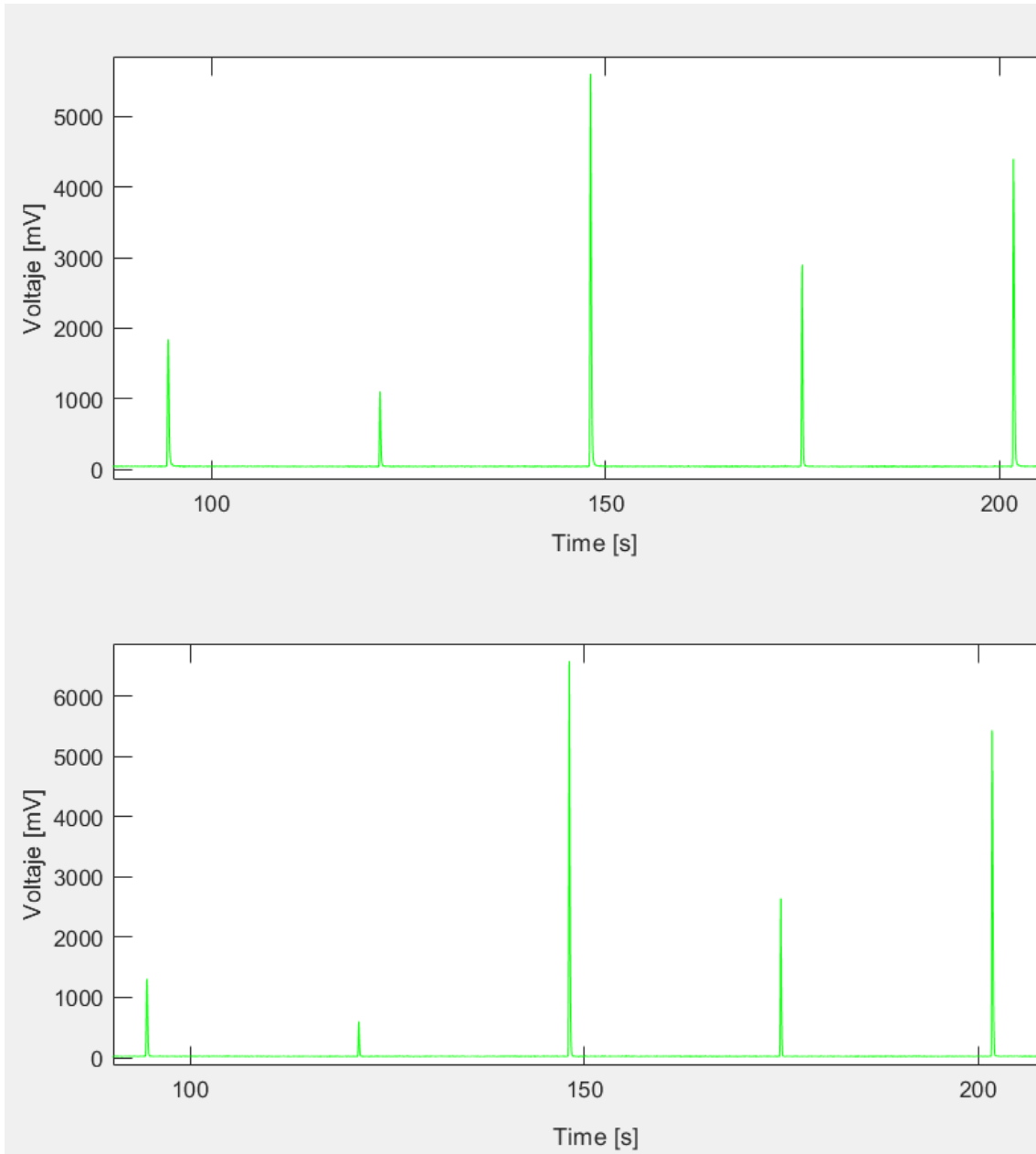


Ilustración 3.31: Resultado de voltaje en W2_PP2

En la gráfica del voltaje se pueden observar detalles que son muy importantes. A primera vista parece que a medida que vamos haciendo pasadas la temperatura aumenta y disminuye y que no tiene sentido. Pero no es así, hay que fijarse en el eje del voltaje y en los valores que dan ya que no tienen la misma escala. Para verlo mejor vamos a escoger el primer pico y el tercer pico.

En el primer pico se puede observar que el valor del voltaje en el primer canal (CH1) es de 1900 milivoltios aproximadamente. En cambio, en el segundo canal, el valor máximo de voltaje del primer pico es de 1200 milivoltios mas o menos. Haciendo la división de estos dos valores nos da un ratio de voltaje de 1,58.

En el tercer pico, el valor del voltaje máximo del primer canal nos da 5100 milivoltios. En cambio, en el segundo canal nos da un valor de 6200 milivoltios. Calculando el ratio del

voltaje nos da un valor de 0,823.

Como podemos observar de los valores anteriores es que a medida que estamos más cerca de la superficie del agujero y con las mismas condiciones de corte, el ratio va disminuyendo. Esto quiere decir que si el ratio de voltaje va disminuyendo es que la temperatura va aumentando. Por lo que los resultados son correctos y con sentido.

4.2.1.3. W2_PP3

La intención de esta prueba era ir mejorando poco a poco la refrigeración para ver si se seguía midiendo señal de temperatura. Para ello, se dirigió la refrigeración hacia la muela, pero igualmente mal dirigida. Además, se le insertaron dos tubos de refrigeración, para que el caudal que fuese hacía la muela fuera la mitad. Por lo que, se iba a estar trabajando con un caudal de 15 L/min. Se hicieron 5 pasadas y estuvo a punto de destaparse el agujero.

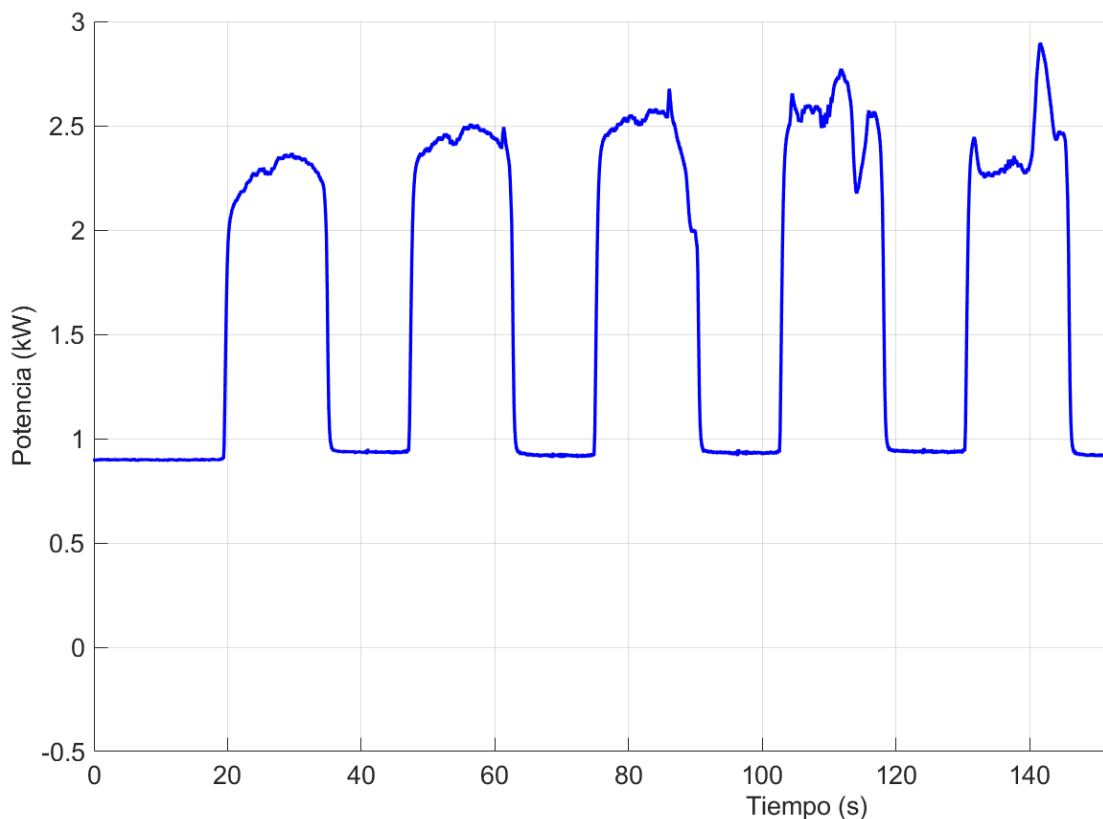


Ilustración 3.32: Resultado de potencias en W2_PP3

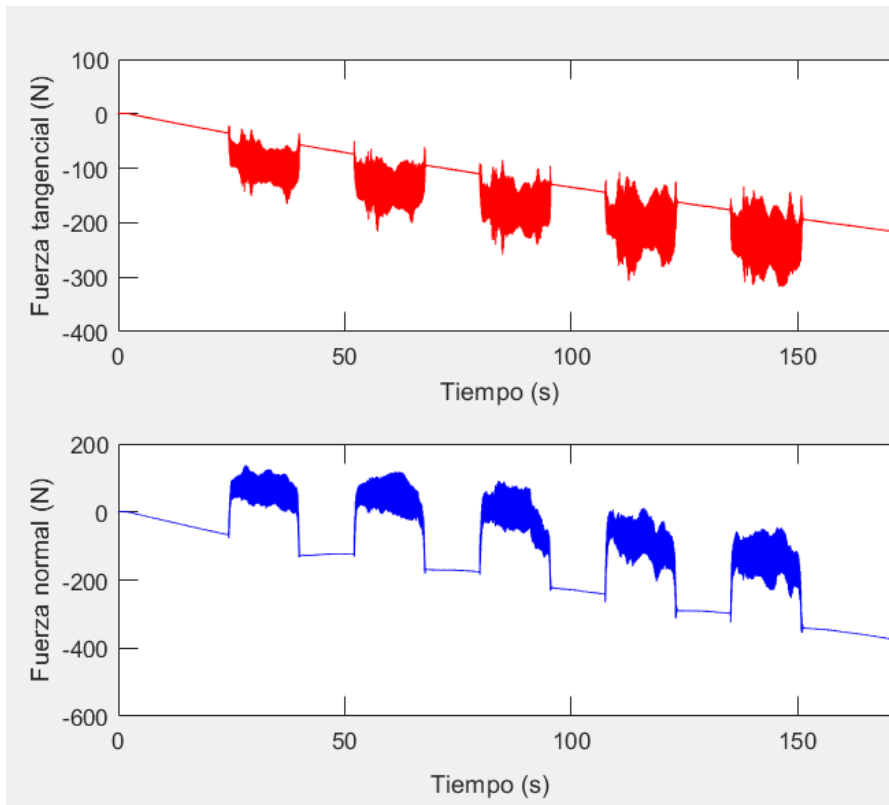


Ilustración 3.33: Resultado de fuerzas en W2_PP3

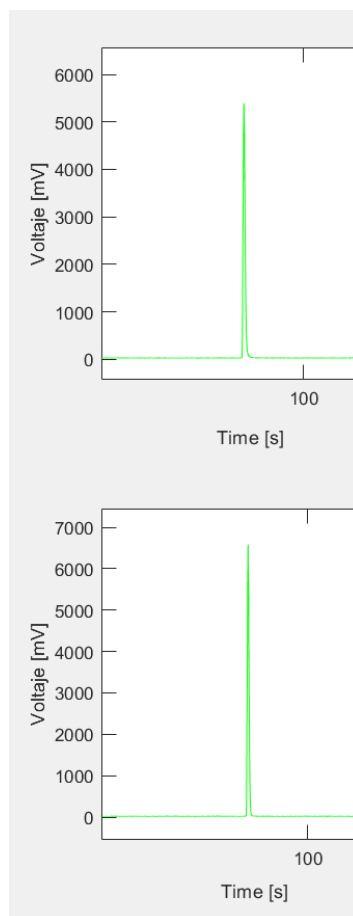


Ilustración 3.34: Resultado de voltaje en W2_PP3

4.2.1.4. W2_PP4

Para terminar con las pruebas preliminares, se quería afirmar y demostrar que los pirómetros median bien y que se podía trabajar con algo de refrigeración. Se intentó hacer con una con unas condiciones de corte menos agresivas. La conclusión que se sacó mediante esta última prueba fue que, con ese material específico, esa muela y esa máquina se necesitaban condiciones de corte muy agresivas y rectificar con refrigeración mal dirigida o hasta sin refrigeración para que el pirómetro nos leyese la mínima temperatura que es de 280°C. Ya que se ve en los resultados del voltaje que el ratio de voltaje es alto, por lo que las temperaturas son bajas.

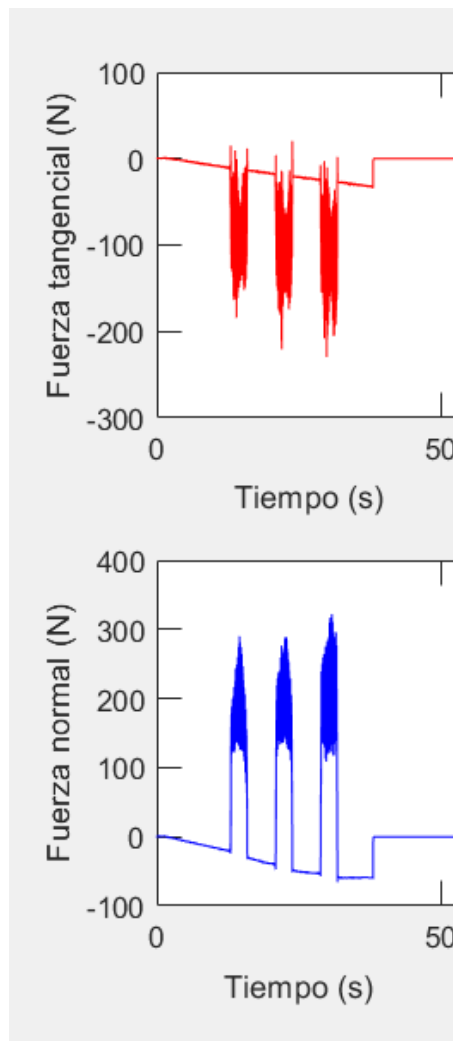


Ilustración 3.35: Resultados de fuerzas en W2_PP4

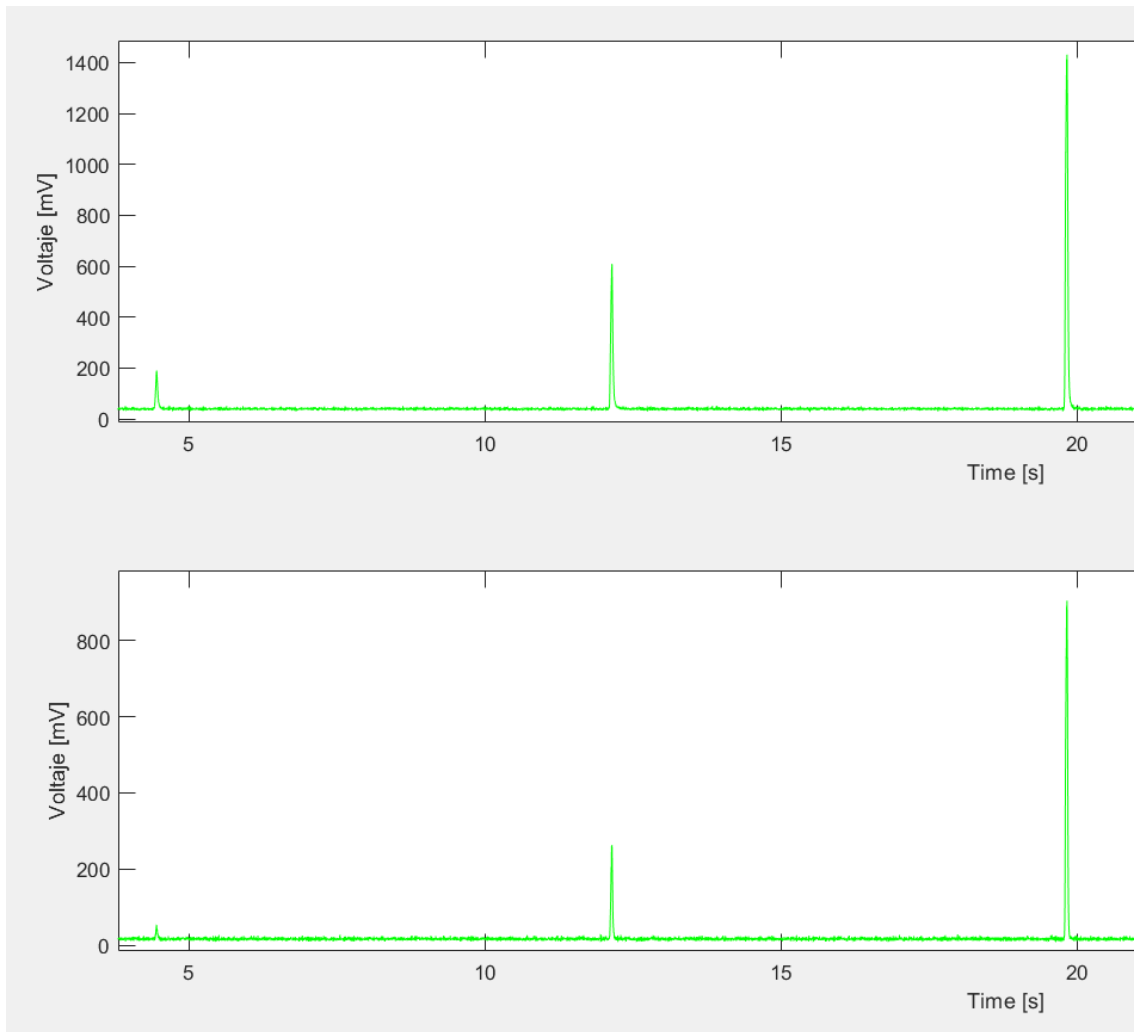


Ilustración 3.36: Resultado de voltaje en W2_PP4

4.2.2. Protocolo de pruebas modificada

Al realizar este protocolo de pruebas se ha necesitado pensar bien los parámetros de corte que se iban a utilizar y el tipo de refrigeración que se iba a utilizar. Para comenzar con las pruebas se decidió empezar con refrigeración mal dirigida y poco caudal (30L/min), para comprobar los resultados de temperatura. De esta manera se hicieron las tres primeras pruebas. Al ver que se medía temperatura se decidió colocar bien la refrigeración. Así, no se consiguió ningún resultado ni en la cuarta prueba ni en la quinta, a partir de ahí se decidió rectificar sin taladrina para la obtención de temperaturas. Por lo que se obtuvieron resultados en todas las pruebas excepto en la cuarta y la quinta.

Ensayo	Øs [mm]	Q' [mm ³ /(mm.s)]	Vs [m/s]	ae [mm]	Vw [mm/min]	Agre	Número de pruebas.
P_TEMP_C1	315,00	2,00	30,00	0,160	750,00	9,391	2,00
P_TEMP_C2	315,00	2,00	30,00	0,080	1500,00	13,280	5,00
P_TEMP_C3	315,00	2,00	30,00	0,030	4000,00	21,687	20,00
P_TEMP_C4	315,00	4,00	30,00	0,320	750,00	13,280	1,50

P_TEMP_C5	315,00	4,00	30,00	0,160	1500,00	18,781	3,00
P_TEMP_C6	315,00	4,00	30,00	0,060	4000,00	30,670	9,00
P_TEMP_C7	315,00	6,00	30,00	0,480	750,00	16,265	1,00
P_TEMP_C8	315,00	6,00	30,00	0,240	1500,00	23,002	1,00
P_TEMP_C9	315,00	6,00	30,00	0,090	4000,00	37,562	4,00

Ilustración 3.37: Condiciones de corte del protocolo de pruebas modificado

En un principio se comentó que las pruebas se iban a realizar con dos pirómetros y poder comparar los valores de los dos pirómetros. Pero a medida que fuimos haciendo el primer protocolo que se diseñó y las pruebas preliminares, se rompió una fibra óptica y para las pruebas finales solo se ha podido trabajar con el pirómetro 1.

