
Estudio experimental de la eficiencia energética de calefactores cerámicos dopados

AUTOR:

ENRIQUE MANUEL VELA SERRA

TUTOR ACADÉMICO:

Isabel Tort Ausina

Departamento de Física Aplicada



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR
ENGINYERIA
D'EDIFICACIÓ

ETS d'Enginyeria d'Edificació
Universitat Politècnica de València

Resumen

Desde hace tiempo el ser humano busca ser más eficiente energéticamente. Los arquitectos técnicos podemos ayudar enormemente en esta labor haciendo que los edificios demanden menos energía, que contaminen menos en su proceso constructivo o diseñando aparatos y materiales más eficientes. En este último punto es en el que se centra este TFG, en desarrollar un nuevo tipo de aparatos más eficientes y estimar su ahorro. Para ello se pretende dopar cerámica con un compuesto susceptible de las microondas, consiguiendo así un material que sea capaz de calentarse rápidamente al aplicar sobre él microondas y que gracias a la elevada inercia térmica de la matriz cerámica tarde mucho tiempo en disipar este calor.

La primera parte del trabajo consistió en la búsqueda de la composición con la cual desarrollar un calefactor más eficiente. Para ello, las composiciones que daban resultados positivos se introducían en un horno microondas al cual iba acoplado un pirómetro óptico, midiéndose el tiempo que tardaba en aumentar su temperatura y el que empleaba para enfriarse. Con estos datos se desarrolló el material definitivo con el que la empresa hará su calefactor.

Una vez construido un prototipo del calefactor el siguiente paso es estimar el ahorro energético que puede conseguir. Para ello vamos a elevar la temperatura del aire de una cámara aislada de 338L de volumen con una cerámica calentada gracias al uso de resistencias eléctricas y, posteriormente, con el calefactor cerámico dopado, midiendo los consumos y los tiempos que necesitan ambos tipos de calefactores para aumentar 10°C la temperatura del aire del interior de la cámara. Una vez realizados los ensayos se hace una comparativa entre los resultados obtenidos para conseguir así una estimación del ahorro energético obtenido. La última parte del trabajo consiste en, una vez calculado el ahorro energético, comprobar si este sistema de calefacción puede mejorar la eficiencia energética de una casa y estimar los kg de CO₂ que puede llegar a ahorrar en comparación con otros sistemas de calefacción. Para ello se diseñará una vivienda tipo en el programa Ce3x con la que se obtendrán diferentes certificados energéticos en función del tipo de calefactor empleado. También se realizarán cambios en el diseño de la casa para ver de qué manera pueden afectar éstos a las emisiones de CO₂, y con todos estos datos se extraerán las conclusiones del trabajo.

Palabras clave: Microondas, calefactor, dopado, eficiencia energética, estudio comparativo.

Abstract

From long time ago the human being seeks to improve become more energy efficient. Technical architects can help enormously in this effort by making the buildings require less energy, pollute less in its construction process and materials or designing devices that save energy. This last point is where the present TFG focuses, to develop a new type of more efficient appliances and estimate their savings. In this project we try to get a ceramic material doped with a microwave susceptor compound, thereby producing a material that is able to heat up quickly when applied to the microwaves and very slow to dissipate this heat due to high thermal inertia of ceramic matrix.

This work begins with the searching for a composition which could be the base of a new more efficient heater. Compositions with positive results were put into a microwave oven provided with an optical pyrometer. Time required to increase and decrease its temperature was measured. The final material which will be used for the Microbiotech's heater was developed from these data.

After making a prototype of the heater the next step is to estimate the energy savings that can be achieved. We are going to increase the air temperature in an isolated 338L volume chamber with a ceramic heated by using electric resistances and subsequently with the doped ceramic heater, measuring consumption and time both types of heaters need to increase 10 degrees air temperature inside the chamber. A comparison between the results obtained is made when the tests have been finished in order to get an estimate of the energy savings.

When energy savings have been calculated we proceed to check whether this heating system can improve the energy efficiency of a house and estimate how many kilograms of carbon dioxide could save compared to other heating systems. It were designed for this a normal property in the Ce3x program which we'll get different energetic certificates depending on different heating systems. It will be study to see how they vary their emissions. Changes were also made in the design of the house in order to calculate how they may affect CO2 emissions, and with all these data the conclusions are drawn.

Key words: Microwaves, heater, doped, energy efficiency, experimental study.

Agradecimientos

Mi agradecimiento a la empresa Microbiotech SL por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo con ellos, especialmente a Rtuh de los Reyes y a Elías de los Reyes, por la confianza depositada en mí y por el tiempo y esfuerzo que han dedicado en que todo esto salga hacia adelante.

Agradecimientos también para la empresa Vicar SA, que nos prestó los laboratorios cuando aún no disponíamos de los mismos y a todos los técnicos que me ayudaron, por el trato tan amable recibido y por la paciencia con la que me enseñaron.

Agradezco a mi familia el apoyo prestado, por aguantarme mi mal humor los días de más estrés y por estar siempre a mi lado dándome el apoyo y el aliento necesario, especialmente a mis padres y a mi hermano que son los que más me han sufrido estos días

Por último mis agradecimientos a Isabel Tort Ausina, profesora en la Escuela Técnica Superior de grado en arquitectura técnica en el Dpto. de Física Aplicada, y directora de la Cátedra *UNESCO Forum --- Universidad y Patrimonio*, no sólo por brindarme la oportunidad de realizar este TFG, sino por el excelente trabajo de tutorización realizado, contestando mis llamadas o correos prácticamente a cualquier hora del día y por su exhaustividad y minuciosidad a la hora de corregir mi trabajo, dedicándome gran parte de su tiempo.

Acrónimos utilizados

ACS: Agua Caliente Sanitaria

Ce3x: Certificación Energética de Edificios Existentes

CEEI: Centro Europeo de Empresas Innovadoras

CO₂: Dióxido de carbono

CTE: Código Técnico de la Edificación

Ghz: Giga Hercios

H: Humedad

Kw·h: Kilo Watio · hora

MBT01-AT: Microbiotech 01 Atomizado

Mhz: Mega Hercios

Mpa: Mega Pascales

PC: Personal Computer

R: Relativa

RITE: Reglamento de Instalaciones Técnicas en los Edificios

SA: Sociedad Anónima

SL: Sociedad Limitada

T: Temperatura

TFG: Trabajo Final de Grado

Índice

INTORDUCCIÓN

Presentación del trabajo:	Pag. 9
Confort climático:	Pag. 10-14

DESARROLLO

Parte 1: Análisis experimentales para la elaboración de elementos cerámicos dopados	Pag.15-29
Parte 2: Resultados obtenidos de los experimentos	Pag.30-44
Parte 3: Análisis experimentales del calentamiento del aire mediante Calefactores cerámicos dopados y comparativa con un calefactor cerámico con resistencia eléctrica.....	Pag.45-53
Parte 4: resultados de los ensayos realizados en la cámara aislada.....	Pag.54-65
Parte 5: análisis de la eficiencia energética de los calefactores cerámicos como sistemas de calefacción.....	Pag.66-84

CONCLUSION

Conclusiones.....	Pag.85-91
-------------------	-----------

INDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras.....	Pag.92-93
Tablas.....	Pag.94

BIBLIOGRAFÍA.....	Pag. 95-96
-------------------	------------

ANEXOS:

Anexo 1.	Pag.98-102
Anexo 2.....	Pag.104-121

Introducción

PRESENTACIÓN DEL TRABAJO Y OBJETIVOS

Desde hace unos años, el ser humano está buscando nuevas formas de ser más eficiente energéticamente para contaminar menos y reducir así el calentamiento global. Los arquitectos técnicos podemos ayudar enormemente en este proceso actuando en el desarrollo de la construcción de edificios para que necesiten menos aporte de energía, que usen fuentes de energía más limpias o que empleen instalaciones que consuman menos.

El tema principal de este trabajo se centra en este último punto, en mejorar la eficiencia de los edificios gracias al uso de instalaciones que consuman menos. Para ello, se van a exponer los ensayos realizados con una tecnología novedosa aplicada a calefactores y estimar el posible ahorro energético y económico que se obtenga comparando su consumo respecto a los sistemas de calefacción convencionales.

Empezaré mi trabajo exponiendo cómo funcionan los calefactores cerámicos dopados, las novedades tecnológicas que presentan y su forma de trabajo, deteniéndome brevemente a explicar los principios fisicoquímicos básicos para la comprensión de la forma de trabajo de este sistema; proseguiré explicando el trabajo realizado en cuanto a la búsqueda de la matriz cerámica idónea para poder realizar este tipo de calefactor; continuaré describiendo las herramientas y el procedimiento empleado para poder realizar los ensayos que nos permitan evaluar el comportamiento de estos calefactores; a continuación mostraré los resultados obtenidos y los cálculos que se hayan realizado, obteniendo de esta manera el consumo de los calefactores; posteriormente calcularemos el coste que supondría la instalación de dicho sistema en un hogar y ver si supone un ahorro real o no; y por último expondré mis conclusiones.

El objetivo del presente trabajo es la realización de diferentes análisis experimentales que permitan, por un lado, la creación de un nuevo material que sirva para la creación de un novedoso modelo de calefactores, y por otro, para comprobar el comportamiento de dicho material y estimar la mejora energética que supone, haciendo una comparativa con otro tipo de calefactores.

CONFORT CLIMÁTICO

El confort térmico se define como: “Esa condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” (1). Este parámetro no es sencillo de calcular ya que se tienen en cuenta para ello numerosos factores desde ubicación, orientación y ventilación de la vivienda hasta actividades realizadas en ella e indumentaria de sus habitantes.

Como norma general y para unas condiciones habituales de uso, se estima que la temperatura óptima de confort es 22°C, con una humedad relativa de entre el 20% y el 70%, aunque como se puede observar en la figura 1 en función de la humedad, la velocidad del aire etc. Este rango puede variar desde los 20°C hasta casi los 30°C

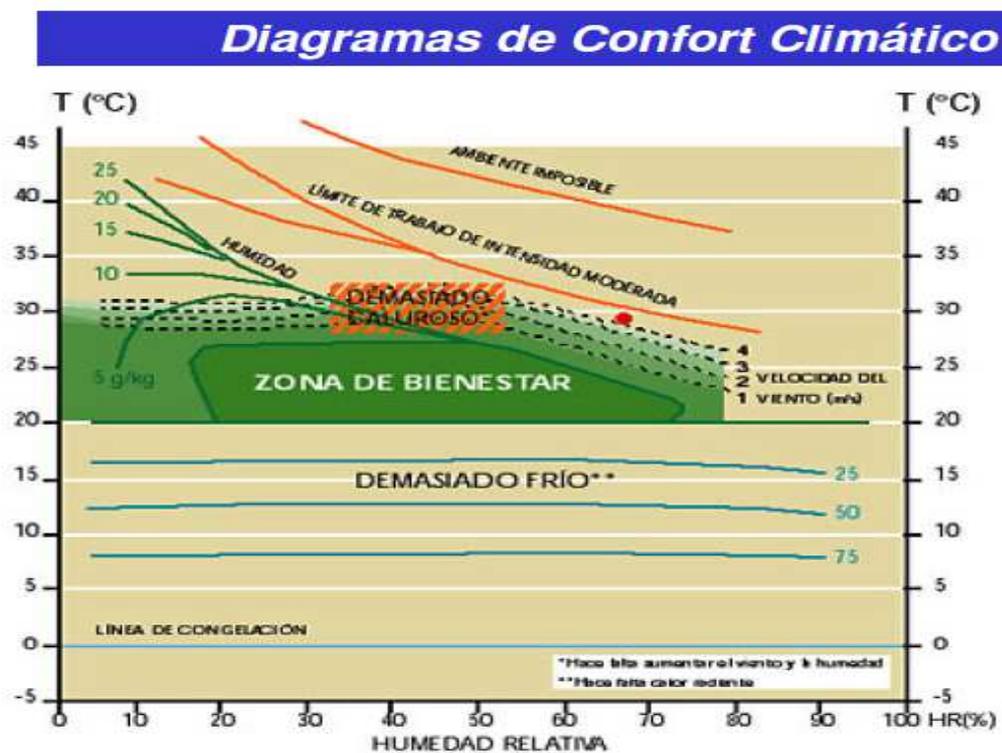


Figura 1: Diagrama confort climático. (2)

Para alcanzar estas temperaturas de confort puede ser necesario enfriar o calentar el ambiente, en el caso de analizar las condiciones climáticas de invierno la temperatura ambiente se encuentra por debajo de la temperatura de confort, por lo que vamos a tener que calentar el aire mediante algún sistema de calefacción.

Antes de hablar de los sistemas de calefacción propiamente conviene recordar de manera escueta los tres mecanismos de transmisión del calor. Los tres mecanismos de transmisión del calor son los siguientes:

- **Conducción:** Se produce una transferencia de energía desde cada elemento de material al adyacente sin que se produzca flujo de materia.

- **Convección:** Se produce una transferencia de energía causada por un desplazamiento y mezcla de materia, es por tanto el mecanismo que interviene principalmente en fluidos. En los sistemas de calefactores se utiliza tanto la convección natural como la convección forzada:
 - o convección natural: la causa de la mezcla es la diferencia de densidades entre el fluido (gas o líquido) caliente y el frío
 - o convección forzada: la mezcla del fluido se produce por la agitación mecánica que se impone sobre el sistema

- **Radiación:** Se produce una transferencia de energía entre sistemas como resultado de la emisión de ondas electromagnéticas (normalmente de la zona infrarroja) por parte del cuerpo caliente y absorción de las mismas por parte del cuerpo frío.⁽²⁾

Según esto, un radiador es un tipo de emisor de calor cuya función es intercambiar calor del sistema de calefacción para cederlo al ambiente, y generalmente se trata de un dispositivo sin partes móviles. ⁽³⁾

En su origen los primeros sistemas de calefacción empleaban vapor y la alta temperatura superficial de los radiadores producía el intercambio de calor mediante radiación. La sustitución en los radiadores de vapor por agua redujo las temperaturas de funcionamiento y, dada la escasa superficie que presentan los radiadores en relación con el volumen que calientan, hace que la mayor parte del calor se intercambie por convección.

La emisión o disipación de calor de un radiador depende de la diferencia de temperaturas entre su superficie y el ambiente que lo rodea y de la cantidad de superficie en contacto con ese ambiente. A mayor superficie de intercambio y mayor diferencia de temperatura, mayor es el intercambio. (3)

La diferencia entre un radiador y un calefactor radica en que el radiador no produce energía, se limita a ser un disipador del calor que llega al radiador generalmente por una red de tuberías por las que circula un fluido portador que se ha calentado en un dispositivo productor de calor situado en otro lugar.

Un calefactor eléctrico es un elemento que emplea una resistencia eléctrica para producir calor gracias al efecto Joule. Las resistencias eléctricas presentan un consumo elevado de energía que requiere una potencia eléctrica importante. Típicamente un radiador consume en torno a 2 Kw·h, por ello un sistema de calefacción requiere de un conjunto de elementos calefactores que implican una potencia eléctrica suministrada elevada.

Los calefactores portátiles que incorporan un elemento cerámico presentan una mayor inercia térmica. Un calefactor con elemento cerámico necesitará entre 80-100 W por cada m² de vivienda, dependiendo de la calidad media de aislamiento. (4)



Figura 2: Calefactor cerámico. <http://www.guiaparatucasa.com> (5)

Una vivienda entandar, de unos 80 m² requeriría al menos de 3 a 4 kW·h de potencia eléctrica mínima contratada para satisfacer la demanda del sistema calefacción. (4)

Los acumuladores cerámicos, para su calentamiento, presentan las limitaciones relacionadas con el empleo de resistencias eléctricas y su baja eficiencia, ya que como los materiales cerámicos tienen una alta inercia térmica, el tiempo que requieren para ser calentados mediante resistencias eléctricas es muy prolongado, esto deriva en algunos problemas, como que desde que encendemos el calefactor hasta que nos calienta el tiempo que transcurre puede ser elevado, o que cuando nos vamos de casa y apagamos el sistema calefactor éste sigue emitiendo energía que no es aprovechada.

Por todo lo expuesto en el presente TFG se decide estudiar un prototipo de calefactor cerámico que mejore la eficiencia energética de los convencionales. Así pues el prototipo debe intentar solventar los problemas actuales, como es el alto consumo de electricidad que emplean las resistencias para calentar por contacto el material cerámico.

Entre las soluciones posibles se ha trabajado ensayando el calentamiento de un material cerámico mediante el empleo de la radiación con microondas en los laboratorios de Microbiotech SL y de su empresa colaboradora Vicar SA. Situados los primeros en CEEI, parque tecnológico de Paterna, y los segundos en la fábrica principal de Vicar SA en Manises.

Se denomina microondas a las ondas electromagnéticas definidas en un rango de frecuencias determinado; generalmente de entre 300 MHz y 300 GHz (entre las ondas de radio y los infrarrojos) y una longitud de onda en el rango de 1 m a 1 mm. (6)

Las microondas pueden interactuar con la materia de distintas formas, pueden traspasar un material sin que este se vea afectado, como ocurre con la mayoría de plásticos, cerámicas y vidrios; también puede rebotar en un material, esto es lo que ocurre cuando una onda choca con un material metálico. Por último una onda microondas puede ser absorbida por un material, calentándolo, esto es lo que ocurre en la mayoría de materiales dipolares como es

el caso del agua o de otros materiales susceptores. Los procedimientos de transmisión y absorción por microondas están descritos con más detalle en el Anexo 1.

Desde mediados del siglo XX, han aparecido algunas aplicaciones en las que se ha utilizado la energía de microondas como medio para transferir energía a materiales aprovechando su interacción con los mismos. Una de sus aplicaciones más conocidas es el horno de microondas, empleado normalmente para calentar alimentos.

En el presente trabajo, las microondas son utilizadas para generar el calentamiento de piezas cerámicas. Además se analiza en detalle el proceso de dopaje de dichas piezas cerámicas con el objetivo de aumentar más rápidamente la temperatura de la cerámica, lo cual mejora la eficiencia final del sistema de calefacción del que formarán parte.

En un tratamiento térmico convencional la energía es transferida al material mediante conducción y convección, creando gradientes térmicos, sin embargo en el caso de calentamiento por microondas la energía se transfiere directamente al material mediante una interacción a nivel molecular con el campo electromagnético, (7) esto nos permite reducir significativamente el tiempo empleado en calentar una cerámica dopada con material susceptor de la microondas respecto a procesos convencionales.

PARTE 1: ANÁLISIS EXPERIMENTALES PARA LA ELABORACIÓN DE ELEMENTOS CERÁMICOS DOPADOS

Para poder desarrollar un sistema de calefacción compuesto por cerámica dopada con material susceptible a las microondas, lo primero que se debe investigar es el material que se va a emplear. Se pretende encontrar un compuesto que tenga una gran inercia térmica y que sea capaz de transformar la energía electromagnética de las microondas en energía calorífica. Para ello se ha decidido crear distintas bases cerámicas y añadirles una sustancia dopante que las hace susceptibles a las microondas.