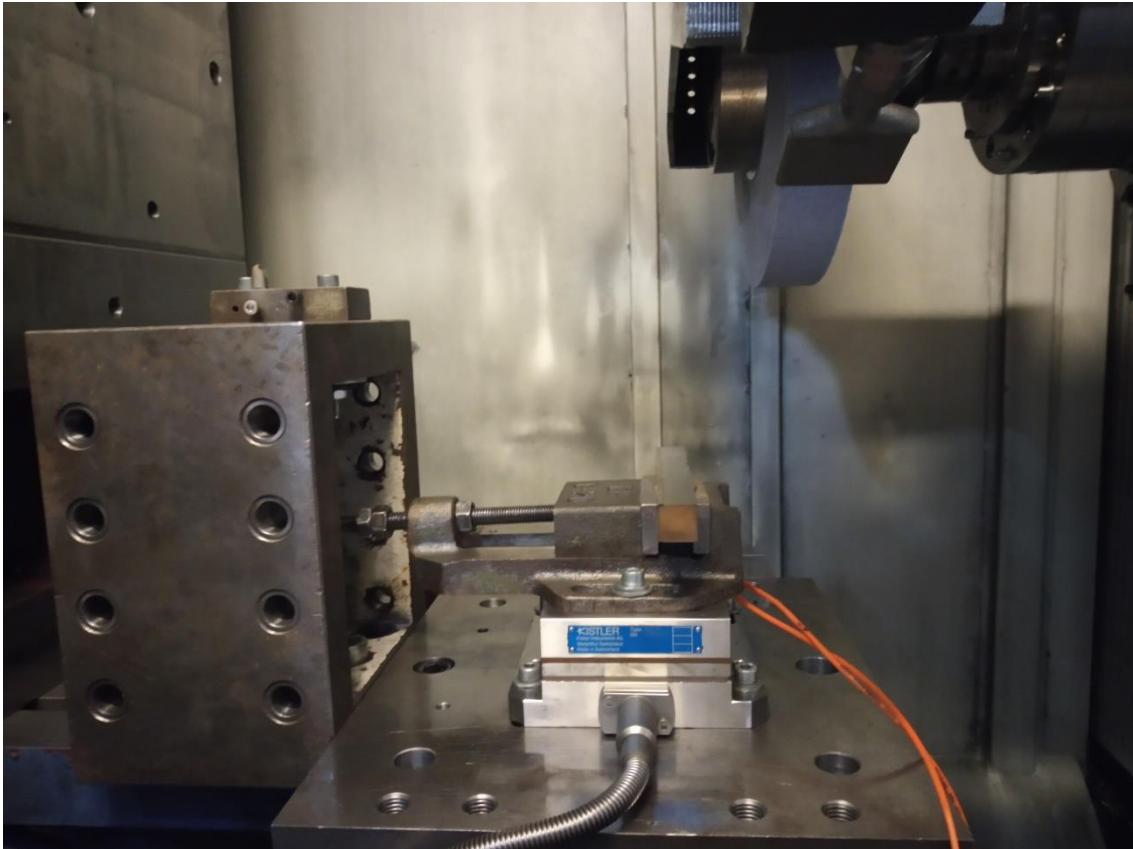


Ilustración 3.38: Montaje para el protocolo de pruebas. Kistler+mordaza+pieza+diamante+muela+fibras

La muela que se ha utilizado es de TYROLIT, cuyas propiedades son material de grano de alumina, el tamaño de grano es de 60 (fina), de aglomerante vítreo, de dureza blanda y de estructura abierta.

A continuación, se meterán todos los resultados que se han obtenido de la primera prueba, se harán un pequeño análisis de dichas pruebas y se explicaran que resultados han salido. A partir de la primera prueba se meterán todos los siguientes resultados de las siguientes pruebas en el ANEXO 1: Resultados protocolo de pruebas modificada

4.2.2.1. Resultados en P_TEMP_C1

Primero se colocará una gráfica en la cual aparecerán las potencias que se han obtenido

en las distintas pasadas realizadas. Las unidades de potencia serán en kilovatios y las unidades del tiempo serán segundos. En las siguientes graficas de potencias, en este tipo de pruebas, tendrán las mismas unidades por lo que no se repetirán las unidades que se han utilizado.

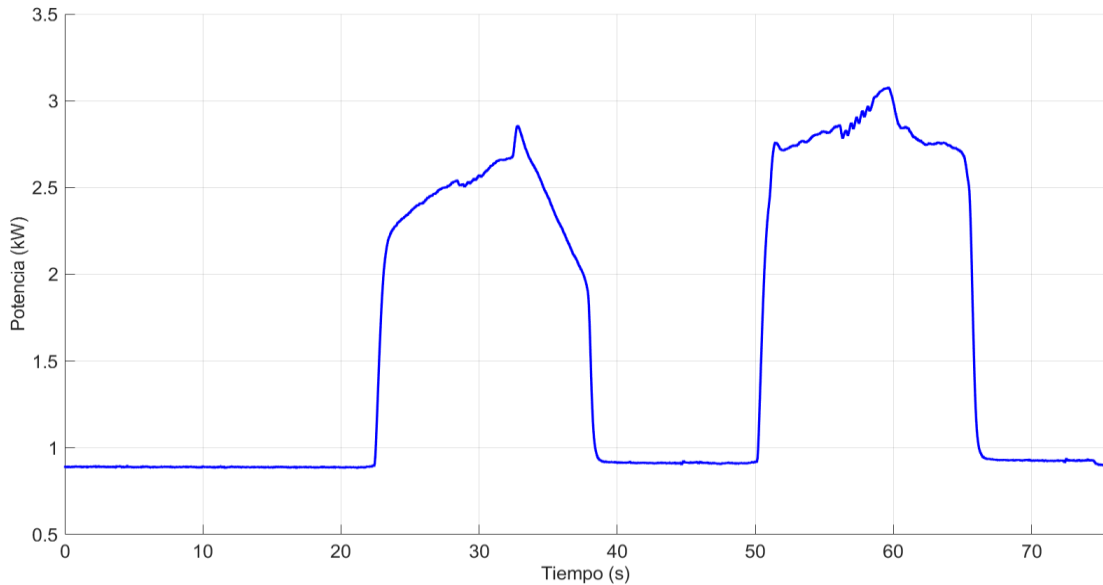


Ilustración 3.39: Potencias obtenidas en P_TEMP_C1

Como se puede observar en la anterior gráfica, los datos que salen de potencias son bastante precisos y sin casi vibración. A esto me refiero que se ve fácil que la potencia inicial con la que empieza la máquina es de 0,9kW y la potencia nominal de la última pasada es de 2,15 kW.

Otra de las cosas que se puede observar de la anterior grafica es que a medida que se van haciendo pasadas la potencia se va estabilizando, en este caso no se ve tan claro por qué solo se han realizado dos pasadas, pero en el ANEXO 1, se puede observar que cuando hay muchas pasadas la potencia se estabiliza y cada vez va siendo más constante.

Para terminar, se puede decir que los resultados de potencias nominales que se cogen de los datos son bastante precisos y que no se comete un error muy grande.

En la siguiente grafica aparecerán las fuerzas obtenidas mediante la kistler en las pasadas realizadas. Las unidades de fuerza serán Newton y las unidades del tiempo en segundos. En las siguientes graficas de fuerzas, en este tipo de pruebas, tendrán las mismas unidades por lo que no se repetirán las unidades que se han utilizado.

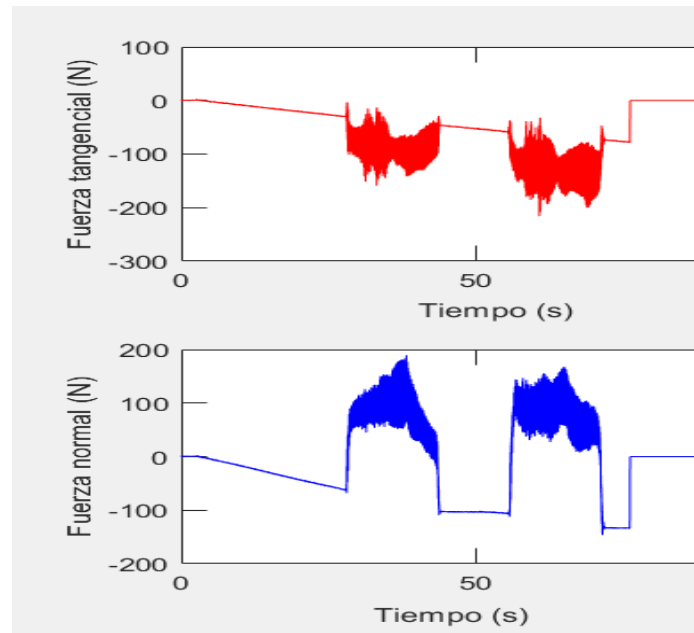


Ilustración 3.40: Fuerzas generadas en la prueba P_TEMP_C1

De la anterior gráfica, se puede comentar como los resultados de fuerzas que se consiguen mediante la Kistler no son muy exactas. Se puede observar como la vibración es demasiado alta y no se sabe exactamente cuál es la media de las fuerzas realizadas en el proceso del rectificado. Además se puede observar como el valor inicial de las fuerzas requeridas van tendiendo a bajar y no son constantes. Ya que la medida de fuerzas no es tan sencilla en el mundo del mecanizado. Por lo que se podría decir que los resultados que se van a obtener mediante la Kistler no van a ser tan precisas como los resultados de potencias, pero nos sirve para hacernos una idea alrededor de que valor de fuerzas se va a trabajar.

Después, en la siguiente grafica se obtendrán los diagramas de voltaje frente al tiempo, con los cuales calcularemos la división del punto máximo y de aquí sacaremos la temperatura. Las unidades del voltaje serán en milivoltios y las unidades del tiempo en segundos. En las siguientes graficas de voltaje frente a tiempo, en este tipo de pruebas, tendrán las mismas unidades por lo que no se repetirán las unidades que se han utilizado.

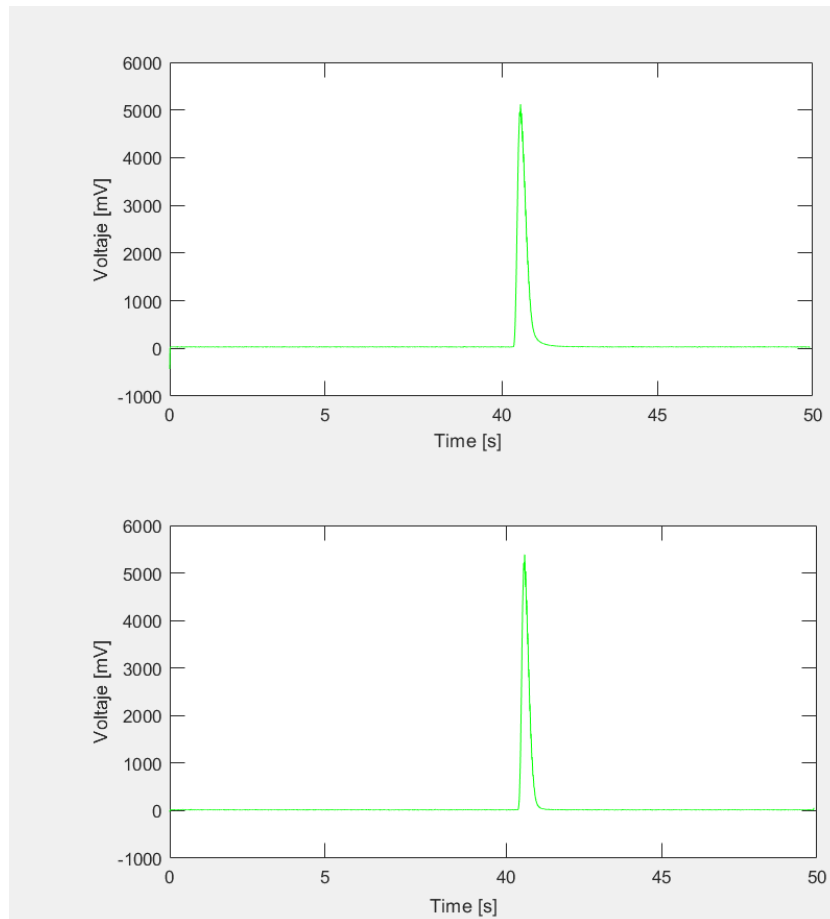


Ilustración 3.41: Voltaje del pirómetro en P_TEMP_C1

Como en la anterior grafica es muy difícil hacer un pequeño análisis de los resultados que se han conseguido, a continuación, se insertara un detalle del pico que se ha conseguido para saber si el resultado de voltaje que se ha conseguido es fiable o no.

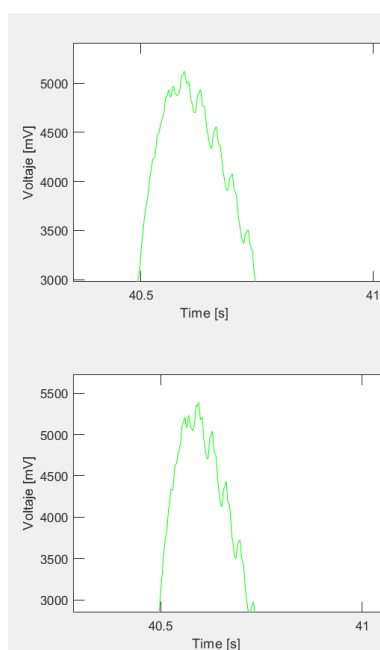


Ilustración 3.42: Detalle del pico del voltaje de P_TEMP_C1

En la anterior ilustración ahora si se puede observar como si es verdad que hay vibración y no es constante la curva entera. Pero estamos hablando de valores muy altos de voltaje en los cuales no va a afectar tanto la vibración que se ha conseguido. Por lo que se podría decir que los resultados que se van a conseguir mediante el voltaje van a ser datos precisos y el error que se cometerá no llegara a ser muy grande.

El ratio de voltaje máximo de la anterior ilustración se calculara haciendo la división entre los voltajes del punto máximo de la pendiente. Ya que en ese punto será donde se haya logrados la temperatura máxima.

Para terminar, se insertará una tabla en la que aparecerán los datos numéricos de las ilustraciones anteriores ya que en las gráficas anteriores no se comprende muy bien los valores exactos.

	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C1	21	2,1574	59,055	231,65	0,9460257	745

Ilustración 3.43: Datos numéricos de la prueba P_TEMP_C1

En la anterior tabla aparecen los datos numéricos de la distancia teórica que hay desde el fondo del agujero hasta la superficie de la pieza en micras, la potencia nominal en kilovatios, la fuerza tangencial nominal en Newton, la fuerza normal nominal en Newton, ratio de voltaje máximo y temperatura en grados centígrados. Los datos numéricos que aparecen en la tabla solo son de las pasadas en las que se mide temperatura.



Ilustración 3.44: Quemado de pieza en una de las pruebas

4.3. Resultados mediante la simulación térmica GrindSim

Utilizando las pruebas realizadas en el apartado anterior del protocolo de pruebas modificado, se obtendrán las distintas temperaturas que se generarán en cada proceso en distintos puntos de la pieza mediante la simulación térmica GrindSim. En este apartado se hará un pequeño análisis de los resultados que se han obtenido en la primera prueba y a partir de ahí todos los demás resultados se pondrán en el ANEXO 2.

4.3.1. P_TEMP_C1

A continuación, como ya se ha explicado en el apartado de cálculos, los resultados del GrindSim será una gráfica con cuatro temperaturas distintas. El eje Y será la temperatura en grados centígrados y el eje X será el tiempo en segundos. La línea azul se referirá a la temperatura en el fondo del agujero. La línea roja será la temperatura en la superficie de la pieza encima del agujero. La línea verde será la temperatura a una profundidad de 294 micras en cualquier punto de la pieza donde no haya agujero. La línea negra será la temperatura en la superficie de la pieza donde no haya agujero. Por lo que el resultado mediante el simulador térmico GrindSim de la primera prueba es la siguiente:

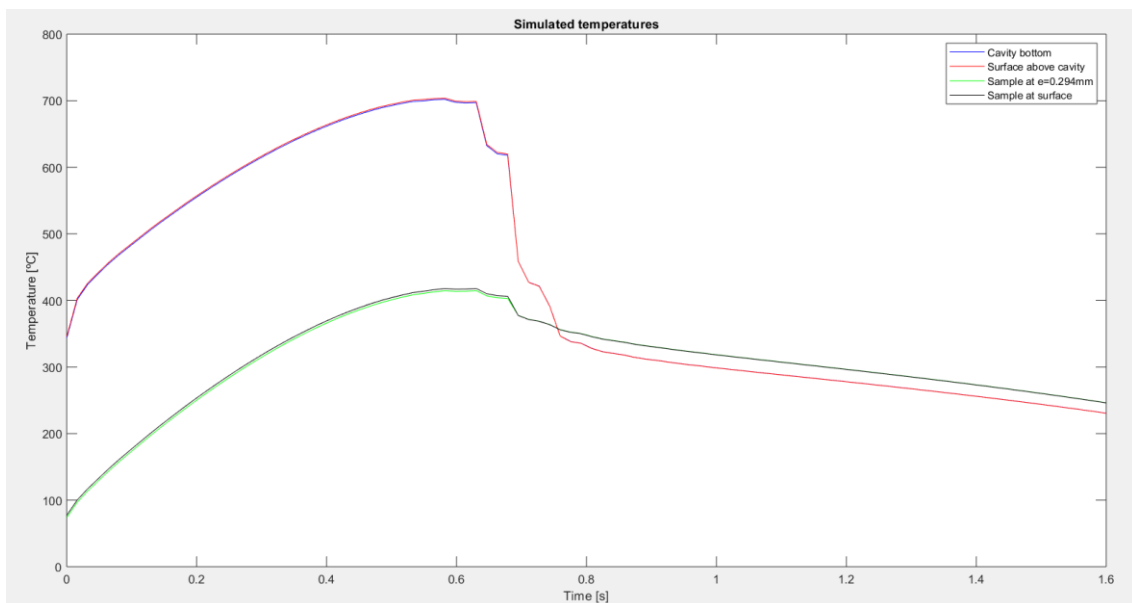


Ilustración 3.45: Temperaturas generadas en el P_TEMP_C1 según GrindSim

Como se puede observar en la anterior ilustración las temperaturas que se generan en el proceso del rectificado alrededor del agujero son mayores que en la zona que no hay agujero. Eso es una cosa que tiene sentido, ya que, al faltar material, alrededor del agujero es donde más calor se genera.

Después, también se puede observar que la temperatura en el fondo del agujero es de 704 °C. Es una temperatura bastante correcta pensando en los parámetros tan agresivos

que estamos utilizando y el material tan blando que estamos rectificando.

El problema de esta simulación es que no deja quitar la refrigeración o disminuir el caudal. Por lo que la temperatura que se genera mediante el simulador será menor que en la realidad debido a la refrigeración. Ya que, en esta prueba específica, se utilizó refrigeración, pero mal dirigida hacia la muela. Por lo que ese aspecto no se puede tener en cuenta en el simulador.

En este caso al solo tener una pasada solo hay una gráfica. Pero en las siguientes pruebas que tengan más que una pasada, se irán colocando las gráficas en orden de los más cercano al agujero a lo más lejano. Estos resultados de las siguientes pruebas se pueden ver en el ANEXO 2. En el ANEXO 2, se puede comprobar que cuando se destapan los agujeros de las fibras ópticas y se rectifica la medida que te da el simulador térmico es errónea. Por lo que se han colocado en ANEXO 2 todas las gráficas, pero hay que fijarse que agujeros están destapados ya que esas graficas no habrá que tenerlas en cuenta.

4.4. Resultados de la calibración del pirómetro

Como ya se ha explicado, la señal que nos da el pirómetro es tiempo frente a voltaje. Por lo que se tenía que hacer una relación entre voltaje y temperatura para saber que temperaturas se alcanzan en los procesos del rectificado.

Para ello, es importante saber que se trabaja con un pirómetro de dos colores. En un principio, se comentó que se iban a trabajar con dos pirómetros, pero en el propio proceso se rompió una fibra óptica por lo que el pirómetro 2 no se utilizó. Es importante saber que el pirómetro de dos colores contiene dos canales, por lo que cada canal da una señal distinta de voltaje ya que uno de los canales lee un tipo de colores infrarrojos y el otro canal otro color distinto. De esta manera, la señal de voltaje que da cada canal es distinto. Para el cálculo de la temperatura específica se va a utilizar la división entre el voltaje máximo de los dos canales (el ratio del voltaje máximo). Dicho ratio de voltaje se relacionara con una temperatura específica.

Para calibrar el pirómetro se ha utilizado un horno JOFRA CTC-1200 A, AMELTEC. Los calibradores CTC son calibradores de temperatura concebidos para el calibrado de sensores y contactos de temperatura. La función de este horno, será ir aumentando las temperaturas de 20 grados en 20 grados. Se comenzará la lectura desde los 220 °C y se terminará cuando los datos que salgan no tengan sentido. Encima de este horno, se colocará mediante una lente a una distancia específica, la fibra óptica que es la encargada de recibir y enviar la señal de voltaje al ordenador. Después, se utilizará un programa informático (TERATERM) que será el responsable de leer la captura de señales que nos de el pirómetro. De esta manera, por cada temperatura conseguiremos un ratio de voltaje. Se vuelve a incidir que por problemas técnicos solo se ha podido utilizar el pirómetro 1, por lo que los resultados de la calibración solo serán del pirómetro 1.