Los inicios del presente trabajo final de grado se remontan a la fabricación de distintas probetas cerámicas con diferentes cantidades de materiales dopantes, para ello se prepararon unas bases de ARCILLA-FELDESPATO, ARCILLA-TALCO, ARCILLA-FELDESPATO-TALCO y ARCILLA-DUNITA y se dopan con el susceptor. Se escogen estos materiales a fin de desarrollar, tras la cocción, matrices cerámicas de distinta dilatación térmica y ver su “compatibilidad” en cuanto a dilatación y a reactividad, con el material dopante.

A continuación se detalla el material utilizado para poder realizar y ensayar estas probetas:

- Molino de Jarros: En él se introducen bolas de alúmina y el material que se desea moler. Posteriormente el jarro se somete a una intensa agitación y mediante el impacto de las bolas entre sí y con las paredes se consigue la molienda del material.
- Estufa: Es un horno de resistencias eléctricas que alcanza unas temperaturas de hasta 250°C, lo que permite secar los materiales sin producir cambios químicos en los mismos.
- Prensa hidráulica: es el aparato con la que se realizan las probetas, en ella se introduce la sustancia seca y molida para prensarla y formar probetas.
- Pie de rey: con una precisión de décimas de milímetro.
- Báscula digital: con una precisión de centésimas de gramo.

- Horno eléctrico: Horno que funciona mediante resistencias eléctricas y que alcanza temperaturas mucho mayores que las de la estufa, puede alcanzar temperaturas cercanas a los 2000°C y en él la cerámica sufre cambios químicos.
- Horno Microondas: horno que gracias a un magnetrón transforma la energía eléctrica en ondas microondas y es capaz de contenerlas en su interior.
- Olla: para hervir agua en su interior.
- Tamizador con una abertura de 150 micras.
- Mortero: para la disgregación de la pasta ya molida y secada en estufa.
- Pirómetro óptico: es un tipo de termómetro que mide la temperatura de un cuerpo mediante la medición del espectro infrarrojo de los cuerpos.

Para hallar el compuesto idóneo con el que construir el calefactor se seguirá un procedimiento basado en hacer un barrido de composiciones, medir sus propiedades, características y seleccionar aquellas probetas que den mejores resultados. La metodología experimental empleada fue la siguiente:

1º - Las bases se preparan con 4 kg materia seca / 3 litros de agua y 0,1% de fluidificante, se tamizan por 210micras a solera de escayola y el barro resultante se seca en estufa. Con ese barro seco se formulan las distintas composiciones “dopadas”.



Figura 3: Molino de jarros.

2º - Formulación de los componentes (base + material susceptible) a molino planetario con un contenido en sólidos del 65% y con adición de defloculante. Molienda de los mismos. La suspensión resultante se seca en estufa. Ese polvo se acondiciona para ser prensado mediante granulación del mismo.



Figura 4: Pasta secándose.

3º - Se procede a la trituración y humectación-granulación del polvo seco.

4º - Se prensa el material en prensa hidráulica de laboratorio a 400 Kg/cm² (aprox. 40 MPa)



Figura 5: Prensa compactando una probeta

5º - Se realiza la medición de las dimensiones de las probetas con pie de Rey



Figura 6: Medición de probeta

6º - Se pesan de las probetas en la báscula con precisión de miligramos.



Figura 7: Báscula.

7º Se mide la densidad de las probetas mediante el método de Arquímedes.



Figura 8: Medida densidad

8º Se cuecen las probetas en horno con resistencias eléctricas.



Figura 9: Horno eléctrico.

Cabe destacar que en este proceso se pueden dañar las probetas con compuestos más fundentes o que reaccionen con la matriz rebajando su temperatura de fusión, pudiendo producir abombamientos en las mismas o incluso que hiervan las probetas (en el argot químico, que hiervan las probetas quiere decir que se liberan gases no deseados en el proceso de cocción) Figura 10:



Figura 10: Probeta hervida

9º Una vez cocidas las probetas se procede a repetir los pasos correspondientes al dimensionado, pesado y cálculo de la densidad para comprobar cómo habían variado las características de las probetas tras la cocción (tamaño, peso y densidad).

10º Tras la cocción y la nueva toma de datos se hierven en agua durante dos horas las probetas para, mediante la diferencia de peso de la probeta seca y probeta hervida, hallar la absorción de agua de la probeta. Una vez obtenido ese dato podemos hallar la porosidad abierta de la probeta expresada en porcentaje de agua absorbida.



Figura 11: Olla en la que se hierve el agua

11º Se procede a secar en estufa las probetas para que pierdan toda el agua. Tras este proceso las probetas listas para ser ensayadas. En la figura 12 se muestran las probetas realizadas:



Figura 12: Conjunto de probetas realizadas.

12º Una vez medida en agua su porosidad se procede a secar las probetas en estufa. Las probetas que se consideraba que podían dar buenos resultados se ensayaban en el horno microondas (que tenía incorporado un pirómetro óptico acoplado a un software de toma de datos) esto nos permitió realizar gráficas de enfriamiento y calentamiento de las probetas y buscar las más idóneas para realizar los radiadores térmicos, descartando aquellas probetas que daban malos resultados e investigando y mejorando aquellas que daban resultados positivos. Para ello, los pasos detallados del ensayo son los siguientes:

12.1 Se introduce la probeta dentro del horno microondas

12.2 Se radia la probeta con microondas hasta que alcanza la temperatura de 300°C (inicialmente se encontraba a temperatura ambiente, unos 20 grados) y se anota el tiempo que tarda en alcanzar esta temperatura

12.3 Se deja enfriar la probeta hasta los 100°C y se registra el tiempo que ha tardado en alcanzar esta temperatura. Se deja bajar hasta los 100°C y no hasta la temperatura ambiente porque el software empleado para el registro de las temperaturas no es comercial, sino que lo ha desarrollado la propia empresa, y como máximo podía registrar 600s de actividad, tiempo en el cual muchas probetas no alcanzaban la temperatura ambiente, y como con el enfriamiento hasta los 100°C se obtienen datos suficientes como para poder compararlas se decidió optar por bajar hasta esa temperatura.

12.4 Se utiliza el software acoplado al pirómetro para obtener una serie de datos con los que pudimos realizar gráficas de enfriamiento-calentamiento en Excel.

Una vez explicado el material y la metodología empleada, a continuación se expone el diario de las actividades realizadas en el laboratorio:

Día 1:

Presentación del personal de la fábrica Vicar SA, en esta fábrica se hicieron todos los ensayos ya comentados debido a que Microbiotech no disponía de las instalaciones necesarias, por ello se colaboró con esta empresa para poder hacer los análisis anteriormente descritos. Visita al laboratorio de trabajo y explicación de mis tareas. Visita al resto de la fábrica de Vicar SA Se me explica los distintos procedimientos para fabricar pastas cerámicas dependiendo del proceso de fabricación al que vayan destinadas. En el caso de la fabricación de azulejos y piezas para fachadas ventiladas de gres porcelánico el procedimiento mayoritariamente empleado es el de prensado en seco de polvo atomizado.

Se me explica el funcionamiento de un atomizador industrial mientras veo cómo funciona.

Día 2:

El director técnico de Vicar me explica cómo funciona la prensa para conformar probetas cerámicas en el laboratorio así como el funcionamiento de los molinos de jarros para la preparación de las suspensiones cerámicas.

Se me explica el procedimiento para preparar un polvo cerámico similar al atomizado pero preparado en laboratorio.

Se mezcla en molino de jarros las materias primas y el agua para obtener una mezcla homogénea y molida de todos los componentes. Posteriormente a su molienda se procede al secado de la suspensión resultante y se acondiciona el material para ser prensado mediante granulación del mismo, de acuerdo con el procedimiento experimental explicado anteriormente.

Día 3:

Se elaboran una tabla con 29 composiciones químicas distintas que debo dosificar, prensar, secar, cocer y medir, para realizar distintas probetas con las que ver que materiales poseen buenas características para la realización de la cerámica sobre la que estamos realizando la investigación. Realizo con él la dosificación de la composición 1, y posteriormente realizo la composición 3.

Día 4:

Se realizan y prensan las probetas correspondientes a las composiciones 8, 9, 10, 11 y 12, sin que ninguna de ellas sufra rotura.

Día 5:

Se prensan las composiciones 1 y 3, la 1 no tiene suficiente consistencia y no prensa bien, la 3 consigue formar una pastilla con algo de consistencia. Posteriormente se realizan las composiciones 2, 5 y 7 y se prensan, pero al igual que sucedió con la 1, la 2 y la 5 rompen por falta de consistencia.

Finalmente, y para completar mi formación, aunque no se empleó para este trabajo, se me muestra un atomizador en marcha y se me permite ver el interior de los mismos en pleno funcionamiento.

Día 6:

Se realizan y prensan las composiciones 13, 14, 15, 6 y 4. La composición 6 rompe en la fase de prensado.

Día 7:

Se realizan y prensan las composiciones 16, 17, 18, 19 y 20. Las composiciones 16, 17 y 18 rompen por falta de consistencia.

Día 8:

Se realizan y prensan de las composiciones 20, 21, 22, 23 y 24. Ninguna de ellas rompe.

Día 9:

Se realizan y prensan las composiciones 25, 26, 27, 28 y 29. Rompe la 25 por falta de consistencia.

Día 10:

Se clasifican y miden las distintas propiedades de las probetas, una vez secadas, y antes de ser cocidas. Medición de peso y tamaño. Medición de las probeta 3 hasta la probeta 14 y puesta en horno para la cocción de las mismas.

Día 11:

Se pesan y miden desde la probeta 15 hasta la probeta 29 y se ponen en el horno para la cocción de las mismas.

Día 12:

Durante la noche anterior se han cocido las distintas probetas, la 28 ha hervido y la 21 ha sufrido abombamiento y desprendimientos.

Se pesan y miden las probetas una vez cocidas, se calcula su densidad aparente mediante su inmersión en mercurio y su absorción de agua mediante inmersión de las mismas en agua hirviendo durante dos horas, viendo la masa de agua absorbida respecto a la masa seca. Ensayamos las probetas de la 3 a la 11.

Día 13:

Se pesan y miden las probetas una vez cocidas, calculamos su densidad aparente mediante su inmersión en mercurio y su absorción de agua mediante inmersión de las mismas en agua hirviendo durante dos horas, viendo la masa de agua absorbida respecto a la masa seca. Se ensayan las probetas de la 12 a la 22.

Día 14:

Con los datos obtenidos hasta ahora de las diferentes probetas hay suficiente información como para realizar una segunda lista de composiciones, que se acerquen más al material final que deseamos adoptar. Se me entregan 22 nuevas composiciones. Se realizan y prensan las composiciones 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37. La composición 37 rompe por falta de consistencia. Secado a medio día de las distintas probetas en el horno. Por la tarde se miden y pesan las distintas probetas en seco.

Día 15:

Realización y prensado de las composiciones de la 38 a la 52. Ninguna composición rompe en su fase de prensado. Secado a medio día de las distintas probetas en el horno. Por la tarde se miden y pesan las distintas probetas en seco.

Día 16:

Durante la noche anterior se han cocido a diferentes temperaturas todas las probetas de las composiciones realizadas. Se realiza inspección visual para averiguar que probetas han hervido y/o presentan burbujas u otras imperfecciones debido a la cocción. Todas las probetas cocidas a más de 1300°C han hervido. Durante el día de hoy se realizan mediciones de las probetas cocidas 30, 31, 32, 33, 34, 35, 36 y 37. Se mide tamaño después del cocido, su masa, su densidad aparente a partir del desplazamiento de mercurio y su absorción de agua.

Día 17:

Durante el día de hoy se realizan mediciones de las probetas cocidas desde la 38 hasta la 52. Mido su tamaño después del cocido, su masa, su densidad aparente a partir del desplazamiento de mercurio y su absorción de agua.

Día 18:

Durante la Jornada de hoy se trae un horno con pirómetro óptico incorporado para ensayar las probetas y ver su comportamiento térmico, después de su traslado se me explica como emplearlo y empiezo a ensayar diferentes probetas hasta que el horno realiza un ruido extraño y deja de funcionar. Procedemos a su traslado para posterior reparación.

Día 19:

Tras reparar el Horno (el fallo había sido mecánico) se procede de nuevo a su instalación y puesta a punto en la fábrica. Se observa que el fallo mecánico había producido errores en todas las muestras tomadas, por lo que se debe repetir los diferentes ensayos realizados el día 18.

Día 20:

Se calientan en horno las probetas de la 1 hasta la 8 cocidas a 1050 °C. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas no son interesantes la investigación.

Día 21:

Se calienta en horno microondas de las probetas 9 hasta la 16. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas no son interesantes la investigación.

Día 22:

Se calientan en horno las probetas 17 hasta la 24. (excepto las probetas que o han sufrido rotura en el prensado o han salido hervidas durante el proceso de cocción) Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas no son interesantes la investigación.

Día 23:

Se calientan en horno las probetas 25 hasta la 29. (excepto la 22 que estaba hervida) y las probetas 7 hasta la 15. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas no son interesantes la investigación.

Día 24:

Se calientan en horno las probetas 39, 42, 44 y 47. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas son interesantes la investigación, por lo que realizamos dos veces más el mismo ensayo, en las mismas muestras, para comprobar su dispersión.

Día 25:

Se calientan en horno las probetas 45, 48, 49 y 51. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico Se obtienen datos que indican que las probetas son interesantes la investigación, por lo que realizamos dos veces más el mismo ensayo, en las mismas muestras, para comprobar su dispersión.

Día 26:

Se calientan en horno las probetas 40, 41, 43 y 46. Cocidas a 1250°C Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas son interesantes la investigación, por lo que realizamos dos veces más el mismo ensayo, en las mismas muestras, para comprobar su dispersión.

Día 27:

Se calientan en horno las probetas 50, 52, 30 y 31. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas son interesantes la investigación, por lo que realizamos dos veces más el mismo ensayo, en las mismas muestras, para comprobar su dispersión.

Día 28:

Se calientan en horno las probetas 32 y 33. Toma de datos de tiempos de Calentamiento-Enfriamiento y de su comportamiento térmico. Se obtienen datos que indican que las probetas son interesantes para la investigación, por lo que realizamos dos veces más el mismo ensayo, en las mismas muestras, para comprobar su dispersión. Generación de gráficas Excel con la documentación obtenida de los diferentes ensayos, realización de cálculos para comprobar con que probetas obtenemos mejores resultados.

PARTE 2: RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS EXPERIMENTOS:

Para poder obtener la temperatura óptima de sinterización (proceso de densificación de un material por efecto de la temperatura) de cada composición es necesario saber qué características físicas tienen las probetas, así que realizamos una tabla en la que se ordenan los siguientes factores:

- Temperatura de cocción
- Masa de las probetas
- Densidad aparente
- Absorción de agua

Inicialmente se hizo una remesa de 29 probetas con distintas composiciones que nos sirvieron para ir buscando la composición ideal. Muchas de estas probeta iniciales rompieron en su compactación, o hirvieron, o se comprobó que sus características hacían que no fueran aptas para la creación del material que estábamos buscando, así que tras estudiarlas se realizó una segunda remesa de 22 composiciones que fueron las que posteriormente se ensayarían con más detalle. Aun así algunas de estas composiciones hirvieron, pero los resultados en general ya fueron lo suficientemente buenos como para obtener resultados interesantes y proceder así al calentamiento de estos compuestos en un horno microondas, el cual llevaba acoplado un pirómetro óptico conectado a un software que va registrando la temperatura y el tiempo.

Posteriormente se procedió a agrupar los resultados de los ensayos de enfriamiento y calentamiento de las probetas en tablas para poder observar las características de cada una de ellas y así poder compararlas. Los datos más interesantes que podemos obtener para la creación de un nuevo material que sirva como calefactor son:

- Tiempo que tarda la probeta en calentarse
- Tiempo que tarda la probeta en enfriarse
- Relación entre el tiempo de enfriamiento y el de calentamiento, definida a través del coeficiente α , mostrado en las tablas 2 y 3. Que es: $\alpha = \frac{t_{300}}{t_{100}}$. En donde t_{300} es el tiempo que tarda la probeta en alcanzar los 100°C y t_{100} es el tiempo que tarda la probeta en enfriarse, desde los 300°C hasta los 100°C

A continuación se añaden las tres tablas en las que se agruparon los datos:

CARACTERIZACIÓN DE PROBETAS				
PROBETAS	T. cocción (°C)	MASA (g)	DENSIDAD APARENTE (g/cm ³)	ABSORCION DE AGUA (%)
30	1270	35,69	2,145	8,7
31	1270	38,31	2,14	7,3
32	1270	36,95	2,179	8,9
33	1270	33,07	2,108	1,9
34	1200	25,44	2,462	*
35	1200	23,36	1,976	
36	1200	24,04	1,792	
38	1200	24,52	1,904	
39	1200	23,09	2,087	9,4
40	1250	22,03	2,1	8,9
41	1200	23,96	2,208	8,3
42	1200	24,56	2,163	11,2
43	1250	23,88	2,209	9,4
44	1060	21,34	2,301	8,4
45	1200	22,08	2,213	2,5
46	1250	21,84	2,211	2,8
47	1060	21,07	2,251	10,5
48	1200	21,11	2,287	8,1
49	1060	28,77	2,051	15,5
50	1250	28,77	2,098	13,6
51	1060	28,06	2,027	15,5
52	1250	30,85	2,066	13,5

Tabla 1: Caracterización de probetas

*No se pudieron ensayar ya que hirvieron durante la cocción.

RESULTADOS CALENTAMIENTO/ENFRIAMIENTO				
PROBETA	DOPANTE (%)	tiempo de calentamiento a 300°C (s)	tiempo enfriamiento a 100°C (s)	α (t.calen./t.enfr)
30	33,3	91	287	0,32
31	25	154	466	0,33
32	50	50	279	0,18
33	25	103	300	0,34
34	0	*		
35	4,8			
36	9,1			
38	16,7			
39	33,3	111	251	0,44
40	33,3	79,00	215	0,37
41	50	39,00	178	0,22
42	66,7	31,00	169	0,18
43	66,7	26,00	166	0,16
44	50	37,00	164	0,23
45	50	32	184	0,17
46	50	26,00	166	0,16
47	66,7	30,00	162	0,19
48	66,7	37	173	0,21
49	90,1	41,00	190	0,22
50	90,1	32,00	210	0,15
51	86,2	33,00	189	0,17
52	86,2	34,00	236	0,14

Tabla 2: Resultados calentamiento-enfriamiento

*No se pudieron ensayar ya que hirvieron durante la cocción.

En estas tablas podemos observar que las probetas que guardan una mejor relación entre el tiempo que tardan en calentarse y el tiempo en enfriarse son aquellas cuyo tiempo de calentamiento es menor. Las probetas 52, 50 ó 46, que tardan en llegar a los 300 grados 34, 32 y 26 segundos, tienen un coeficiente α de tan sólo 0.14, 0,15 y 0.16 respectivamente, mientras que las probetas 31, 39 ó 40, al tener un tiempo de calentamiento elevado (154, 111 y 79 s) su α también es elevado (0.33, 0.44 y 0.37).