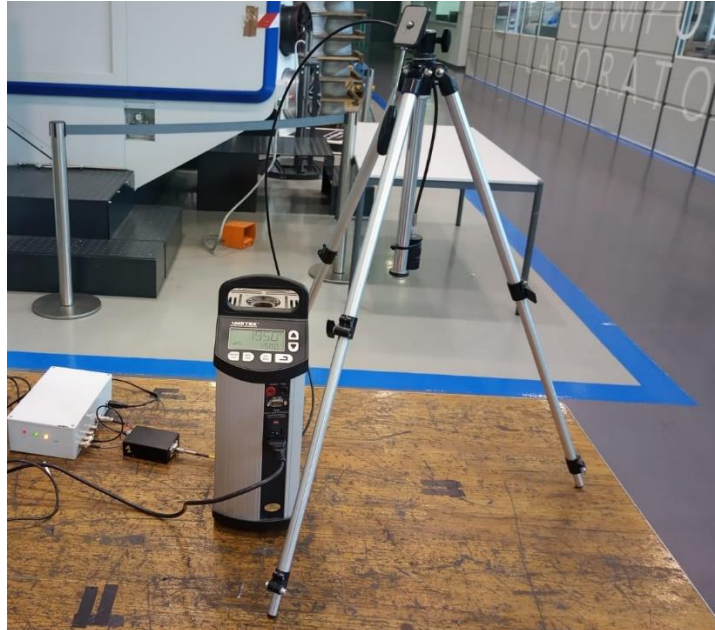


Ilustración 3.46: Montaje de la calibración del horno: Tripode+fibra+lente+horno+pirómetro

Los resultados de dicha calibración serán primero unos datos numéricos que será cada temperatura específica con cada ratio de voltaje y el segundo resultado será una gráfica para ver qué relación tienen la temperatura y el ratio de voltaje a medida que la temperatura va aumentando.

Temperatura (°C)	Ratio de voltaje max.
280	3,5920
360	3,4302
380	3,1512
400	3,0291
420	2,8665
440	2,6858
460	2,5230
480	2,2960
500	2,1300
520	1,9650
540	1,8224
560	1,7464
580	1,6301
600	1,2064
620	1,4065
640	1,3074
660	1,2252
680	1,1487
700	1,0730
720	1,0124
740	0,9593

760	0,9056
780	0,8582
800	0,8170
820	0,7766
840	0,7421
860	0,7097
880	0,6761
900	0,6478
920	0,6220
940	0,5965
960	0,6172
980	0,6835
1000	0,7462
1020	0,8237
1040	0,9045
1060	0,9999
1080	1,0000
1100	1,0000

Ilustración 3.47: datos numéricos parejados de ratio de voltaje y temperatura

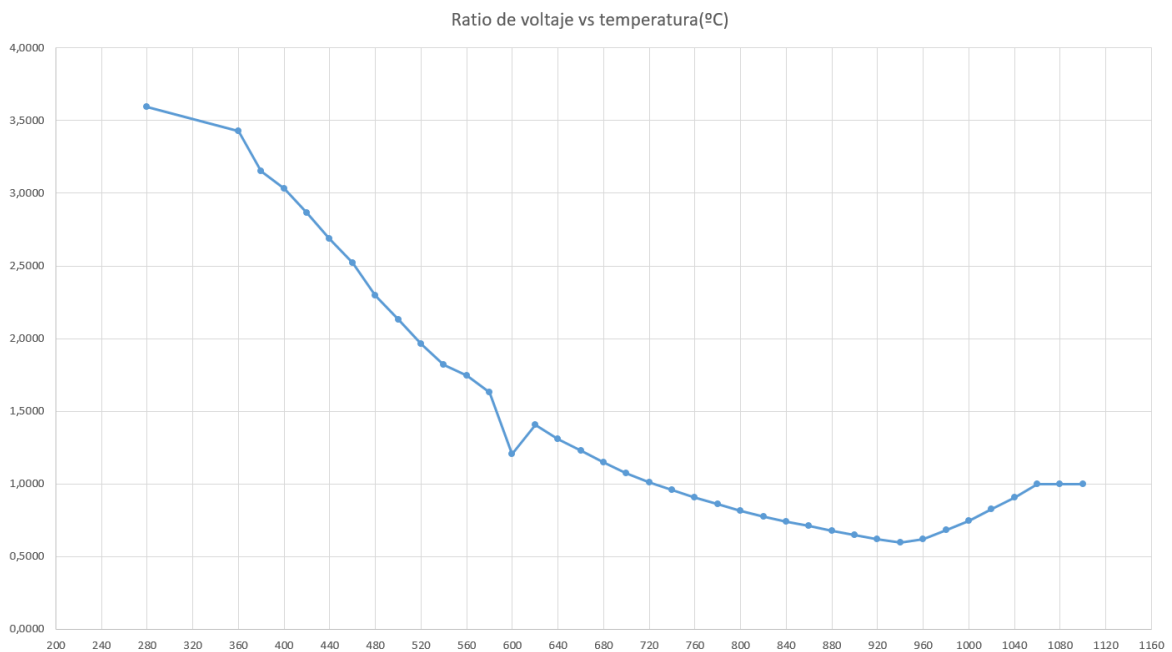


Ilustración 3.48: Grafica ratio de voltaje vs temperatura

Como se puede observar en la ilustración anterior ultima se pueden ver datos para analizar.

Por primera parte, se ve como a los 600°C hay una disminución del ratio de voltaje significativa. Eso en un principio ha ocurrido por colocar mal la fibra óptica y al estar mal colocada la fibra no ha leído bien la señal y ha dado ese resultados. Por lo que, este dato no es una cosa que haya que tenerla en cuenta para los siguientes cálculos.

Por otra parte, y esto sí que es algo muy interesante, es analizar lo que ocurre a partir de los 940 grados. Como se puede observar en la gráfica desde el principio es que a medida que se va aumentando la temperatura el ratio de voltaje disminuye. Esto ocurre debido a que a muy bajas temperaturas solo llega a medir uno de los canales del pirómetro, por lo que el voltaje del canal 1 aumenta, pero el del canal dos se mantiene constante, por esta razón el ratio de voltaje a temperaturas pequeñas es muy alto. A medida que se va aumentando poco a poco la temperatura, el canal 2 del pirómetro comienza a leer y comienza a aumentar el voltaje del canal 2, por esta razón el ratio de voltaje comienza a disminuir a medida que vamos aumentando la temperatura. A medida que vamos aumentando la temperatura, el voltaje del canal dos comienza a aumentar rápidamente y el del canal 1 aumenta pero poco a poco, por esta razón también el ratio de voltaje sigue disminuyendo a valores menores de 1. Al final llega un punto en el que el canal 2 del pirómetro llega a un valor de voltaje de 33197 milivoltios y no lo supera a medida que se va aumentando la temperatura, por esta razón se crea el punto de inflexión en la gráfica y ahora el ratio de voltaje comienza a aumentar. Para terminar, el canal 1, a medida que vamos aumentando de temperatura, va aumentando el voltaje hasta también llegar al valor de 33197 milivoltios. De esta manera, al final el ratio de voltaje final a pesar de que sigamos aumentando la temperatura sigue siendo 1. De aquí se saca la conclusión que la electrónica del pirómetro no es capaz de captar señales e intensidades mayores a 33197 milivoltios. Por eso mismo, se podría decir que los valores a partir del punto de inflexión de la gráfica no hay que tenerlas en cuenta ya que son valores erróneos.

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

**DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO**

DOCUMENTO 5- ASPECTOS ECONOMICOS

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Gaíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 5: ASPECTOS ECONOMICOS

1. DESGLOSE DETALLADO	79
1.1. Recursos humanos	79
1.2. Recursos materiales fungibles	79
1.3. Recursos materiales amortizables	80
1.4. Recursos informáticos amortizables	81

1. DESGLOSE DETALLADO

Dentro de los aspectos económicos se tendrán en cuenta distintos apartados. Los distintos apartados que se van a tener en cuenta serán recursos humanos, recursos materiales fungibles, recursos materiales amortizables y recursos informáticos amortizables.

1.1. Recursos humanos

En los recursos humanos se tendrán en cuenta los precios frente a las horas que las personas tanto del ingeniero técnico investigador como del ingeniero director del proyecto, han pasado para la realización del proyecto. Por lo que se tendrán en cuenta las horas tanto de formación como de realización de tareas en frente de las máquinas, las horas realizadas delante de un ordenador tanto para la búsqueda de información como de búsqueda de materiales...

Descripción	Horas	Precio unitario [€]	Total [€]
Trabajo en rectificadora plana	50	13	650
Trabajo en EDM penetración	60	13	780
Trabajo en EDM hilo	12	13	156
Análisis de datos	35	13	455
Redacción del proyecto	200	13	2600
Trabajo del ingeniero director del proyecto	24	55	1320
Maestro del taller	48	45	2160
PRECIO TOTAL			8121

Ilustración 4.1. Presupuesto de los recursos humanos

Total del presupuesto de recursos humanos..... 8.121 €

1.2. Recursos materiales fungibles

En este apartado se tendrán en cuenta todos los materiales utilizado durante el proyecto que se desgasten con el uso y lleguen el día que ya no sean capaces de volver a utilizarse.

Concepto	Unidad	Precio por unidad [€]	Total [€]
----------	--------	-----------------------	-----------

Diamante	1	200	200
Muela abrasiva	1	200	200
Probeta de ensayos	3	90	270
Material de oficina			200
Sistema de refrigeración (Taladrina y aceite)			250
PRECIO TOTAL			1120

Tabla 4.2 Presupuesto de los recursos materiales fungibles

Total del presupuesto de recursos materiales fungibles..... 1.120 €

1.3. Recursos materiales amortizables

En este apartado se detallan los precios de los materiales amortizables.

Concepto	Tiempo	Precio por unidad [€]	Total [€]
Rectificadora plana DS630 DANNOBAT	50	40	2000
Máquina EDM Penetración (CS-300)	60	30	1800
Máquina EDM hilo (AX3)	12	30	360
Ordenador personal	240	0,13	31,2
Horno CTC 1200A	26	60	1560
Instrumentos de medición			200
PRECIO TOTAL			5951,2

Tabla 4.3. Presupuesto de los recursos materiales amortizables

Total del presupuesto de recursos materiales amortizables..... 5.951,2 €

1.4. Recursos informáticos amortizables

En este apartado se tendrán en cuenta los precios frente a las horas que se han prestado con un programa informático utilizado durante el proyecto.

Concepto	Tiempo	Precio por unidad [€]	Total [€]
Matlab	60	40	2400
TeraTerm	45	30	1350
PRECIO TOTAL			3750

Ilustración 4.4: Presupuesto de los recursos informáticos amortizables

Total del presupuesto de recursos informáticos amortizables 3.750 €

2. PRESUPUESTO TOTAL DE EJECUCION DEL PROYECTO

Recursos humanos.....	8.121€
Recursos materiales fungibles	1.120€
Recursos materiales amortizables	5.951,2€
Recursos informáticos amortizables	3.750€
TOTAL.....	18.942,2€
21% IVA.....	3.977,862€
PRESUPUESTO TOTAL.....	22.920,062€

Total presupuesto de ejecución de proyecto 22.920,062€

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

**DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO**

DOCUMENTO 6- CONCLUSIONES

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 6: CONCLUSIONES

1. .CONCLUSIONES82

1. CONCLUSIONES

En este apartado se detallan las conclusiones a las que se ha llegado una vez analizados los resultados, teniendo en cuenta los objetivos marcados al comienzo del trabajo.

- **Validar el pirómetro estático para el rectificado plano**

Después de las pruebas realizadas, en un principio nos pasaba que el pirómetro no medía. Por lo que se decidió trabajar con condiciones de corte más agresivas y con refrigerante mal dirigido o sin refrigerante ya que con el material que se estaba trabajando era muy blando. Aquí es cuando comenzó a medir el pirómetro, por lo que se comprobó que el pirómetro funcionaba y encima estábamos sabiendo la temperatura que llegaba a coger el pirómetro y a que distancia de la superficie del agujero estaba. Por lo que la primera conclusión es que con las condiciones de corte impuestas al principio la pieza no llegaba a coger la temperatura mínima de lectura del pirómetro. La otra conclusión es que se demostró que pirómetro funcionaba y el voltaje aumentaba por el calor que se generaba en la pieza a través del proceso del rectificado.

En un principio, con el sensor de HAMAMATSU que estaba preparado el pirómetro, en teoría media desde los 300°C hasta los 1200°C. Pero al hacer la calibración se veía que, a partir de los 260°C, el pirómetro comenzaba a captar señal de voltaje. Por esta parte, se saca la conclusión de que el pirómetro a partir de los 260°C comenzaba a funcionar, esto es una buena noticia. Pero, por otra parte, se observaba como a partir de los 940°C, los resultados que daba el pirómetro no tenían sentido ya que el ratio de voltaje en vez de disminuir aumentaba a medida que la temperatura bajaba. Esto es debido a que la electrónica del pirómetro no es capaz de medir a partir de los 33197 milivoltios. Pero también hay que tener en cuenta que la calibración se realizó con un horno cuya emisividad es prácticamente 1, por lo que los valores de intensidad o de voltaje son mucho mayores. De esto último sacamos la conclusión de que si estamos trabajando con un material cuya emisividad es muy alta el pirómetro no sería capaz de medir temperaturas mayores a 940°C. Pero en nuestro caso, que no hemos trabajado con valores de emisividad grandes nos han dado valores de ratio de voltaje de 0,33, por lo que la temperatura obtenida en esta prueba no lo sabríamos precisos, pero sería superior a los 940°C.

También, se pueden observar entre los datos de temperatura del simulador térmico y los datos de temperatura del pirómetro que, si hay diferencias entre sí, pero no muy grandes. Pero esto es debido a que en el simulador térmico no hay opción para quitar el refrigerante y los parámetros de conducción de la pieza y distintos parámetros no son muy precisos. Además se puede ver como en los resultados del simulador hay veces que dan resultados muy extraños y no llega a ser muy fiable. Por lo que se puede sacar la conclusión que la diferencia entre los resultados del simulador térmico y los resultados del pirómetro tienen sentido y tienen relación entre sí.

Para terminar, se ha observado un fenómeno que es significativo destacar. Ya que cuando los agujeros se destapaban el pirómetro era capaz de medir temperatura. Esto

se podría hacer un análisis de ello ya que el pirómetro puede ser que estuviera midiendo la chispa o hasta podría estar midiendo la temperatura de la muela y eso sería un dato muy significativo para un futuro.

- **Analizar las fuerzas y potencias puestas en juego en los procesos del rectificado**

Una vez realizadas todas las pruebas, se han podido analizar los datos de fuerzas y potencias. Los resultados de las fuerzas como ya se ha dicho anteriormente no son resultados precisos, pero sirven para hacernos una idea de por qué valores andarían. En cambio, los resultados de las potencias si son bastante precisas y correctas.

Respecto a los resultados de las potencias, se puede sacar la conclusión que los resultados de potencia del cabezal han sido demasiado bajas sabiendo que se ha trabajado con refrigerante mal dirigido o hasta sin refrigerante. Esto es debido a que con este material-muela que se ha trabajado no se ha necesitado tanta potencia para la abrasión del material. Ya que se estaba trabajando con una pieza muy blanda y una muela blanda con distancia entre granos grandes y tamaño de grano fino. Por lo tanto, se puede sacar la conclusión, que con las condiciones de corte que hemos usado que han sido las más desfavorables, las potencias nominales no serán mayores a los 3 kilovatios

Respecto a los resultados de las fuerzas, es muy interesante obtener dichos resultados para saber más o menos alrededor de que valor estarán estas fuerzas. Ya que estas fuerzas son las responsables de doblar y flexionar la pieza. Por lo tanto, después del análisis de las fuerzas que se han hecho, se han observado que las fuerzas medias generadas han sido muy pequeñas, las fuerzas normales máximas generadas fueron alrededor de los 250 Newton y las fuerzas tangenciales máximas alrededor de los 100 Newton

- **Analizar efecto de la temperatura en la pieza y en el proceso del rectificado**

Se puede observar con los resultados obtenidos que la temperatura de la pieza tiene relación directa con la potencia del cabezal, a medida que la potencia del cabezal aumenta la temperatura también lo hace. La potencia del cabezal tiene relación directa con las profundidades de pasada y con las agresividades del proceso. Esto en cambio, no se podría decir lo mismo con la energía específica. Por lo que la conclusión que se podría sacar es que a medida que aumenta la potencia del cabezal, la temperatura de la pieza aumenta y es más probable el quemado de la pieza.

Encima como ya se ha comentado, el tema de la medición de temperaturas en las piezas siempre ha sido un tema sobre el que quedan muchas cosas que mejorar y analizar el por qué ocurren. Mediante estas pruebas que se han realizado se ha conseguido llegar a un ratio de voltaje de 0,33, que en un principio estamos hablando de una temperatura entre 940°C y 1200°C. De esta manera, se puede comentar que esta temperatura que se ha alcanzado esta alrededor de los 1375°C, que es la temperatura a la que se funde el acero. Por lo que se podría sacar la conclusión, que

con otro material tanto de muela como de pieza y de refrigeración y también con otras condiciones de corte se podría estar cerca de la temperatura de fusión del acero y cambiar la estructura metalográfica del propio acero. Ya que esto comentado anteriormente puede ser un gran problema para la vida útil de dicha pieza.

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO***

DOCUMENTO 7- BIBLIOGRAFIA

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 7: BIBLIOGRAFIA

1. REFERENCIAS	89
1.1. LIBROS	89
1.2. ARTICULOS.....	89
1.3. PAGINAS WEB	89
1.4. FOTOS	89
1.5. PROGRAMAS INFORMATICOS	90

1. REFERENCIAS

1.1. Libros

- González-Santander Martínez, J. L. (2009). Modelización matemática de la transmisión de calor en el proceso del rectificado industrial plano (Doctoral dissertation).
- Iñigo Pombo Rodilla, Borja Izquierdo Aranburu, Naiara Ortega Rodríguez, Soraya Plaza Pascual, José Antonio Sánchez Galíndez (2011). Monografía docente: Fabricación de Alto Rendimiento Rectificado. (Escuela de Ingeniería de Bilbao)
- W. Brian Rowe (2009). Principles of Modern Grinding Technology. William Andrew
- X. Xu, S. Malkin. (2008). Comparison of Methods to Measure Grinding Temperatures. Journal of Manufacturing science and engineering, 123(2), 191-195.

1.2. Artículos

- Lander Urgoiti, David Barrenetxea, Jose Antonio Sánchez, Iñigo Pombo, Jorge Álvarez (2018). Article: On the Influence of Infra-Red Sensor in the Accurate Estimation of Grinding Temperatures. MDPI, Basel, Switzerland.
- Departamento de Ingeniería mecánica, UPV-EHU Bilbao (2011). Rectificado. Escuela de Ingeniería de Bilbao.

1.3. Páginas Web

- Rectyafil, Rectificados sin centros (2016). Rectificado sin centros. Recuperado de:
<https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgxwCgpglSdSjJITvDRkrTqBLjQKq?projector=1&messagePartId=0.0>

1.4. Fotos

- Rectyafil, Rectificados sin centros (2016). Rectificado sin centros. Recuperado de:
<https://mail.google.com/mail/u/0/#inbox/FMfcgxwCgpglSdSjJITvDRkrTqBLjQKq?projector=1&messagePartId=0.0>
- Departamento de Ingeniería mecánica, UPV-EHU Bilbao (2011). Rectificado. Escuela técnica superior de ingeniería.
- Iñigo Pombo Rodilla, Borja Izquierdo Aranburu, Naiara Ortega Rodríguez, Soraya Plaza Pascual, José Antonio Sánchez Galíndez (2011). Monografía docente: Fabricación de Alto Rendimiento Rectificado. (Escuela de Ingeniería de Bilbao)

1.5. Programas informáticos

- SW GREAT. Programa informático de Software libre para el estudio del proceso de rectificado (2018).
- MATLAB. The Language of Technical Computing. Getting Started with MATLAB version5. Reading: The Mathworks Inc., 1996.
- SimRect. Simulador de temperaturas en el proceso del rectificado (2018).