Por otro lado si ordenamos las probetas en función de su porcentaje de dopante obtenemos los siguientes resultados:

PROBETAS	% DOPANTE	α (t300/t300 - 100)
49	90,1	0,22
50	90,1	0,15
51	86,2	0,17
52	86,2	0,14
42	66,7	0,18
43	66,7	0,16
47	66,7	0,19
48	66,7	0,21
44	50	0,23
45	50	0,17
46	50	0,16
32	50	0,18
41	50	0,22
30	33,3	0,32
39	33,3	0,44
40	33,3	0,37
33	25	0,34
31	25	0,33

Tabla 3: Ordenación de las probetas según porcentaje de dopante

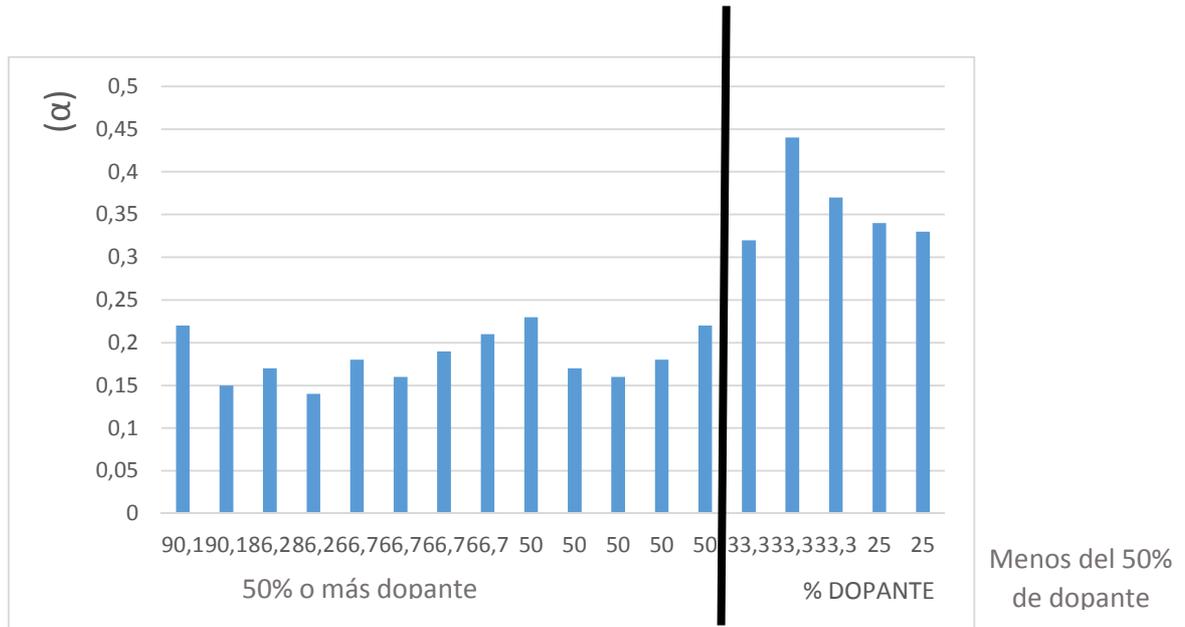


Figura 13: Ordenación de las probetas según porcentaje de dopante

Podemos observar que cuando añadimos un % de dopante mayor al 50% apenas se producen cambios relevantes en ella mejora del α , sin embargo cuando la cantidad de material dopante es menor al 50% el coeficiente α se dispara. En concreto la probeta 39 (33% de material dopante) tiene un α casi tres veces superior al α de la probeta 46 (50% de dopante). La probeta 46 tiene uno de los mejores α , sólo superado por la probeta 52 y la 50 (con un 86,2% y 90,1% de material dopante). Por lo que será la composición que la empresa Microbiotech estudie más detenidamente para la elaboración del material idóneo para la elaboración del nuevo calefactor eléctrico.

Durante este tiempo, como ya se ha citado anteriormente en este TFG, las probetas fueron calentadas en un horno microondas. Toda se ensayaba un mínimo de dos ocasiones y se registraba el resultado en una gráfica Excel. A continuación se muestran tres de las 21 gráficas realizadas.

PROBETA 33

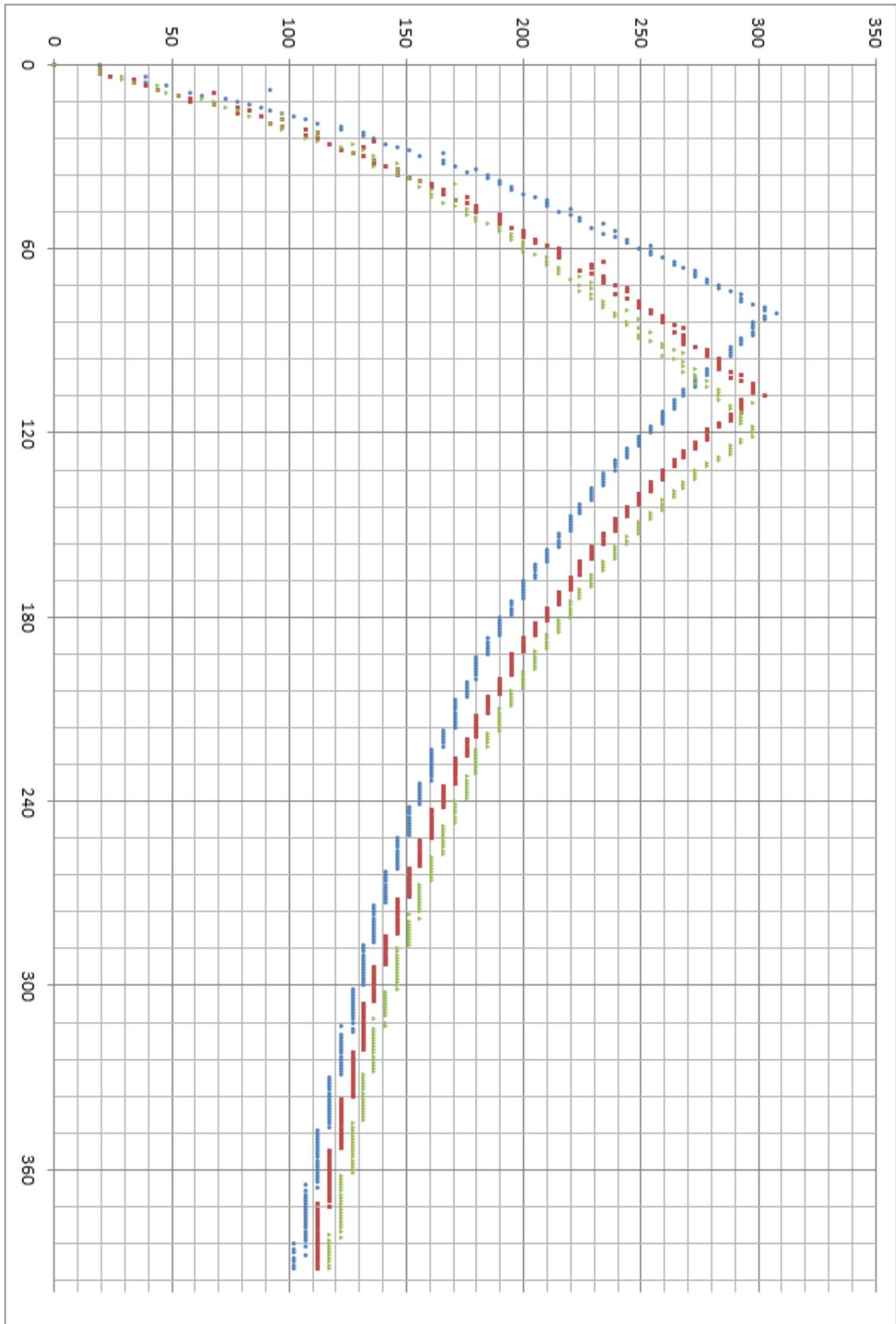


Figura 14: Gráfica calentamiento/enfriamiento de la probeta 33

PROBETA 49

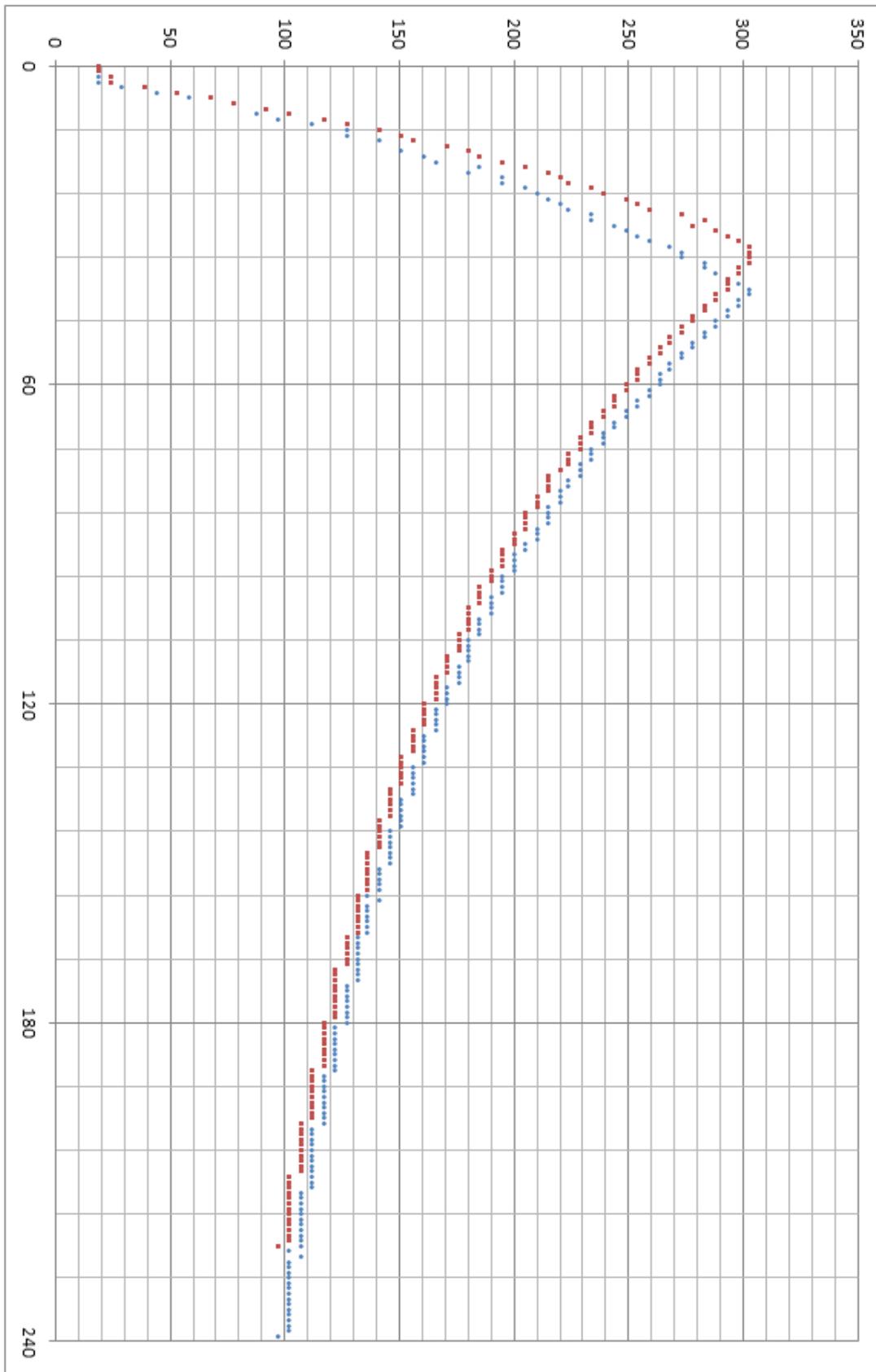


Figura 15: Gráfica calentamiento/enfriamiento de la probeta 49

PROBETA 48

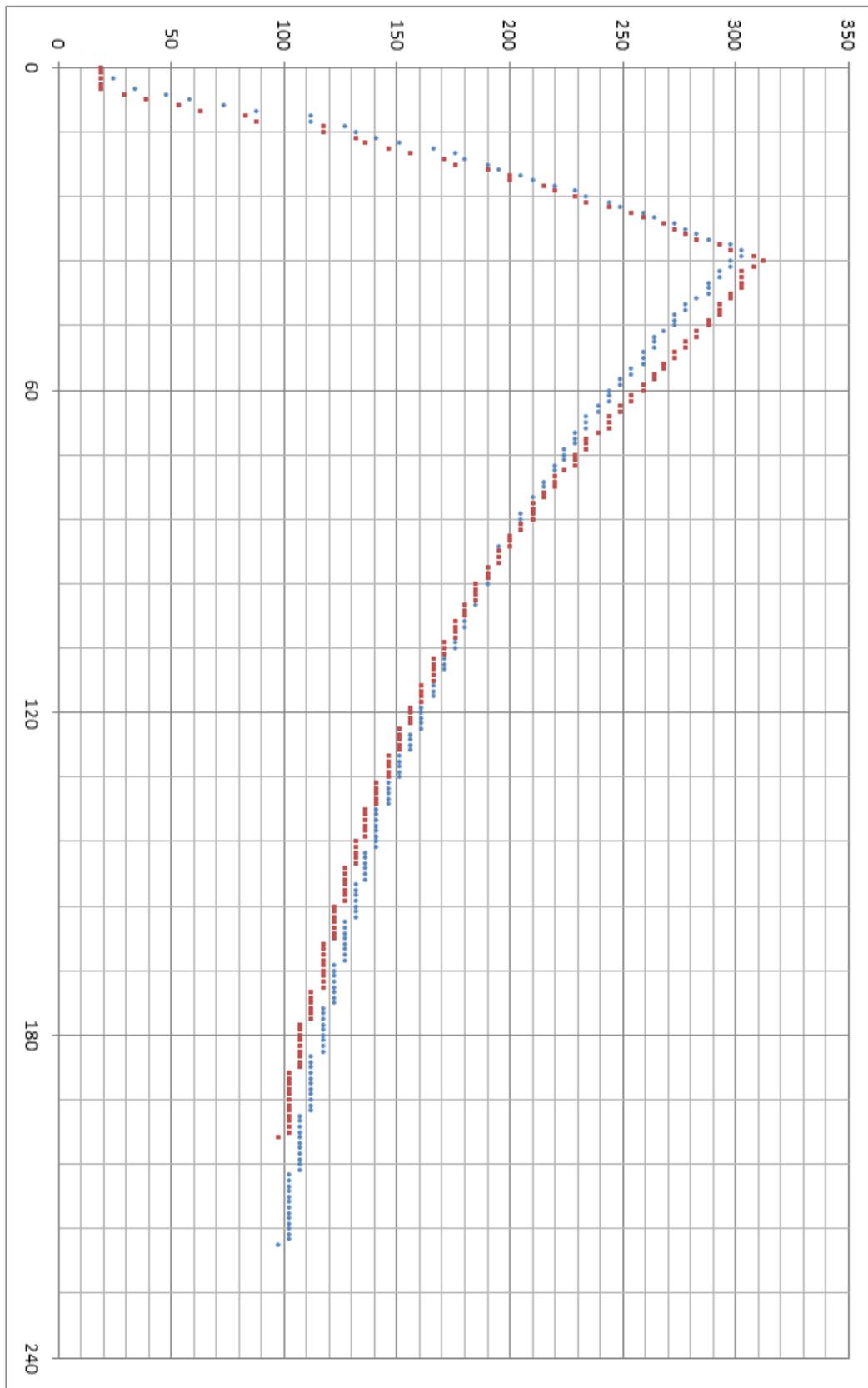


Figura 16: Gráfica calentamiento/enfriamiento de la probeta 48

En las gráficas se representa la temperatura que alcanza la probeta en función del tiempo. Cada gráfica tiene dos o más líneas de tendencia con diferentes colores. Cada color representa cada una de las veces que se repitió el ensayo a cada probeta.

En la probeta 33 observamos que los tiempos en los que se alcanzan los 300°C son de 82, 107 y 120 s, tardando de media unos 103s en subir su temperatura 300°C.

En la probeta 49 observamos que los tiempos en los que se alcanzan los 300°C son de media 41s. Por otro lado vemos que vuelve a llegar a los 100°C en el segundo 222 y en el 238. Es decir que ha tardado 181s y 197s respectivamente enfriarse, lo que le otorga una media de tiempo de enfriamiento de 189s. En las probetas cuyos tiempos eran parecidos y la desviación pequeña, sólo se realizaron dos ensayos, sin embargo si la desviación entre el primer ensayo y el segundo era elevada se realizaba un tercero para poder estudiar mejor el comportamiento real de la probeta.

En la probeta 48 observamos que los tiempos en los que se alcanzan los 300°C son coincidentes, en ambos casos tarda 37 s en alcanzar dicha temperatura, sin embargo podemos observar que los tiempos de enfriamiento no son los mismos, mientras que en el primer ensayo alcanzó la temperatura de 100°C en 195s, en el segundo ensayo tardó 219s, lo que le otorga una media de tiempo de enfriamiento de 207s.

En base a todos estos resultados se diseñó la composición MBT01-AT, composición que es la que finalmente se ha empleado para el desarrollo del nuevo calefactor, y se hizo una preparación industrial de la misma a nivel de planta piloto (200kg)

Con este polvo atomizado MBT01-AT elaboramos mediante prensado las placas con las que conformaremos la célula básica de calentamiento con la que realizaremos el calefactor que vamos a ensayar para comprobar su consumo eléctrico.

Para realizar unos ensayos más completos y poder comparar los resultados hemos construido un calefactor cerámico (comercialmente se conocen como acumuladores de calor) de condiciones similares (misma potencia y superficie), pero que se calienta mediante una resistencia eléctrica.