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 8- ANEXO 1: RESULTADOS DEL
PROTOCOLO DE PRUEBAS***

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

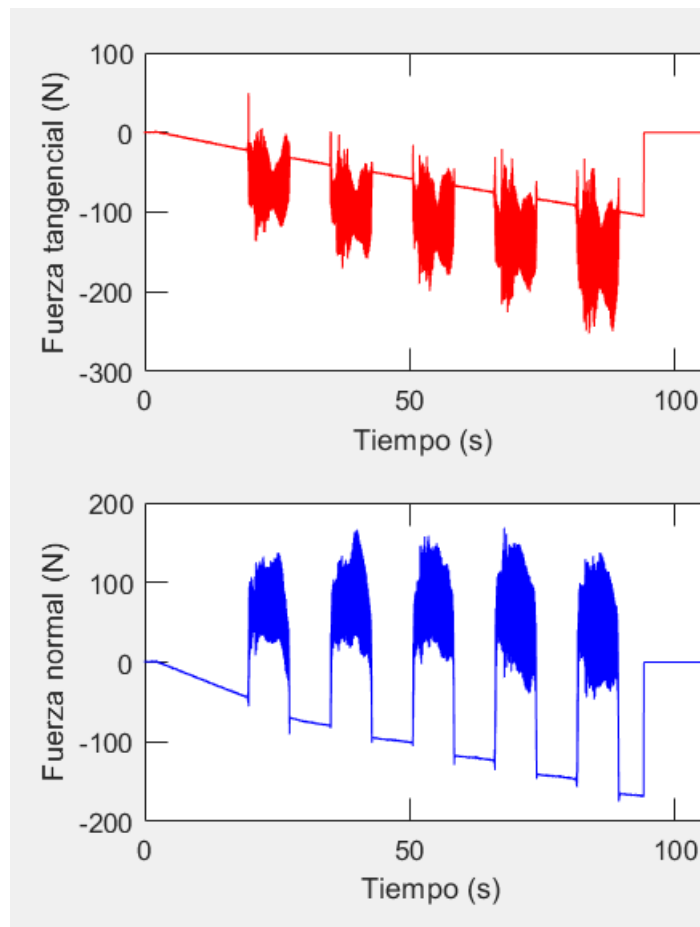
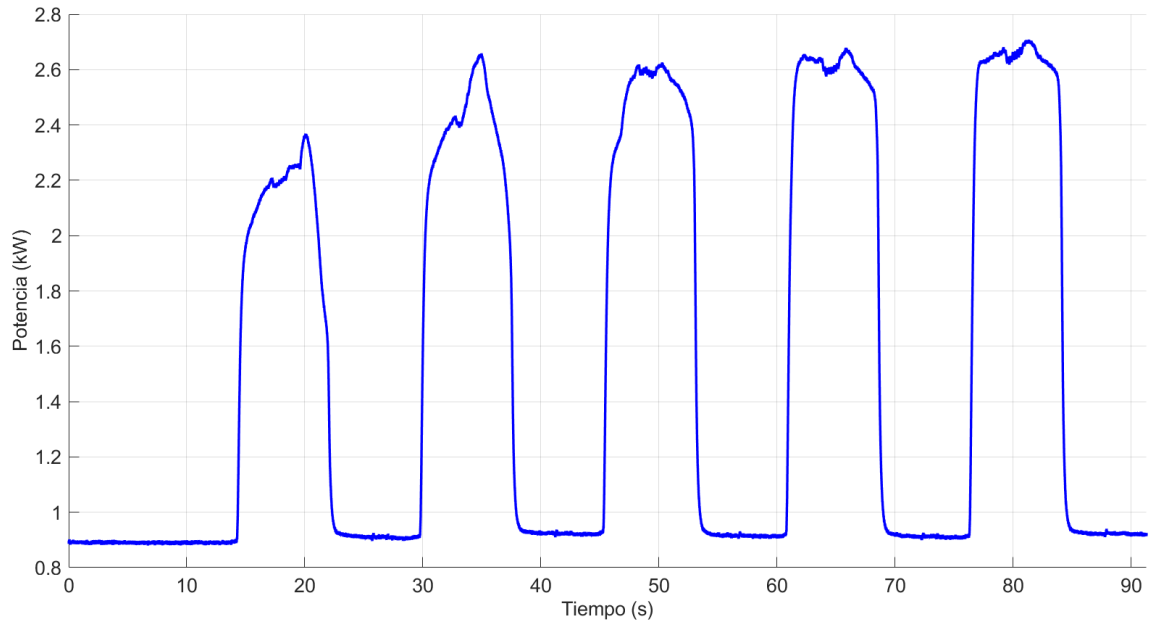
Curso: 2018-2019

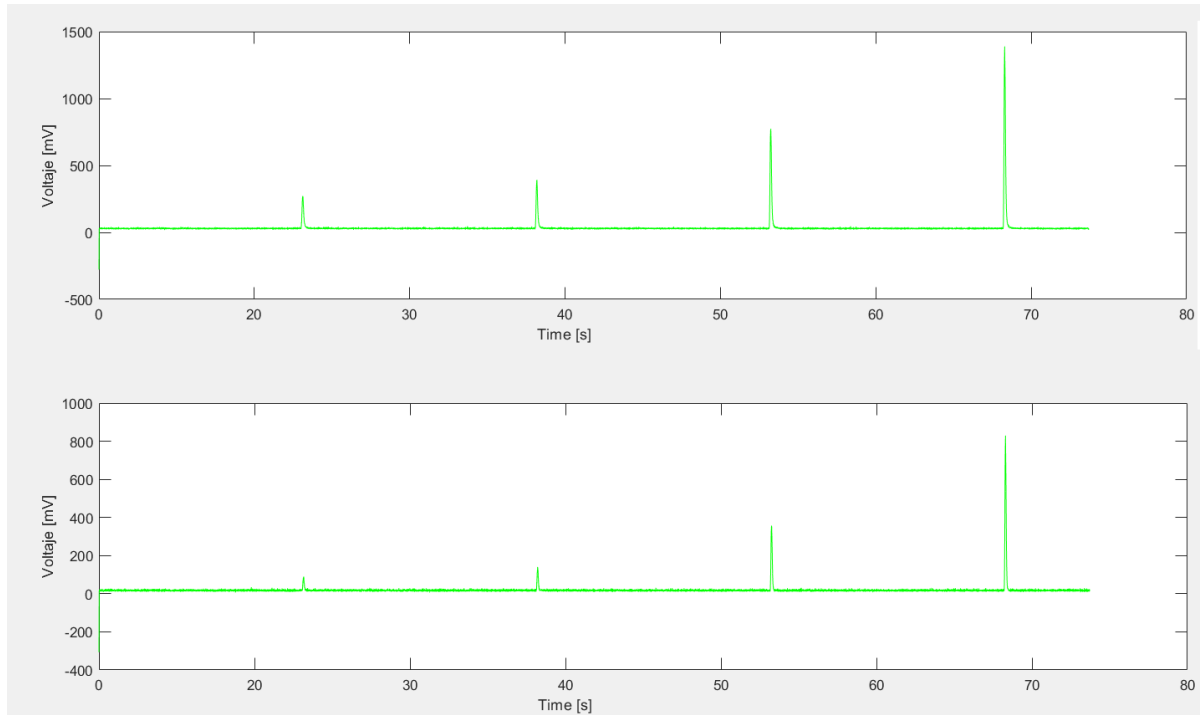
Fecha: <BILBAO, 19, 07, 2019>

DOCUMENTO 8: RESULTADOS DEL PROTOCOLO DE PRUEBAS

1. P_TEMP_C1	91
2. P_TEMP_C2	92
3. P_TEMP_C3	96
4. P_TEMP_C6	96
5. P_TEMP_C7	98
6. P_TEMP_C8	100
7. P_TEMP_C9	102

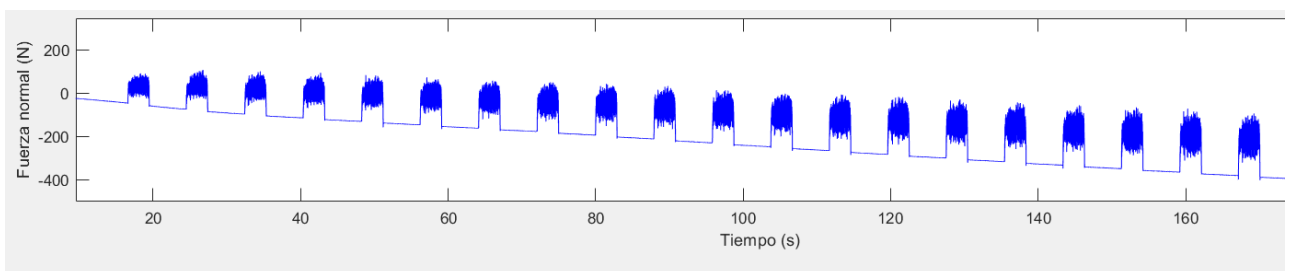
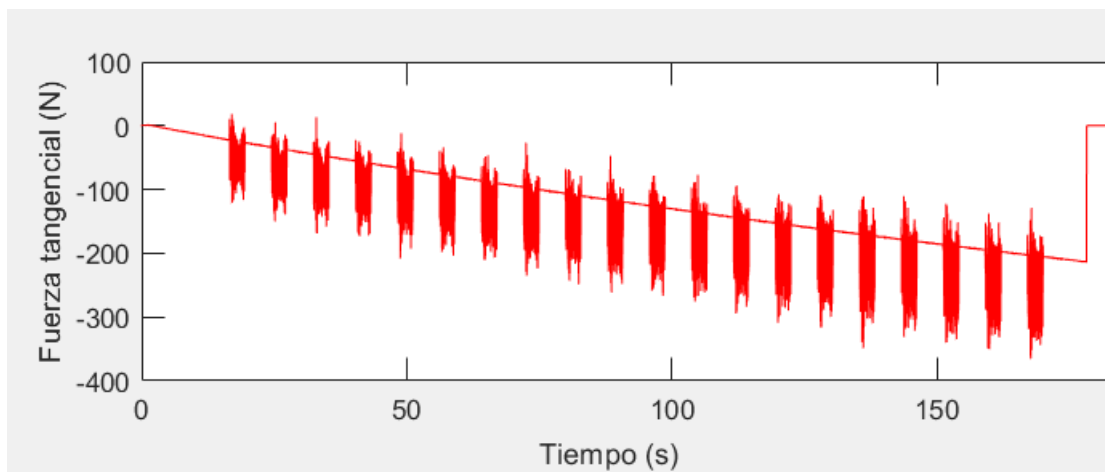
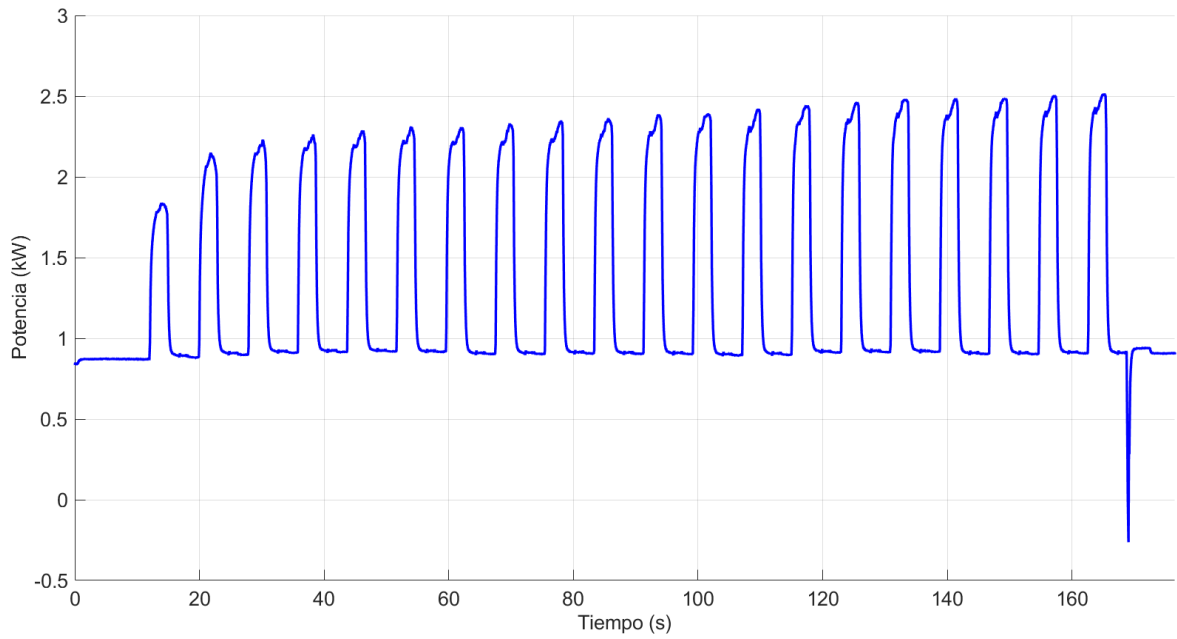
1. P_TEMP_C2

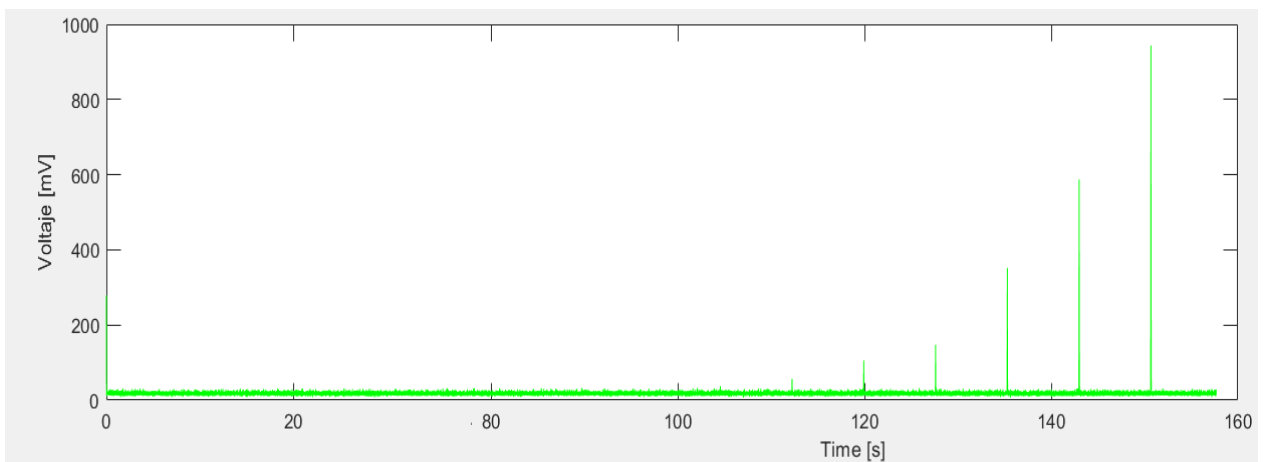
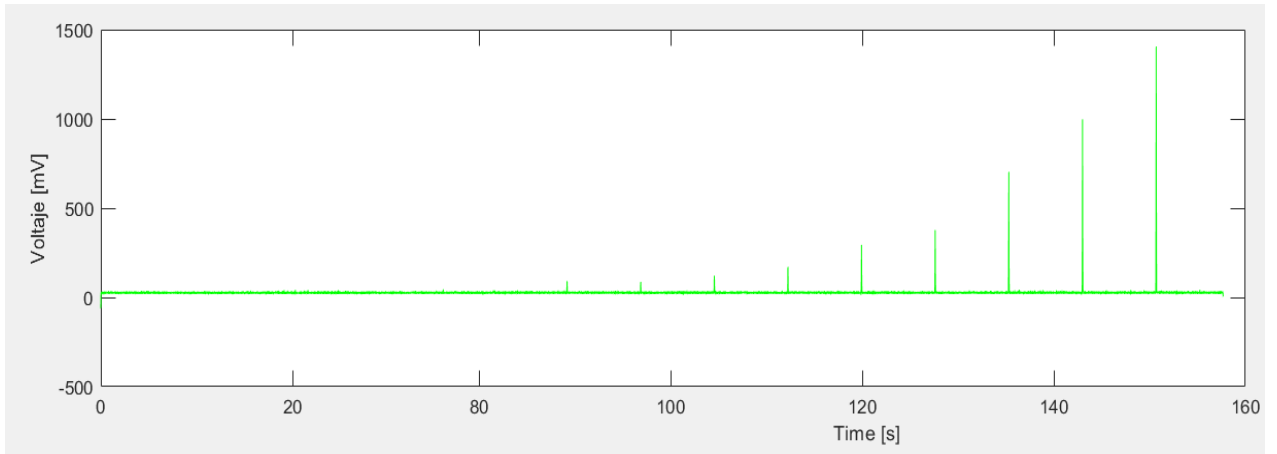




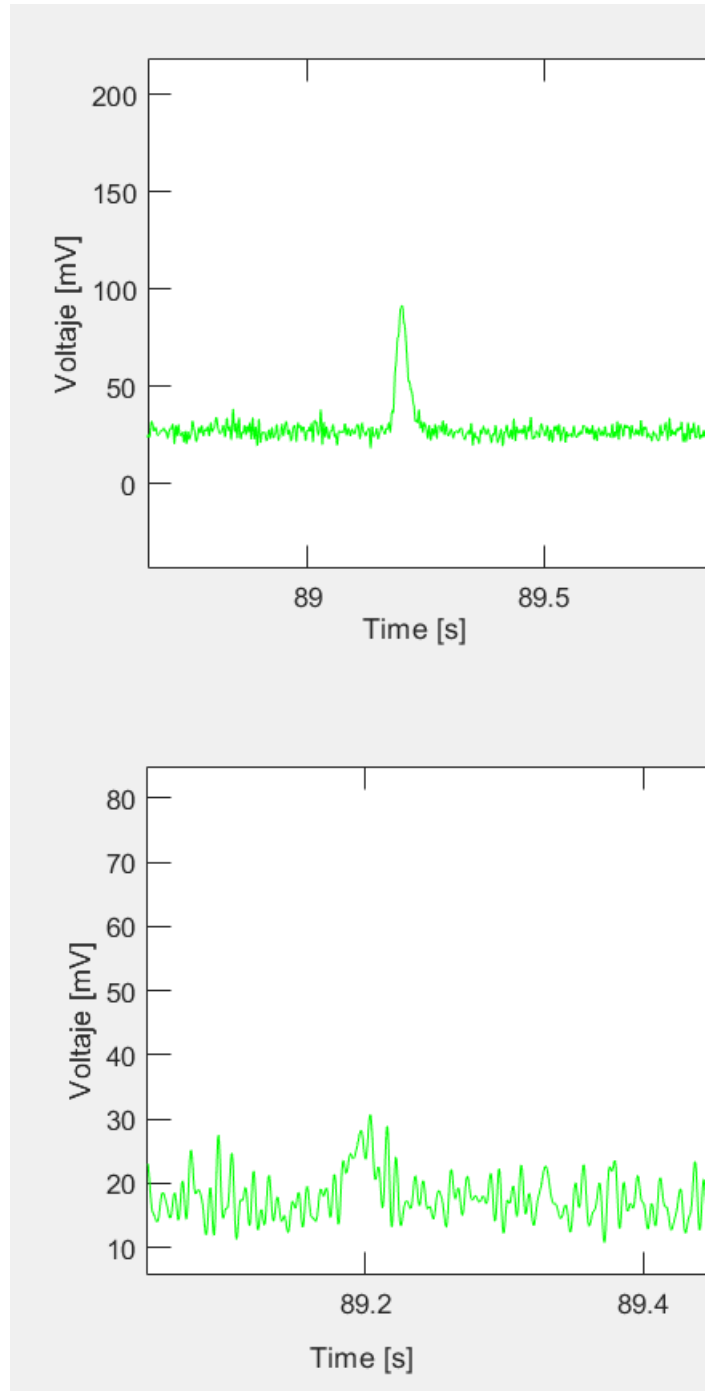
	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C2	264	1,7361	52,55	175,84	3,3990709	260
	184	1,6985	59,22	188,07	2,9169717	413
	104	1,757	56,075	202	2,171276	495
	24	1,7874	51,53	217,46	1,6637667	575

2. P_TEMP_C3





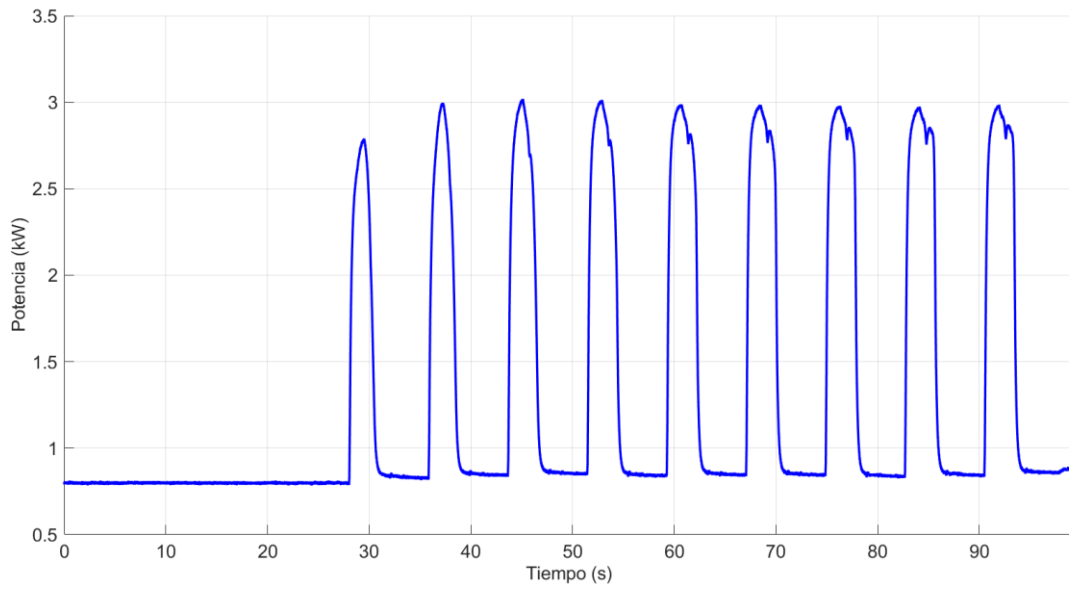
Para la mejor comprensión de las anteriores dos imágenes se hará el detalle del pico más pequeño que se nota en la gráfica del canal 1, en la que, aunque parezca que no en el canal 2 también se nota.

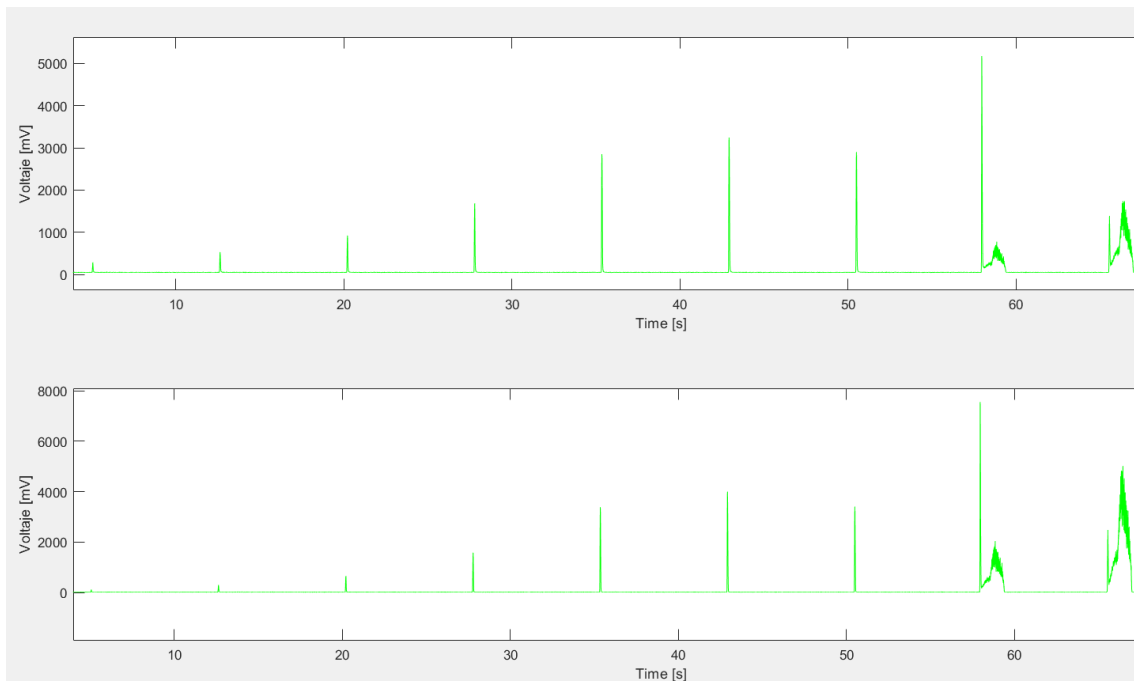
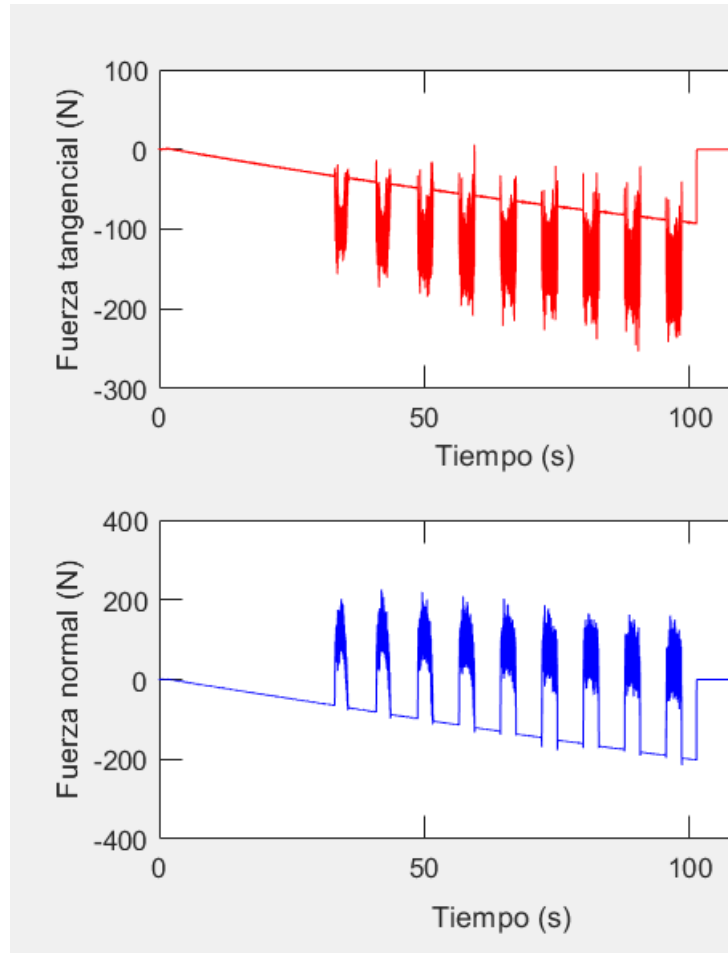


	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C3	220	1,5298	50,95	174,65	4,5169054	260
	190	1,5351	52,2	183,7	3,4736273	340
	160	1,5548	51,45	174,4	2,9522248	410
	130	1,5629	47	169,45	2,6241758	448
	100	1,577	51,75	176,15	1,9904159	517

	70	1,5901	48,65	185,65	1,6832158	571
	40	1,5946	47,5	185,6	1,4567623	610

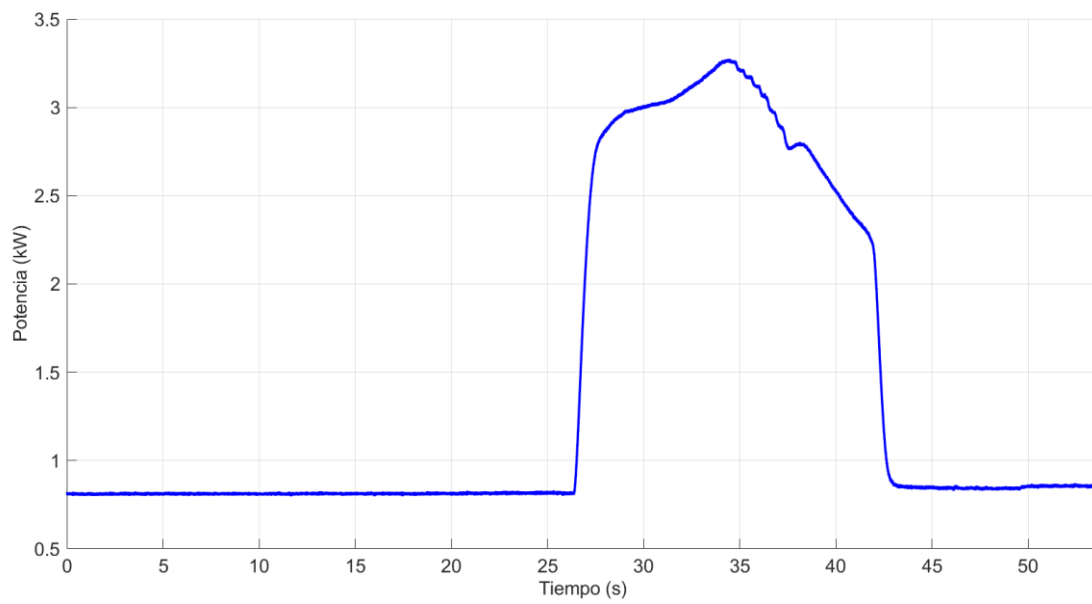
3. P_TEMP_C6

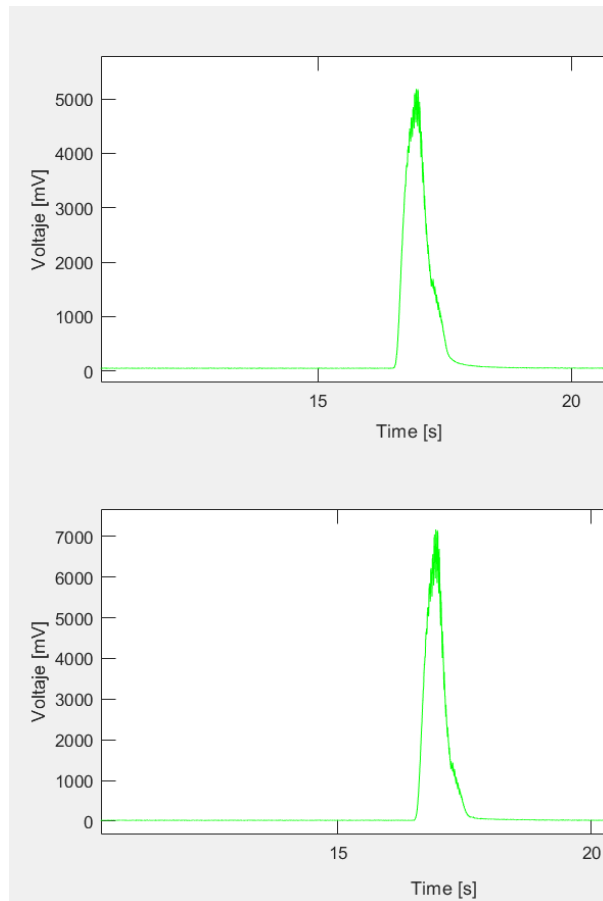
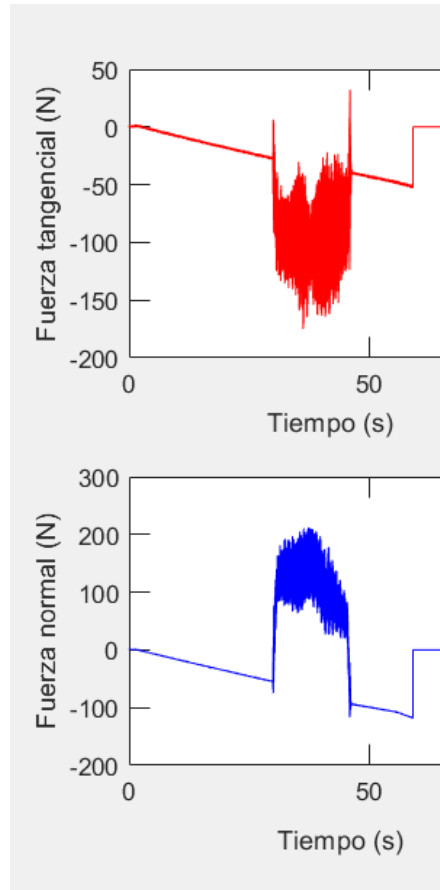




	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEM_C6	355	1,9429	61,89	194,2	2,4843398	464
	295	2,154	69,7	216	1,7323803	563
	235	2,1628	72,6	218	1,3709108	627
	175	2,1451	71,02	220	1,0508136	708
	115	2,1332	74,95	222,23	0,8347174	794
	55	2,1246	69,5	218,48	0,8043026	808
	-5	2,1198	64,3	229,77	0,8430697	791
	-65	2,1235	73,1	230	0,6816312	877
	-125	2,1264	67,2	244,2	0,5456585	960

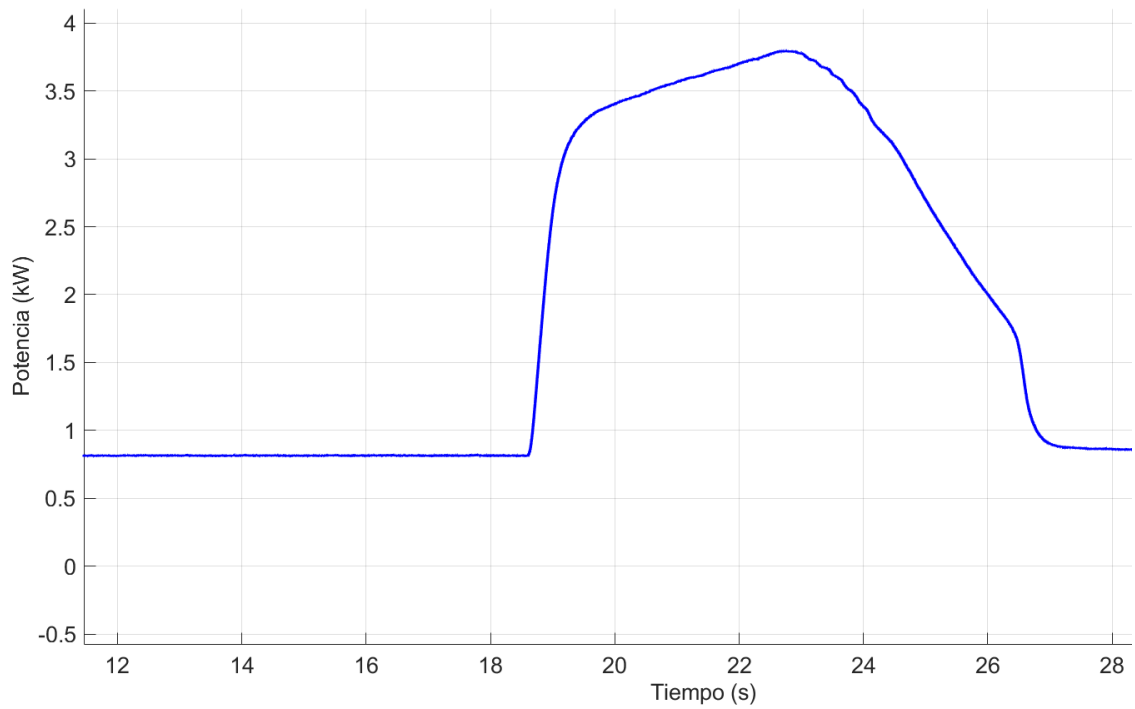
4. P_TEMP_C7

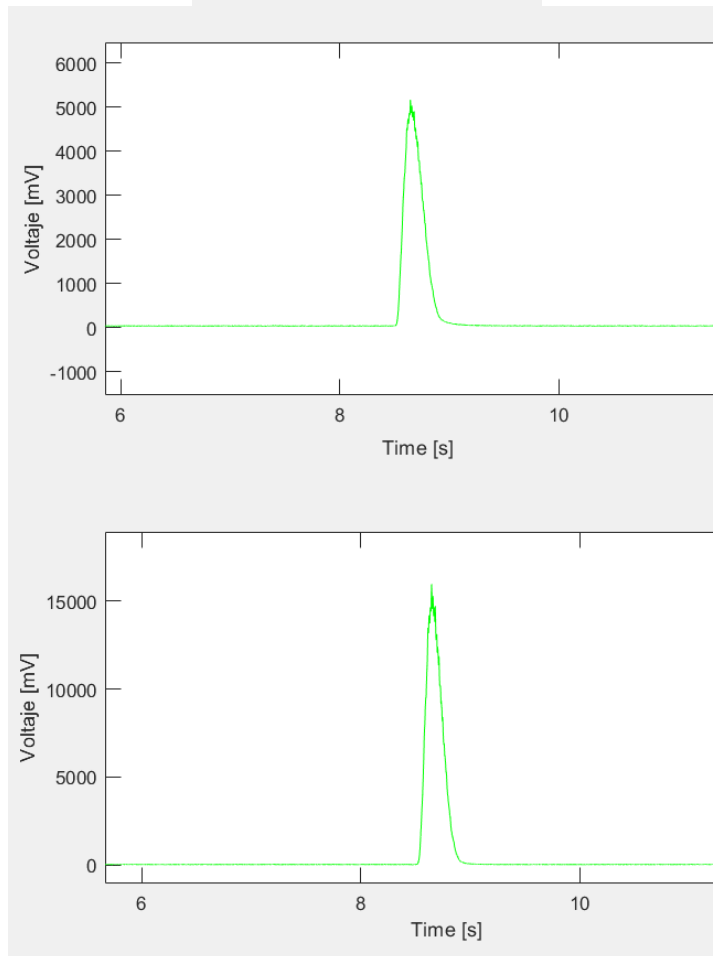
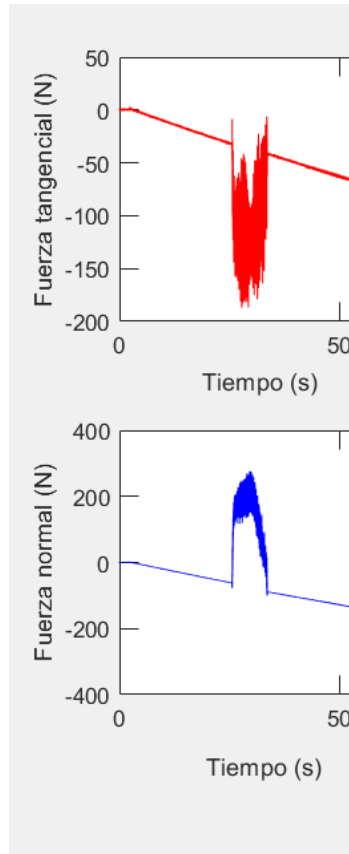




	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C7	15	2,448	74	227,9	0,7321857	847

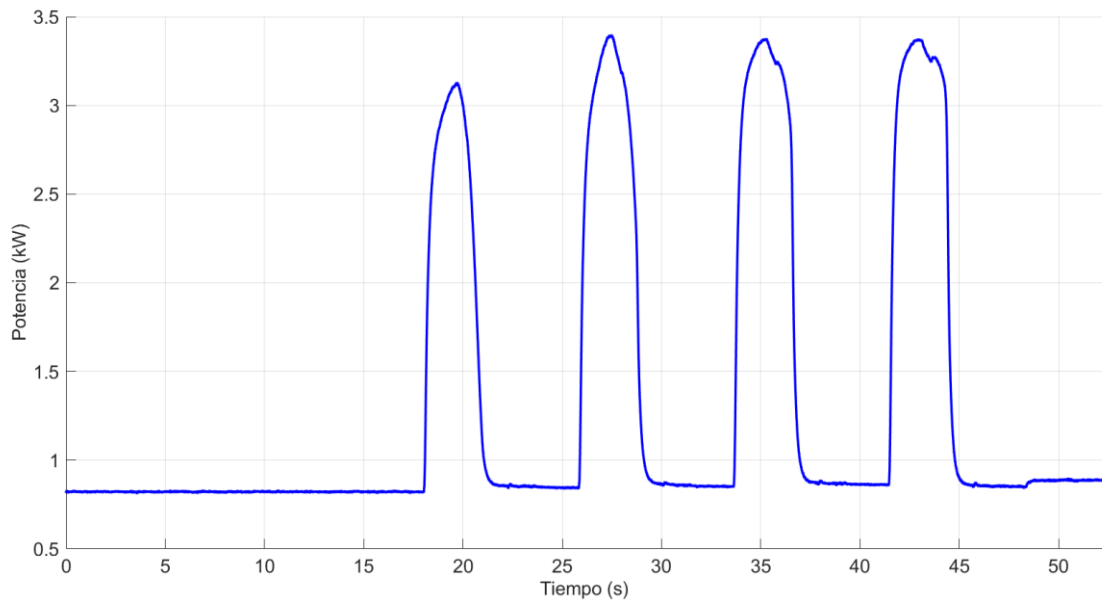
5. P_TEMP_C8

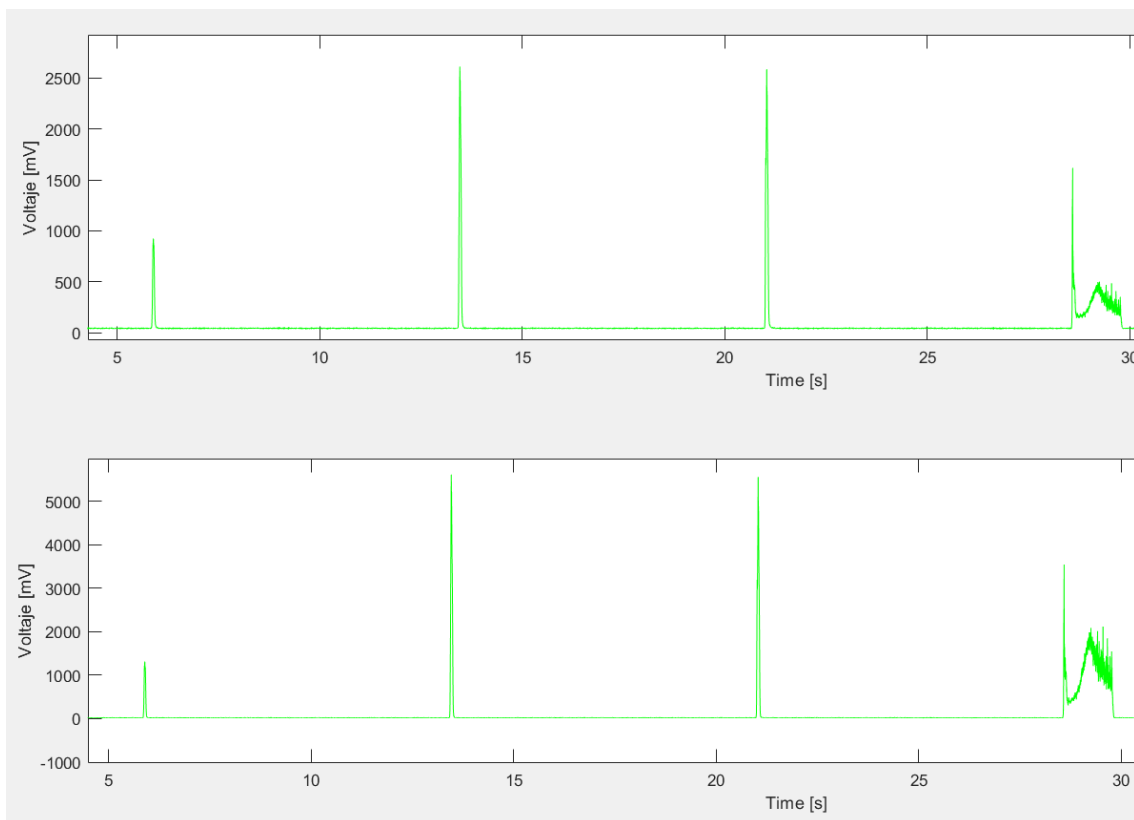
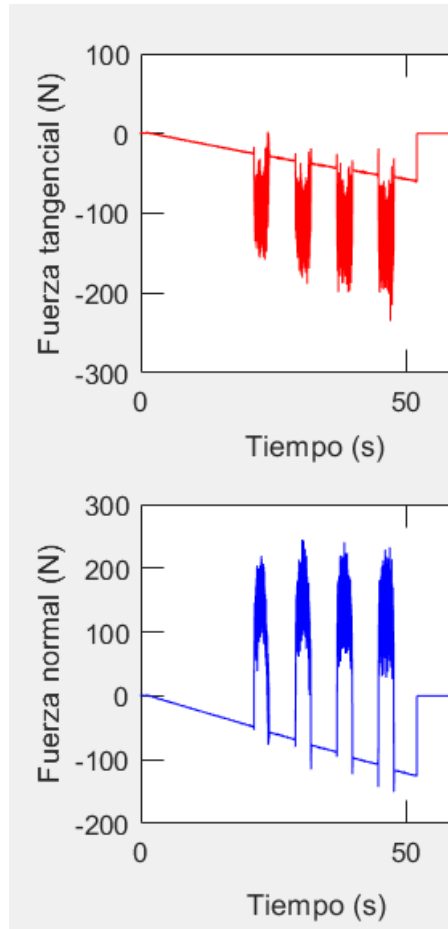




	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C8	45	2,979	91,6	284,7	0,3278694	¿?

6. P_TEMP_C9





	Distancia del fondo del aguj. a la superficie [um]	Potencia nominal [kW]	Fuerza TANGENCIAL (N)	Fuerza NORMAL (N)	Ratio de voltaje maximo	Temperatura (°C)
P_TEMP_C9	255	2,2607	80,3	201,8	0,6822773	877
	165	2,5435	91	232	0,4595457	960
	75	2,5171	79,5	232,9	0,4595662	960
	-15	2,5047	79,3	253,7	0,4468691	960

GRADO EN INGENIERIA
MECANICA
**TRABAJO FIN DE
GRADO**

***DESARROLLO DE SENSÓRICA AVANZADA
PARA LA MEDICIÓN DE LAS TEMPERATURAS
GENERADAS DURANTE EL PROCESO DE
RECTIFICADO***

***DOCUMENTO 9- ANEXO 2: RESULTADOS MEDIANTE
LA SIMULACION TERMICA GRINDSIM***

Alumno/Alumna: Gorrochategui, Jairo, Iker

Director/Directora (1): Sánchez, Galíndez, José Antonio

Curso: 2018-2019

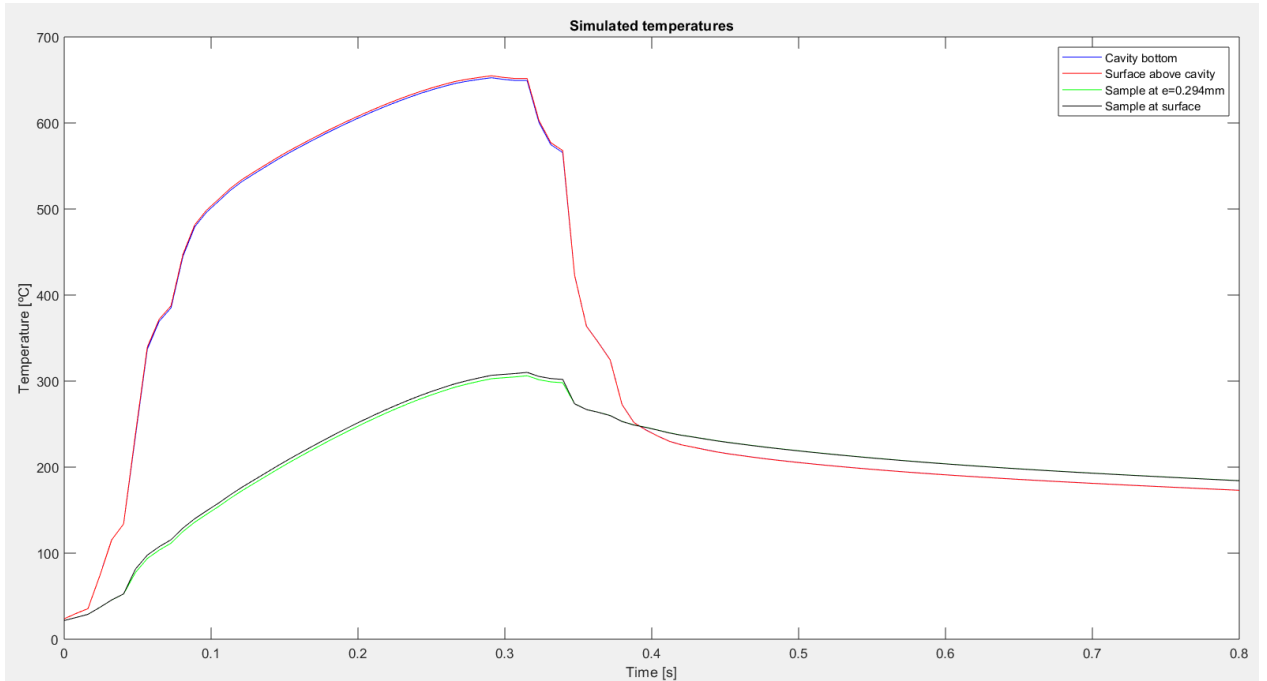
Fecha: <BILBAO, 14, 07, 2019>

DOCUMENTO 9: RESULTADOS MEDIANTE LA SIMULACION TERMICA
GRINDSIM

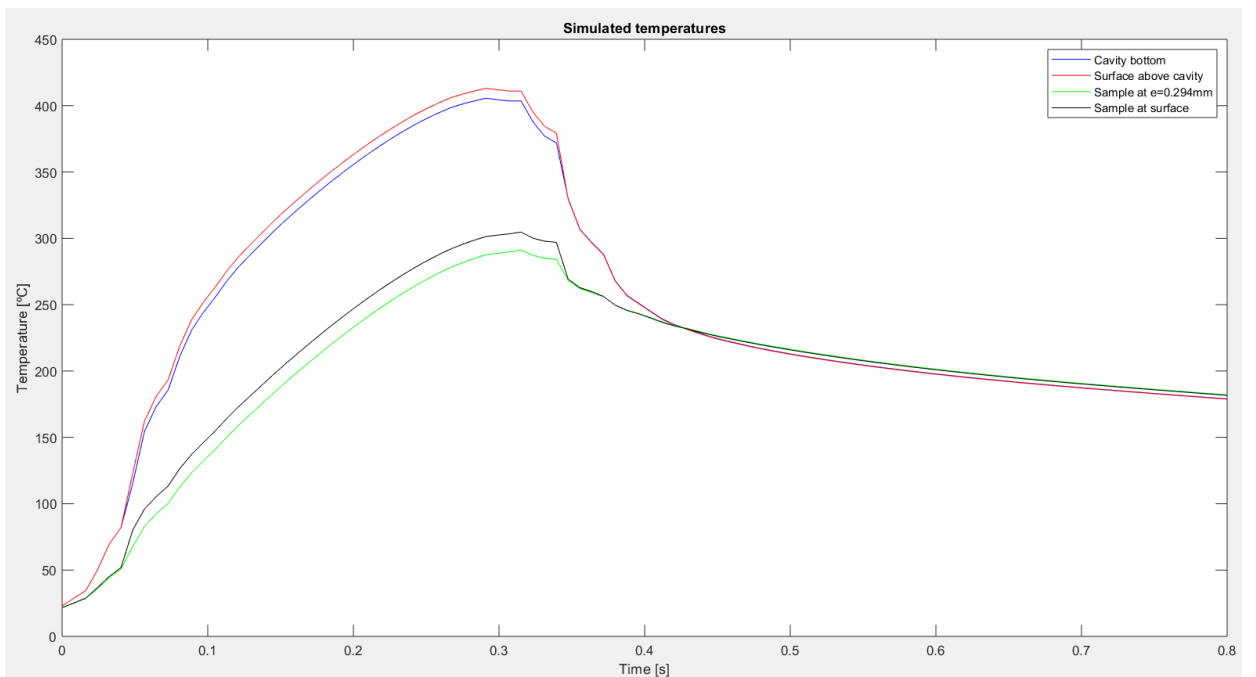
1. P_TEMP_C2.....	107
1.1. P_TEMP_C2_1	107
1.2. P_TEMP_C2_2	107
1.3. P_TEMP_C2_3	108
1.4. P_TEMP_C2_4	108
2. P_TEMP_C3.....	109
2.1. P_TEMP_C3_1	109
2.2. P_TEMP_C3_2	109
2.3. P_TEMP_C3_3	110
2.4. P_TEMP_C3_4	110
2.5. P_TEMP_C3_5	111
2.6. P_TEMP_C3_6	111
2.7. P_TEMP_C2_7	112
3. P_TEMP_C6.....	112
3.1. P_TEMP_C6_1	112
3.2. P_TEMP_C6_2	113
3.3. P_TEMP_C6_3	113
3.4. P_TEMP_C6_4	114
3.5. P_TEMP_C6_5	114
3.6. P_TEMP_C6_6	115
3.7. P_TEMP_C6_7	115
3.8. P_TEMP_C6_8	116
3.9. P_TEMP_C6_9.....	116
4. P_TEMP_C7.....	117
5. P_TEMP_C8.....	117
6. P_TEMP_C9.....	118
6.1. P_TEMP_C9_1	118
6.2. P_TEMP_C9_2	119
6.3. P_TEMP_C9_3	119
6.4. P_TEMP_C9_4	119

1. P_TEMP_C2

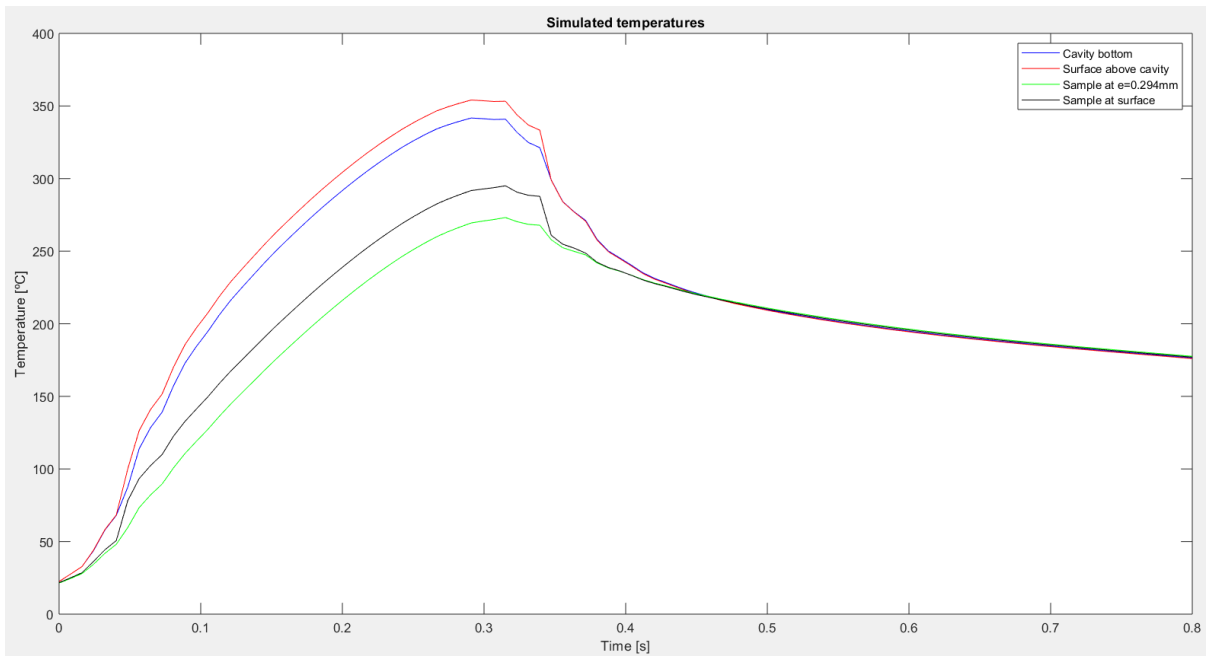
1.1. P_TEMP_C2_1



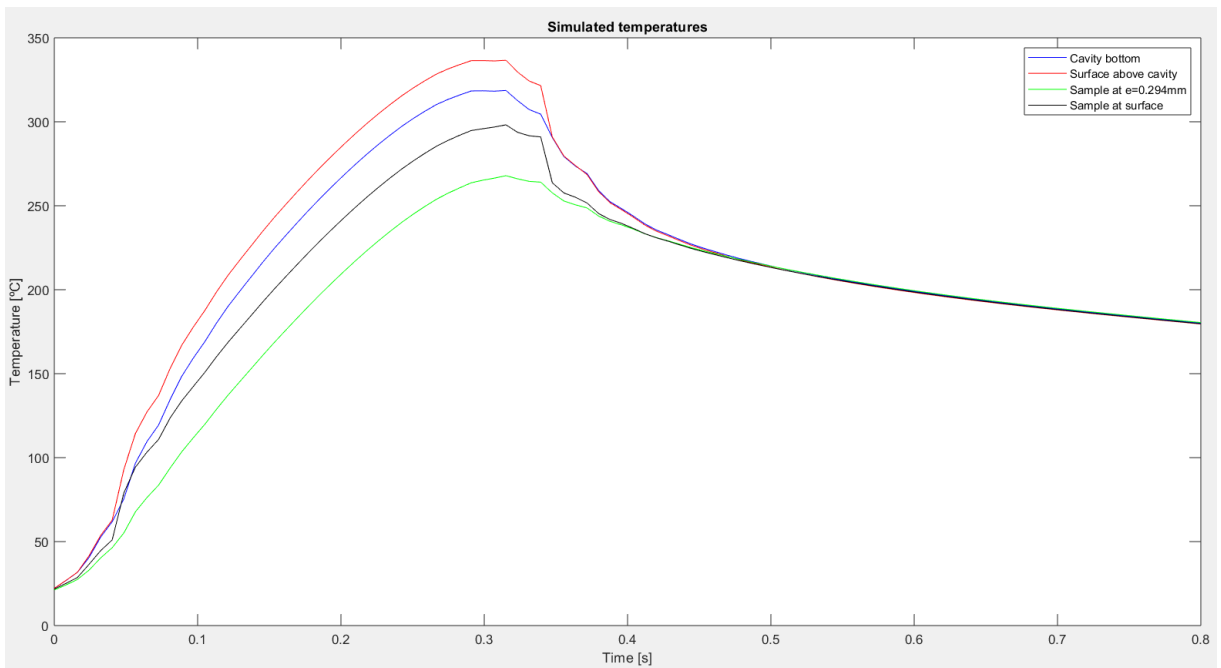
1.2. P_TEMP_C2_2



1.3. P_TEMP_C2_3

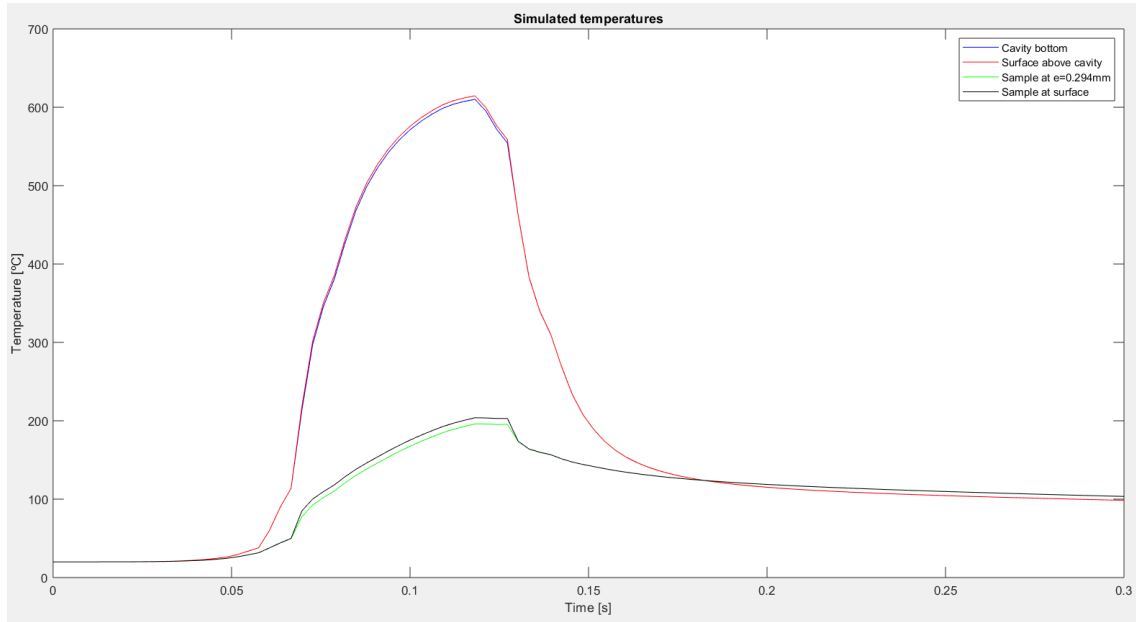


1.4. P_TEMP_C2_4

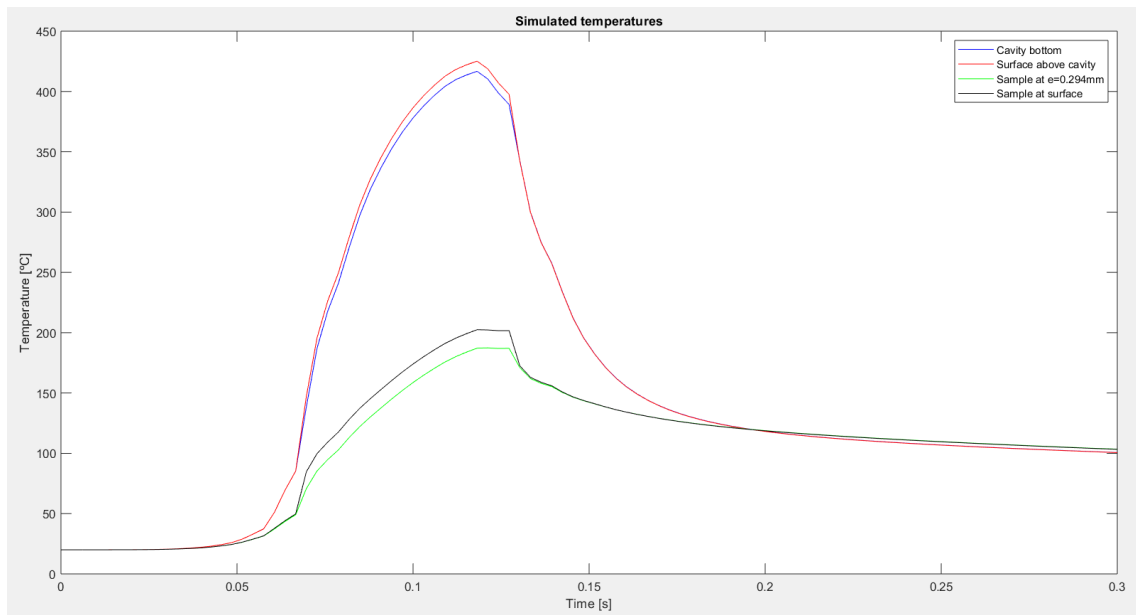


2. P_TEMP_C3

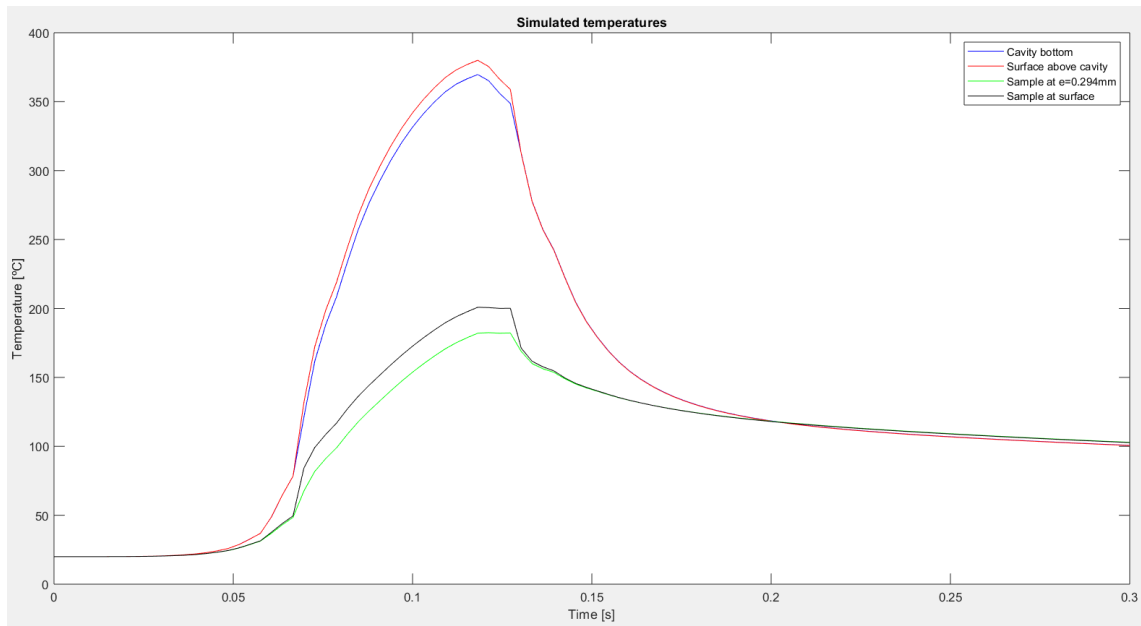
2.1. P_TEMP_C3_1



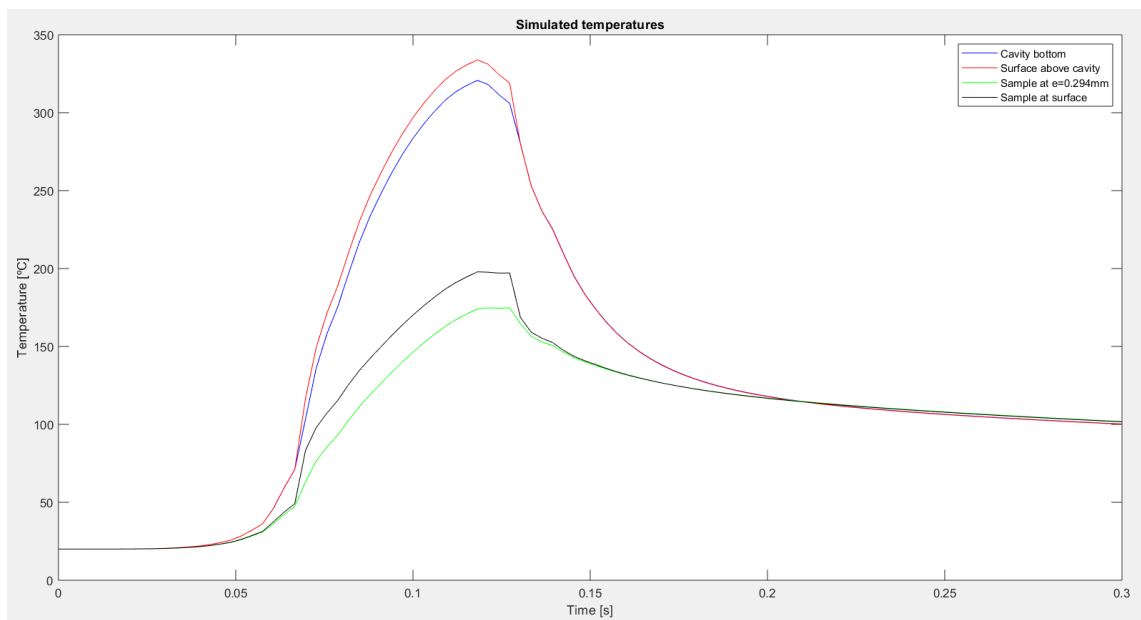
2.2. P_TEMP_C3_2



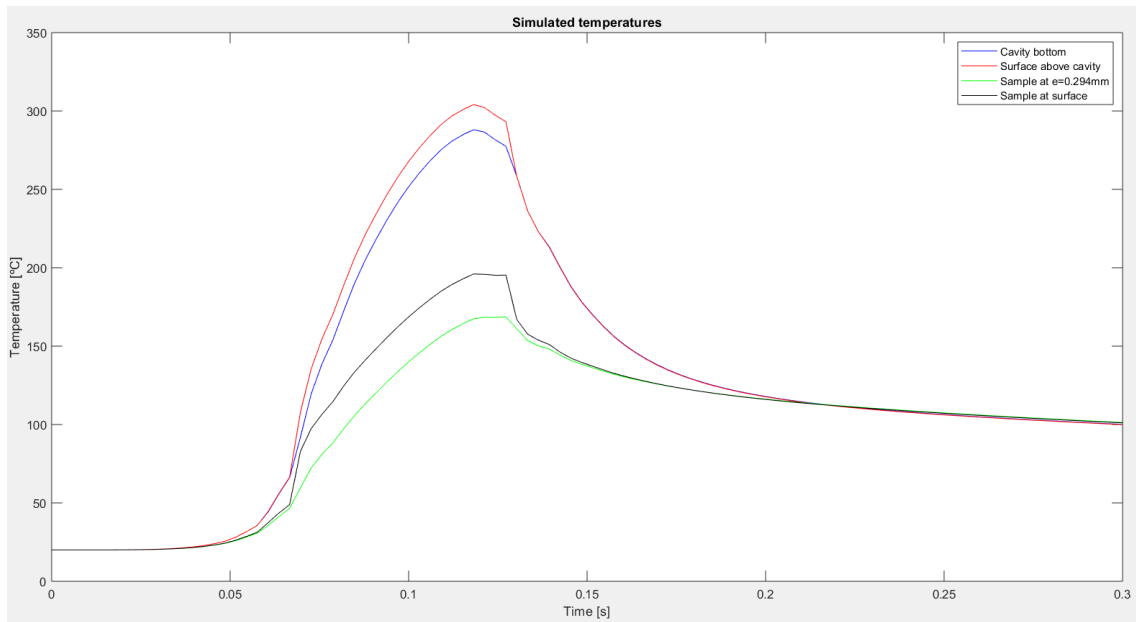
2.3. P_TEMP_C3_3



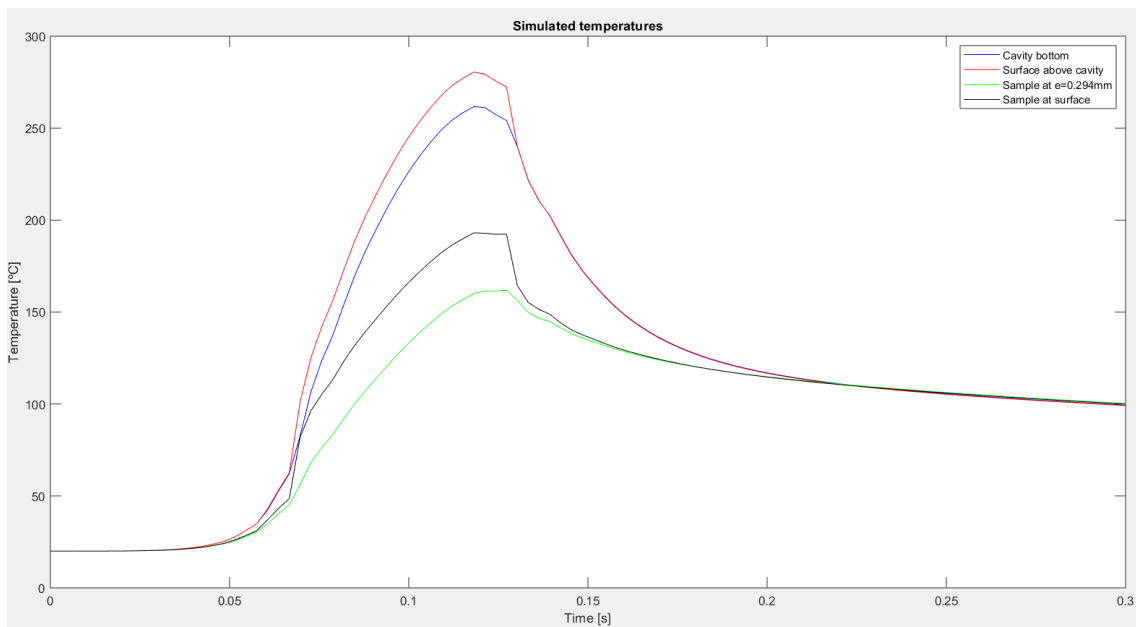
2.4. P_TEMP_C3_4



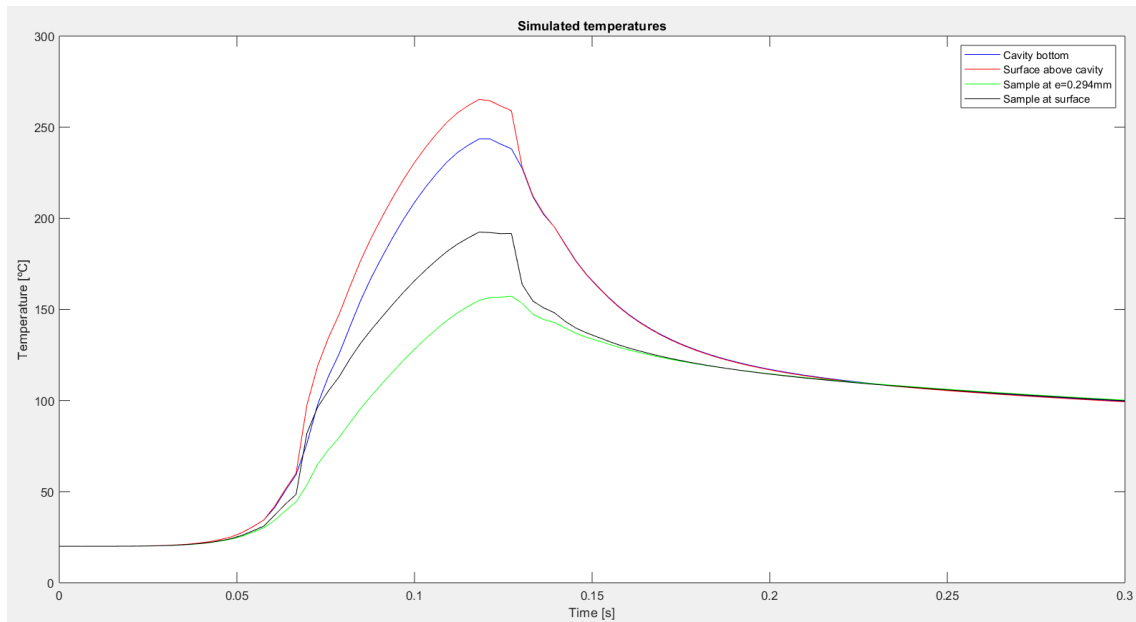
2.5. P_TEMP_C3_5



2.6. P_TEMP_C3_6

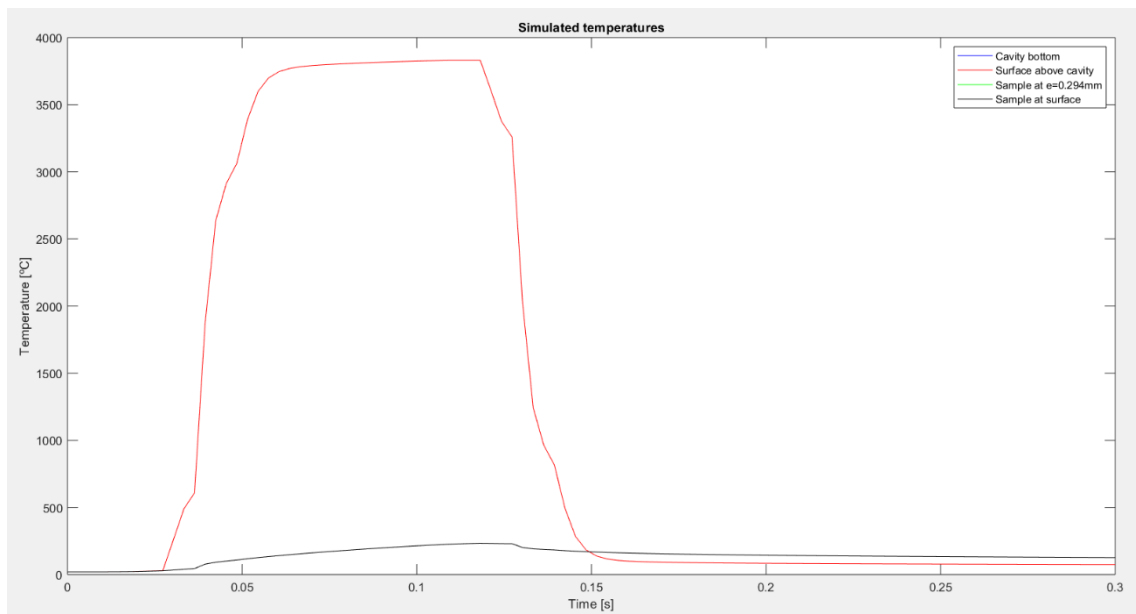


2.7. P_TEMP_C3_7

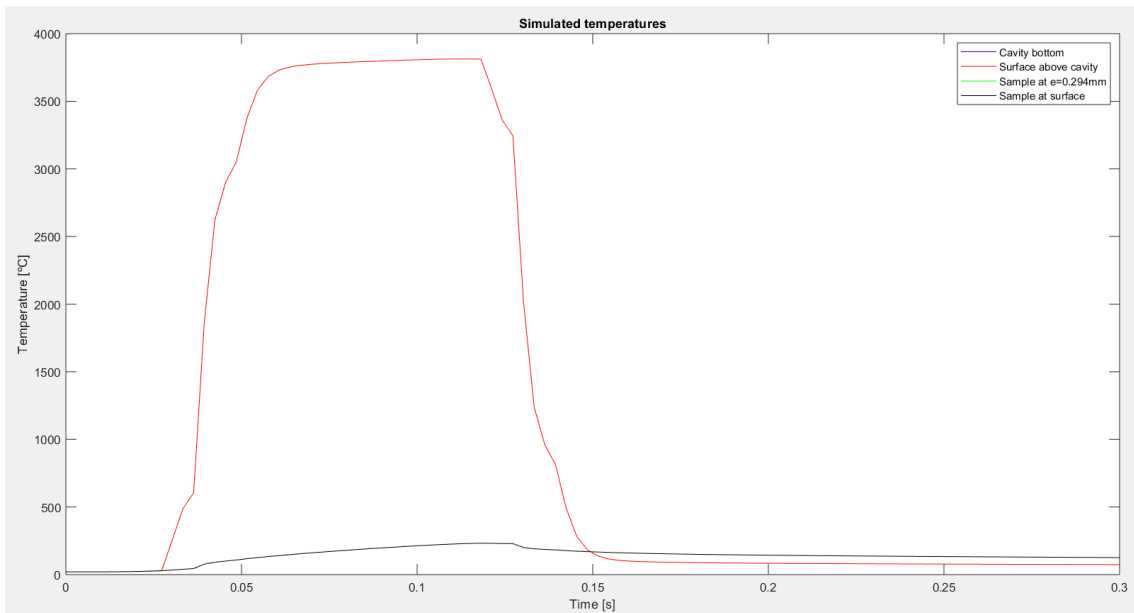


3. P_TEMP_C6

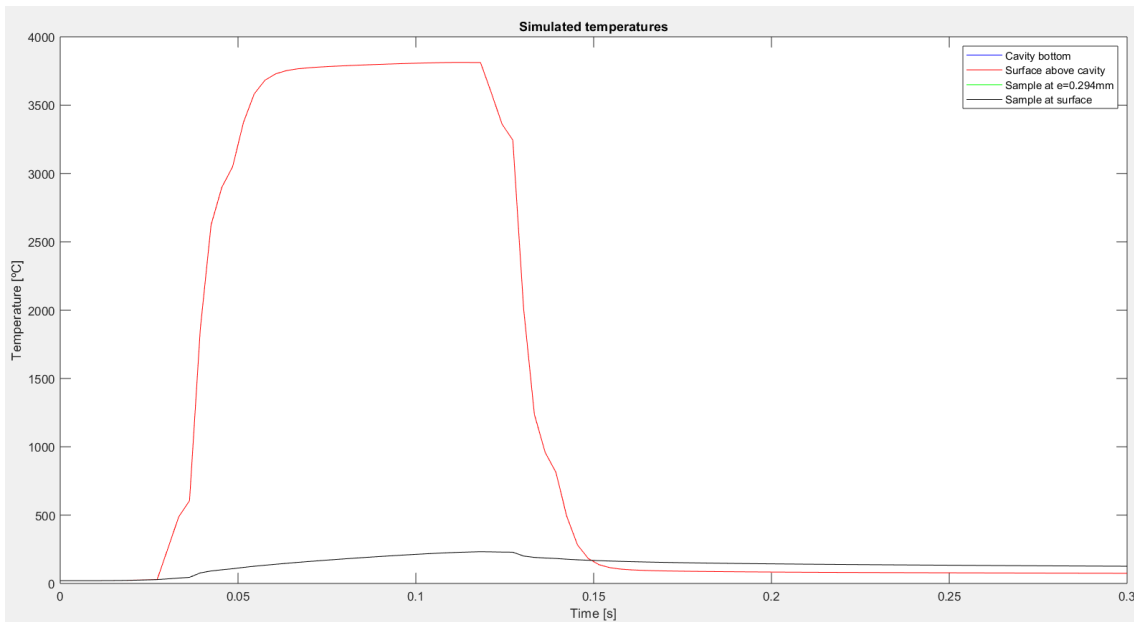
3.1. P_TEMP_C6_1



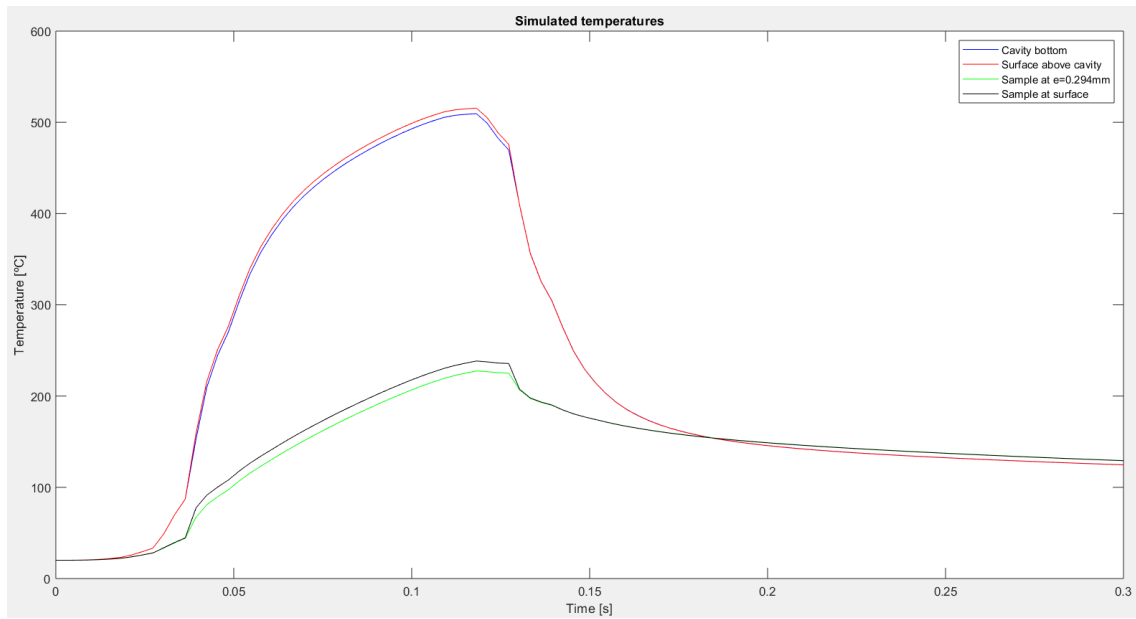
3.2. P_TEMP_C6_2



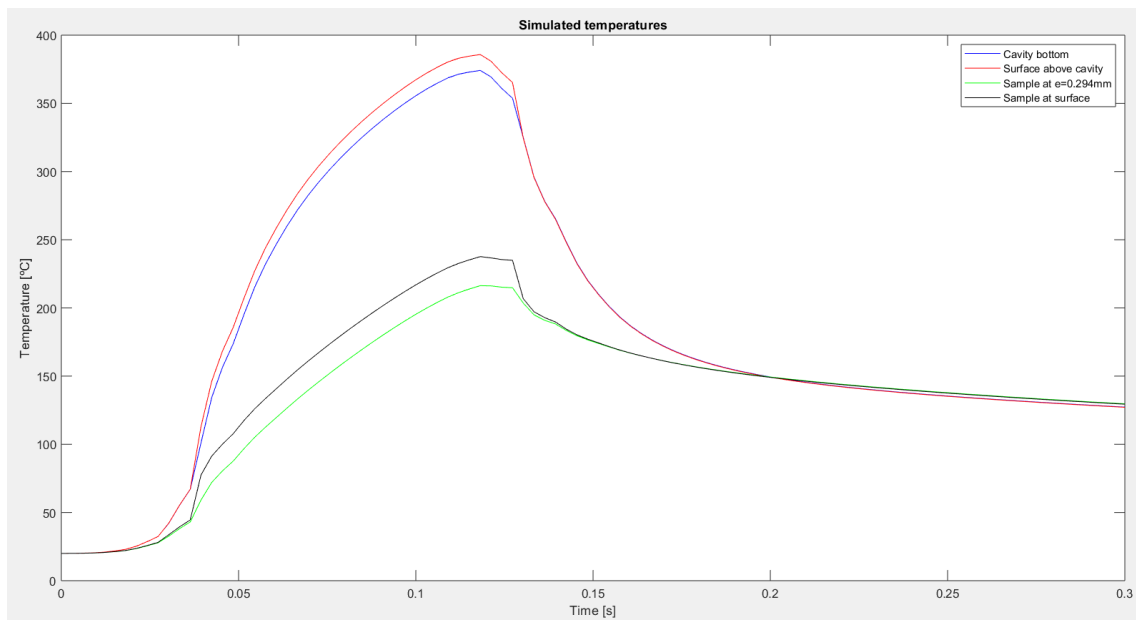
3.3. P_TEMP_C6_3



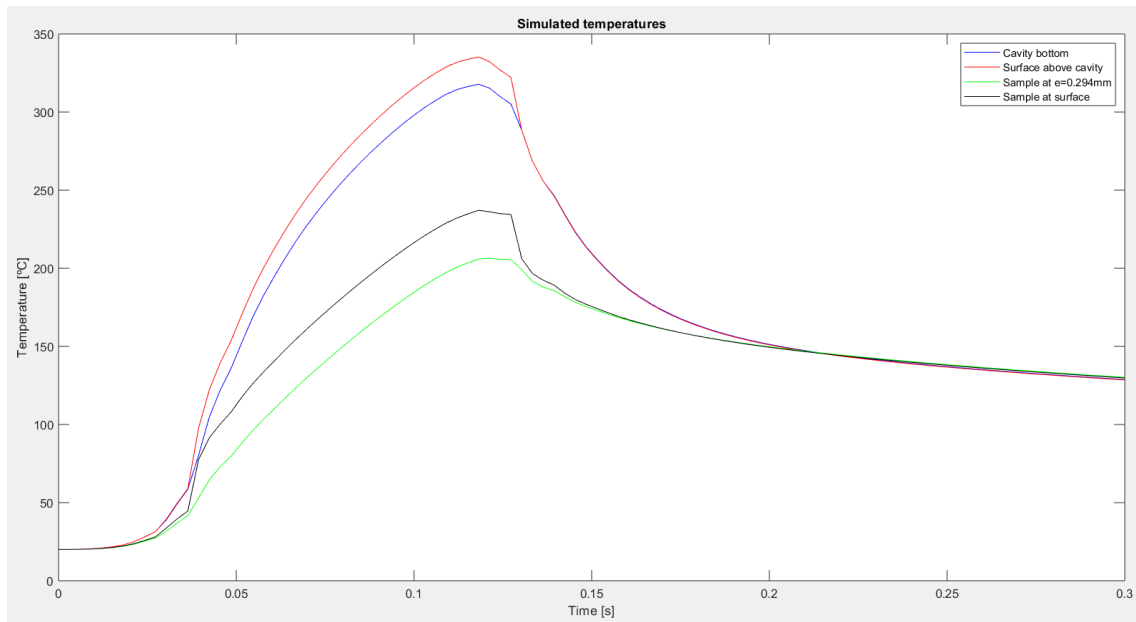
3.4. P_TEMP_C6_4



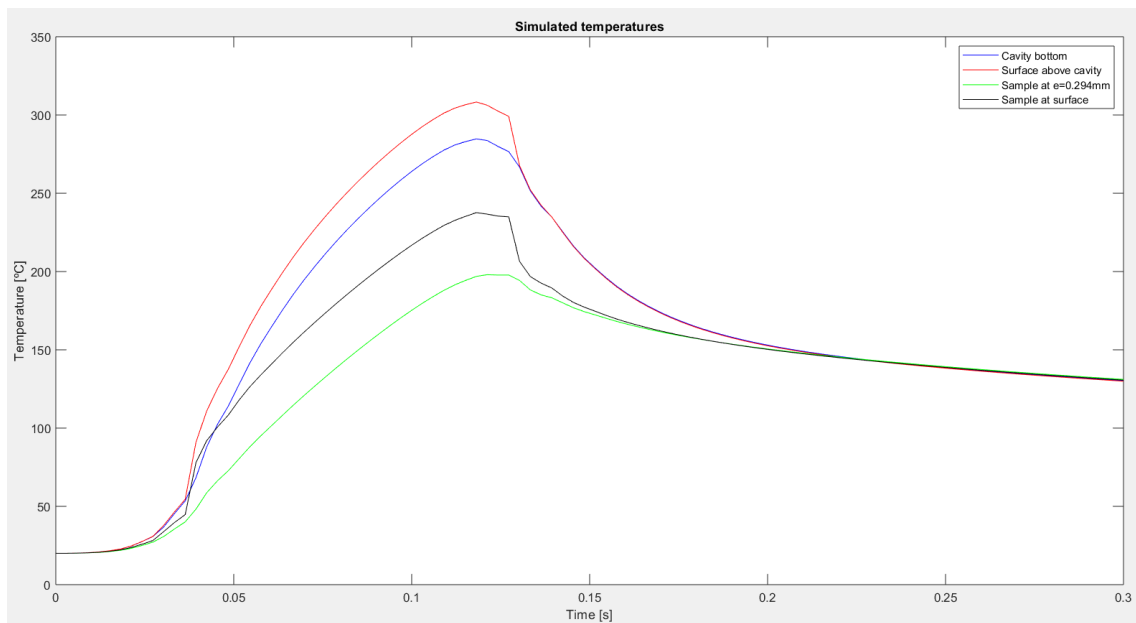
3.5. P_TEMP_C6_5



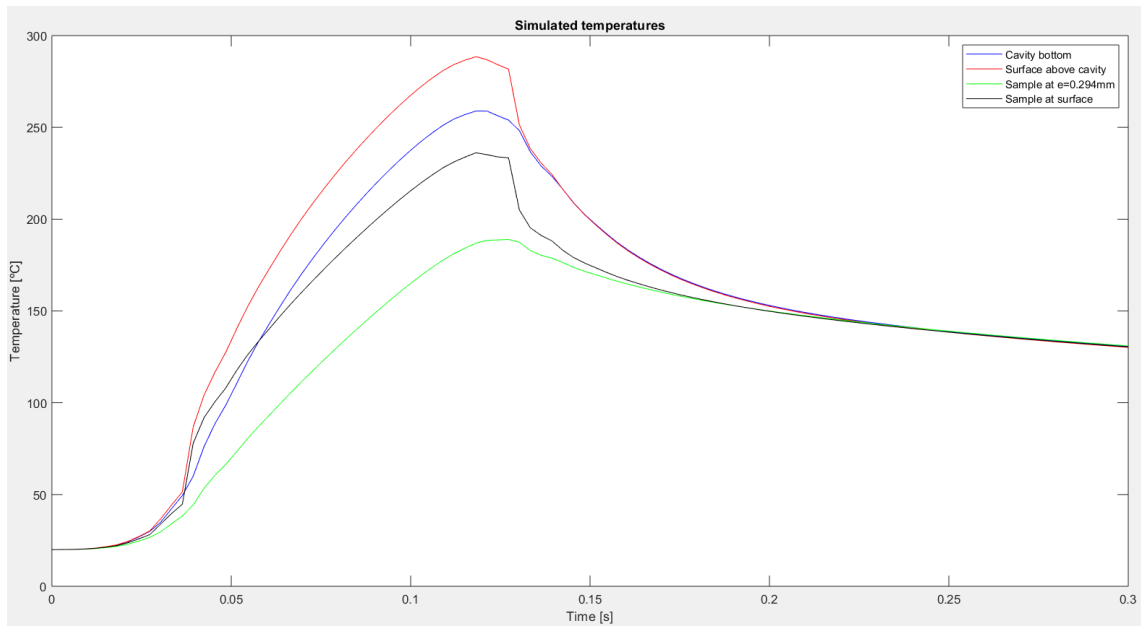
3.6. P_TEMP_C6_6



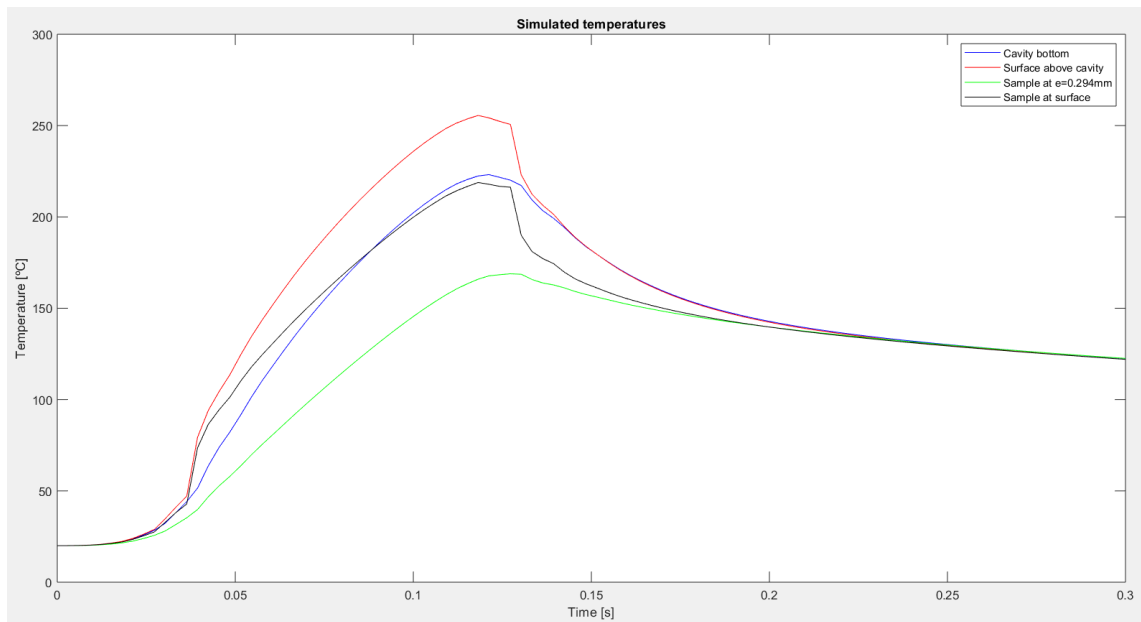
3.7. P_TEMP_C6_7



3.8. P_TEMP_C6_8

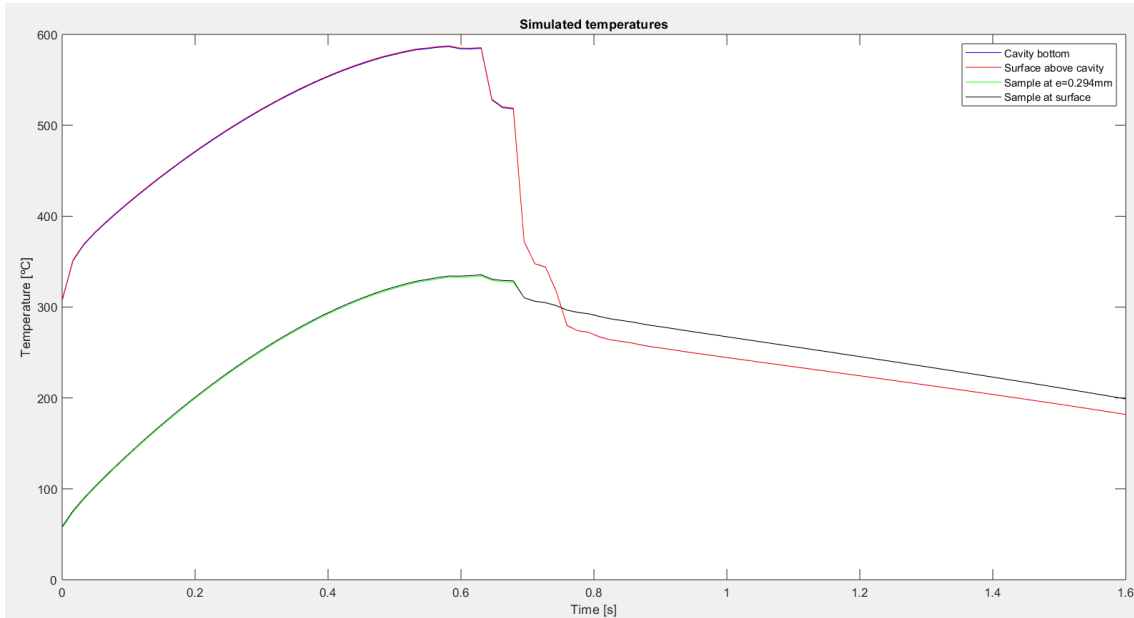


3.9. P_TEMP_C6_9



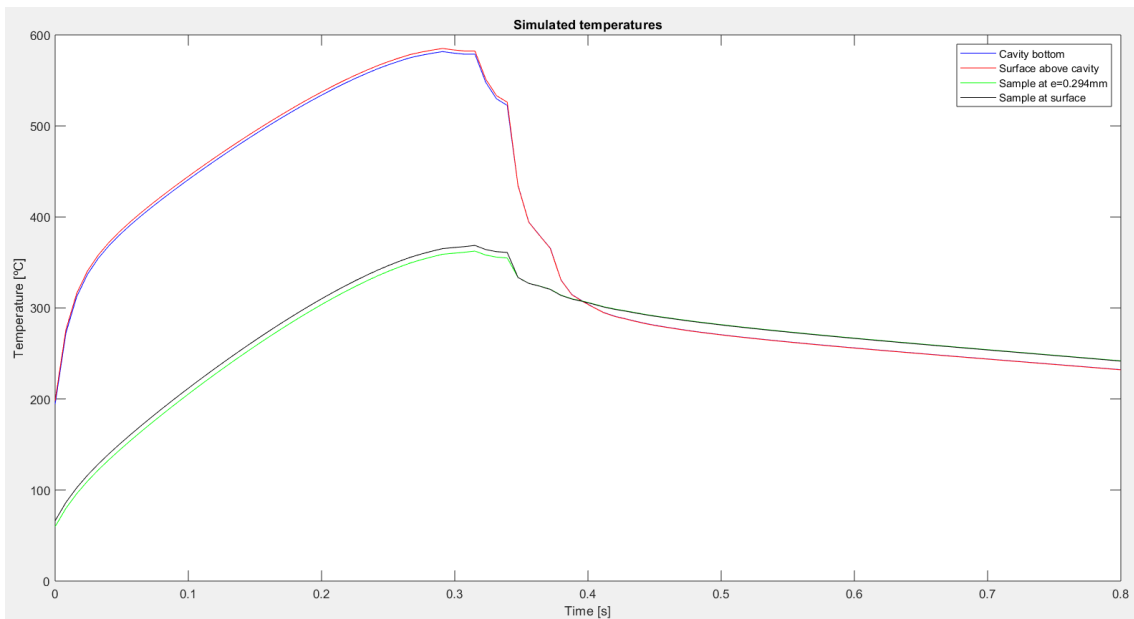
4. P_TEMP_C7

4.1. P_TEMP_C7_1



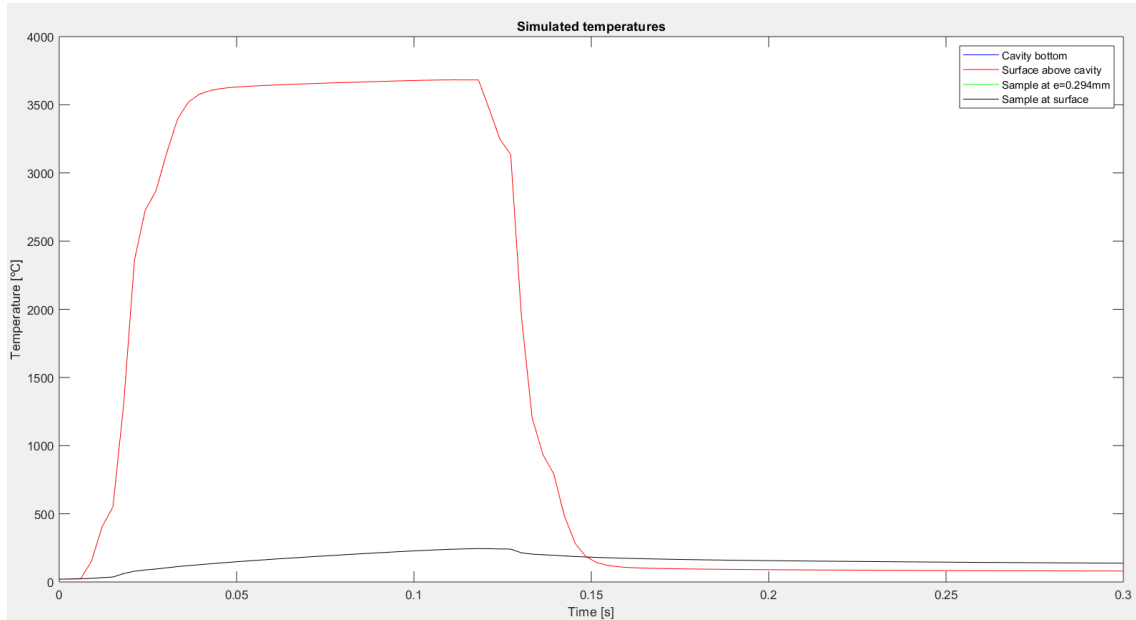
5. P_TEMP_C8

5.1. P_TEMP_C8_1

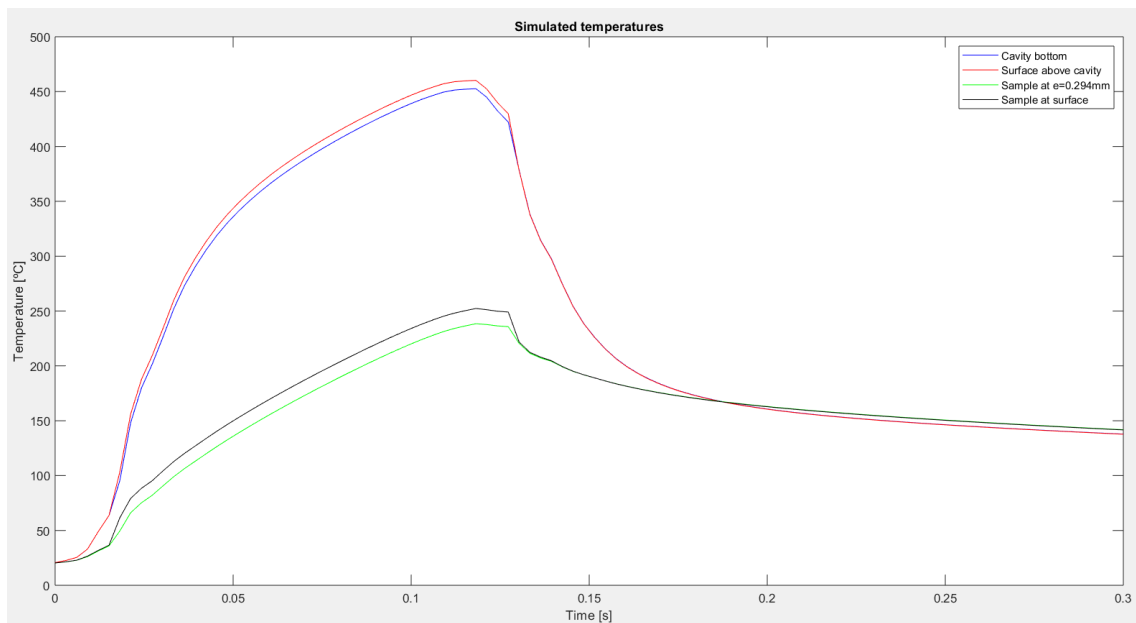


6. P_TEMP_C9

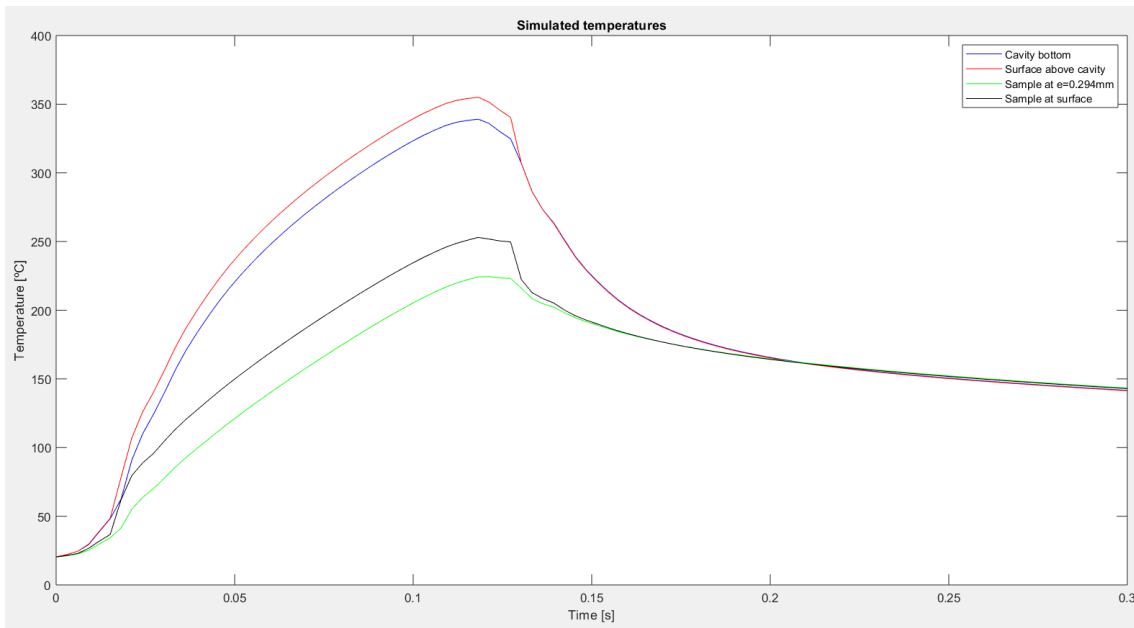
6.1. P_TEMP_C9_1



6.2. P_TEMP_C9_2



6.3. P_TEMP_C9_3



6.4. P_TEMP_C9_4