Este calefactor se compone de las siguientes partes:

Soporte cerámico refractario sobre el que se dispone la resistencia eléctrica

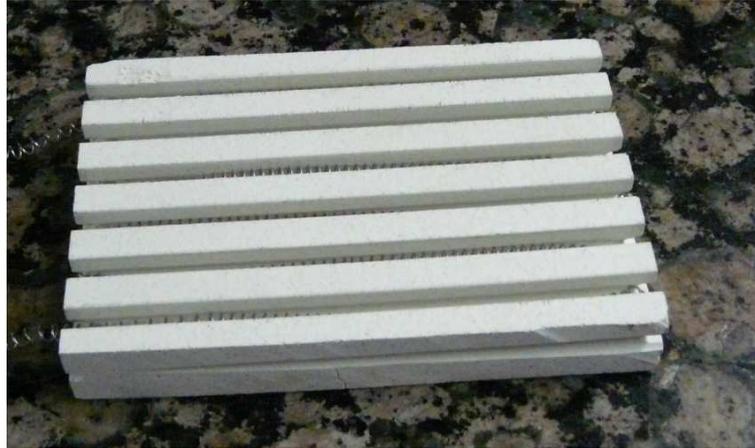


Figura 17: Soporte cerámico del calefactor

Resistencia eléctrica de 300 W:

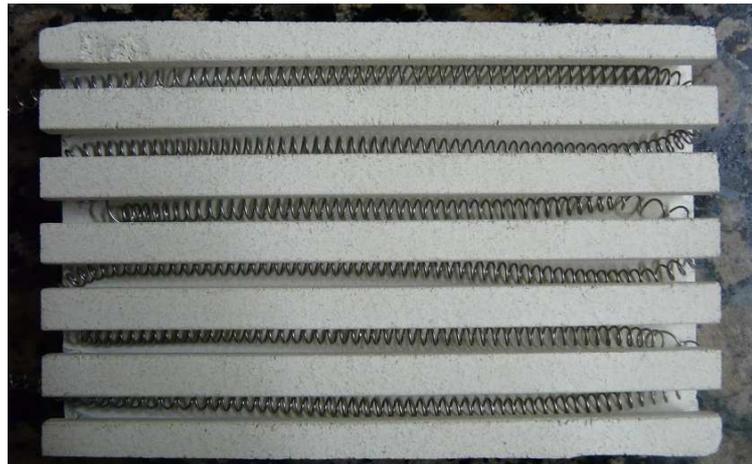


Figura 18: Resistencia eléctrica colocada en la base cerámica

Acumulador cerámico (composición aluminomagnésica de alta densidad)



Figura 19: Acumulador cerámico colocado sobre el soporte y la resistencia.

El montaje realizado para la obtención de las mediciones se puede observar en la siguiente figura:

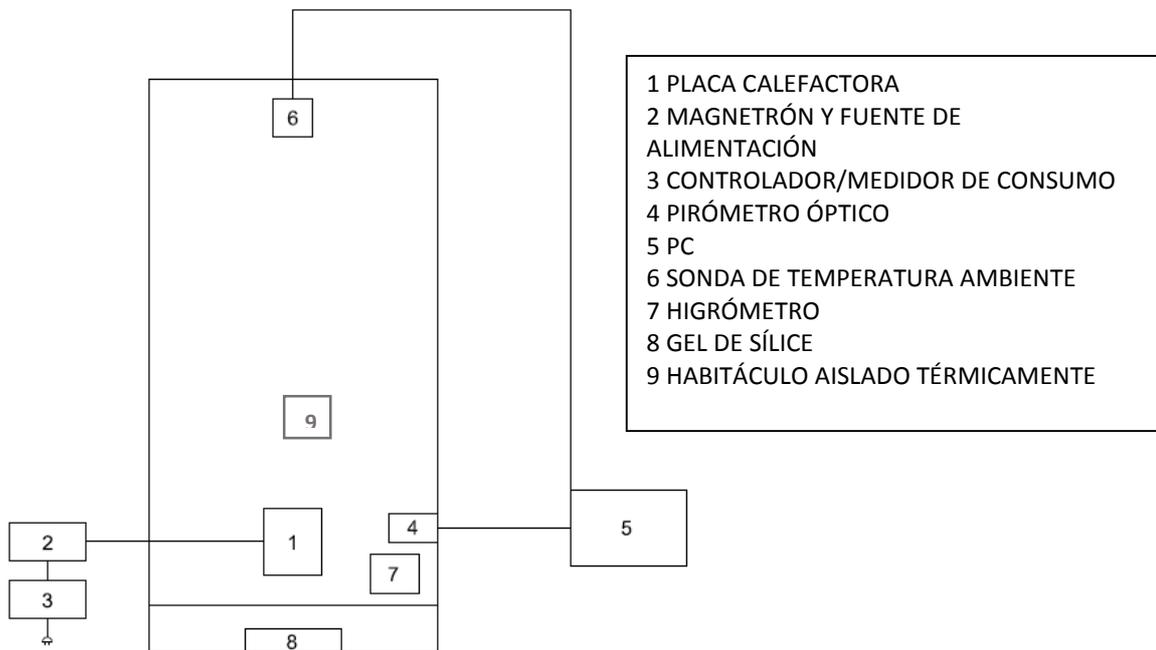


Figura 20: Esquema de los aparatos a emplear en la experiencia

Con este montaje se procedió a realizar las mediciones de consumo de acuerdo al siguiente diagrama de flujo:

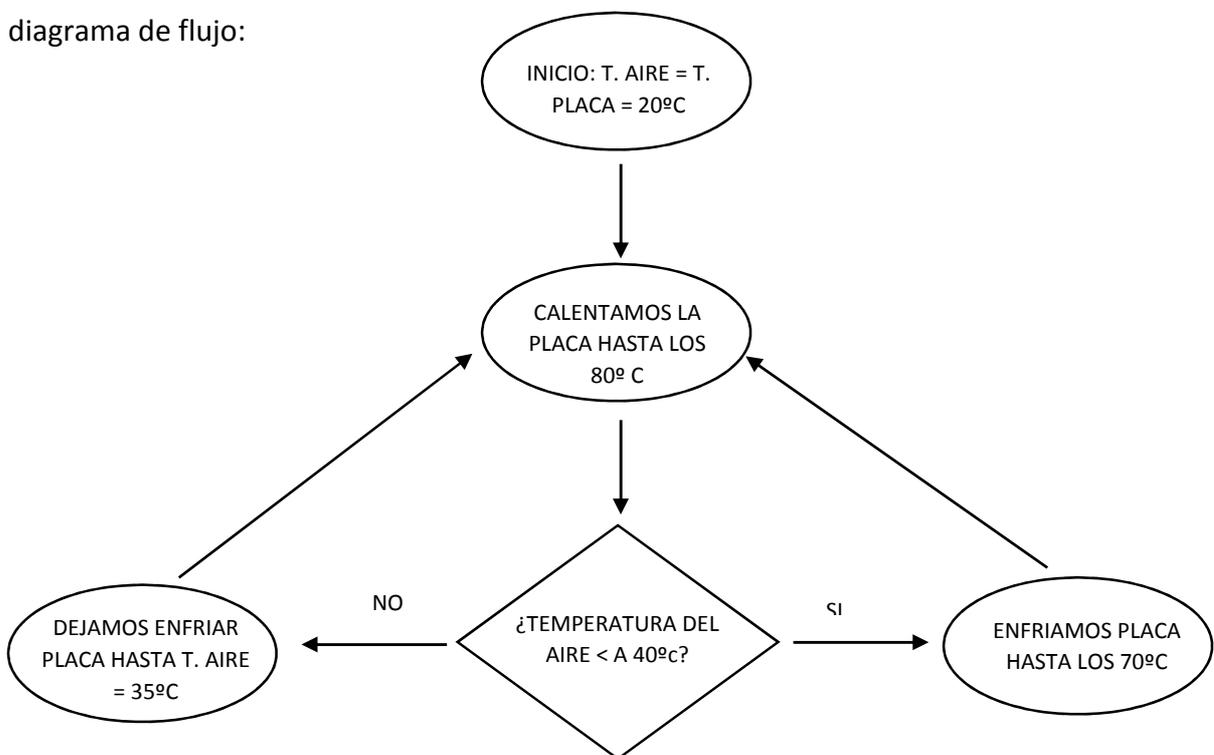


Figura 21: Diagrama de flujo inicial de la experiencia a desarrollar

Aunque posteriormente, por los motivos que explicaremos en el diario, se acabó realizando de otra manera, tal y como indica el siguiente diagrama:

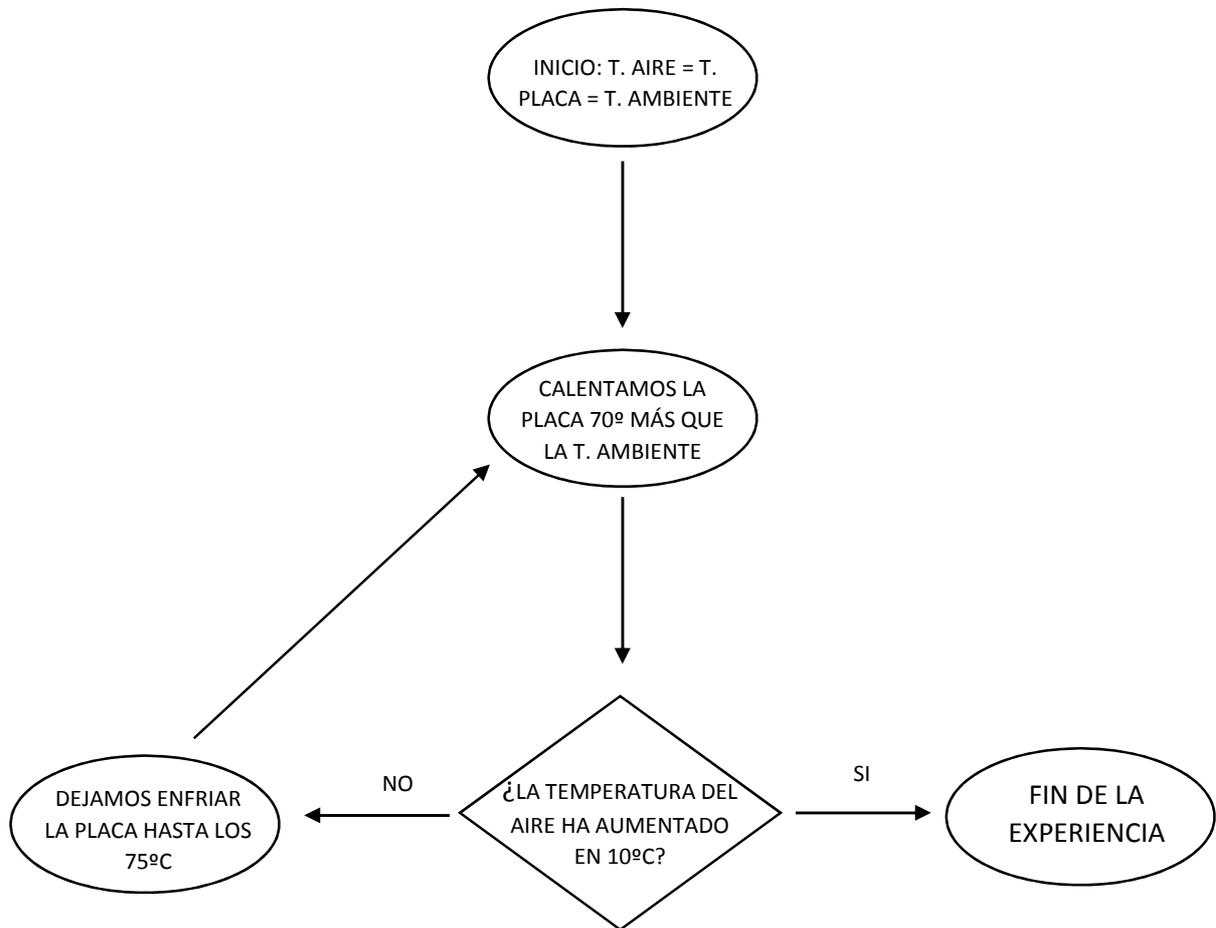


Figura 22: Diagrama de flujo final de la experiencia a desarrollar

Además se considera conveniente explicar en qué consiste el calefactor desarrollado por Microbiotech. Se colocan dos placas cerámicas del compuesto MBT01-AT (2) una encima de la otra con un hueco entre ellas de las dimensiones de un cable (3). Este cable (desarrollado por Microbiotech) transporta las microondas, previamente generadas en un magnetrón, hasta la cerámica, y éstas se disipan en su interior, elevando rápidamente la temperatura de las dos placas. A su vez las placas están envueltas en cobre (1) para que el calor se transmita más uniformemente y además como medida de seguridad ante un hipotético escape de microondas de la placa. Todo este conjunto de elementos se va a denominar célula a partir de ahora. El calefactor está compuesto por cuatro de estas células. Las partes ya descritas de esta célula se detallan en la figura 23:

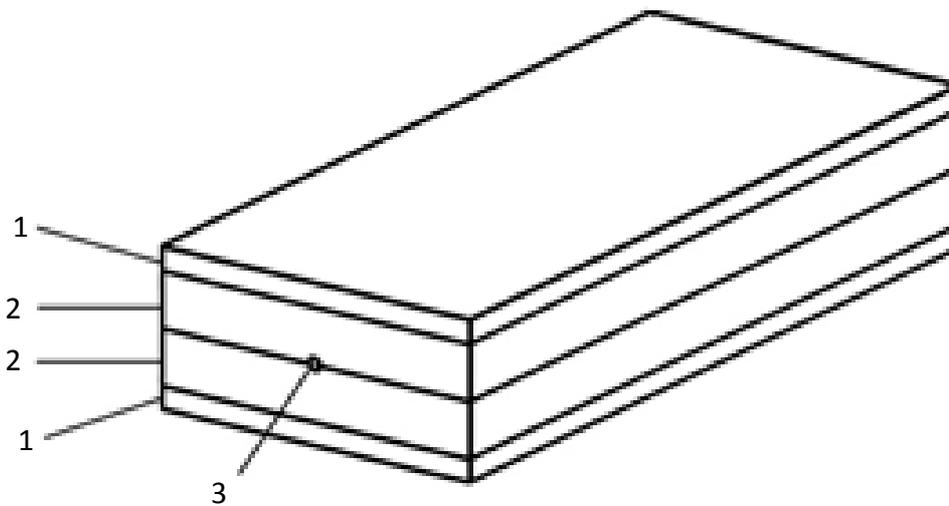


Figura 23: Componentes de la célula básica del calefactor.

Este calefactor se introducirá dentro de la cabina en la que estaba instalada anteriormente la placa cerámica que funcionaba mediante resistencias eléctricas, de ésta manera nos aseguramos que las condiciones a las que se vieron expuestas ambas fueran idénticas y poder, de esa manera, comparar los resultados. A continuación se va a mostrar el montaje realizado, primero con el acumulador cerámico con resistencia eléctrica y posteriormente con el calefactor desarrollado por Microbiotech:



Figura 24: Montaje de la experiencia

En la figura 24 se observa la cabina con el acumulador cerámico calefactado mediante resistencia eléctrica. Después del primer experimento se decidió quitar las piedras que sostenían al calefactor ya que acumulaban calor y falseaban los resultados, además se instaló

un termómetro en la parte superior de la nevera, como se verá en las fotografías realizadas al calefactor desarrollado por Microbiotech, que se muestra a continuación:

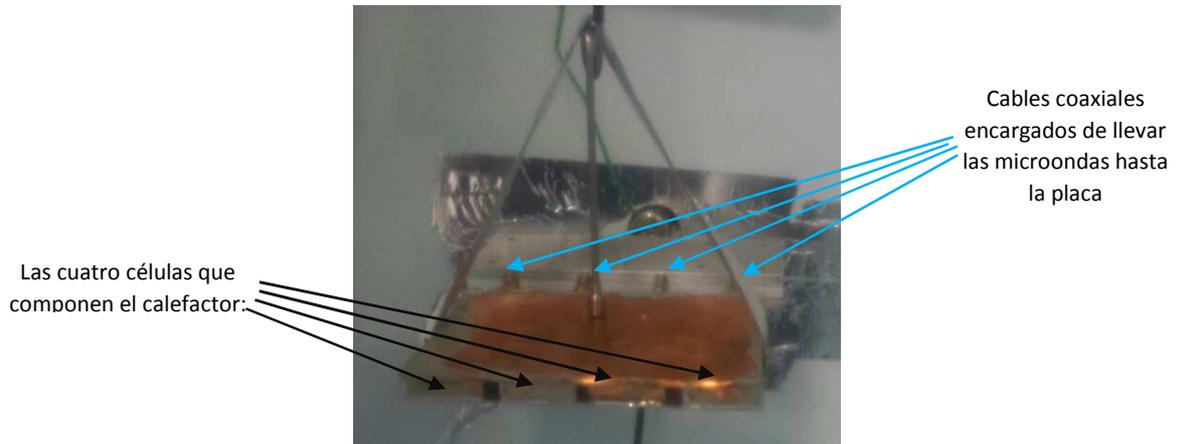


Figura 25: Calefactor desarrollado por Microbiotech

Se trata del calefactor con el termopar instalado encima suyo, para poder medir de manera fiable la temperatura superficial. En la figura 26 se muestra el montaje completo del habitáculo:



Figura 26: Montaje de la segunda experiencia

PARTE 3: ANÁLISIS EXPERIMENTALES DEL CALENTAMIENTO DEL AIRE MEDIANTE LOS CALEFACTORES CERÁMICOS DOPADOS Y COMPARATIVA CON UN CALEFACTOR CERÁMICO CON RESISTENCIA ELÉCTRICA.

Día 1

Temperatura ambiente = 21°C

Temperatura que marca el pirómetro = 21°C

Se pretende poner la placa a 80°C, ver que temperatura alcanza debido a la energía residual y luego hacer ciclos de enfriamiento (hasta 70°C) calentamiento, hasta que la temperatura del aire sea de en torno a 40°C. Se comienza el ensayo calentando la resistencia. Se observa que el pirómetro registra una subida de temperatura muy lenta. Cuando el pirómetro marca que la placa está a 65°C la nevera empieza a desprender olor a quemado por lo que se detiene el experimento. Con un pirómetro óptico manual se comprueba que la temperatura de la placa está entorno a los 300°C y que el pirómetro óptico instalado estaba realizando unas lecturas erróneas debido a que el ángulo de incidencia del láser no era el correcto. La placa se ha partido en dos y hay que detener el ensayo hasta que la temperatura se haya reducido a 45°C, momento en el que volvemos a calentar la resistencia para comprobar si ahora el pirómetro marca la temperatura correcta (después de cambiar el ángulo de incidencia) y se comprueba que sí.

Aprovechando el pirómetro manual se ha medido la temperatura de la placa en diferentes puntos llegando a observar diferencias apreciables de en torno a 40 grados entre un punto y otro. (70-110)

Día 2

Temperatura ambiente = 24°C

Después de lo ocurrido el día anterior se comprueba todo el sistema diseñado para no tener nuevos errores. Se decide intentar aproximarnos lo máximo posible a las condiciones de invierno. Vamos a suponer que la temperatura ambiente es de 5 grados y hay que elevar el aire hasta 20°C, para poder llegar a la zona de confort. El problema es que nuestra habitación ya se encuentra a 24°C por lo que nuestro objetivo va a ser intentar aumentar la temperatura del aire hasta los 40°C (obteniendo así un salto térmico de 15 grados aprox.)

El día anterior observamos que si dejamos de emitir energía a la resistencia eléctrica, la placa cerámica sigue calentándose durante un tiempo. Esto se debe a que el calentamiento de la placa no es uniforme y una vez dejamos de suministrar energía eléctrica a la placa, el calor se transmite de las zonas más calientes a las más frías, elevando así las temperaturas de éstas. Se observa que donde más fría está la placa es en el centro, mientras que en la zona del giro de las resistencias la placa tiende a calentarse más, por lo que situamos el punto de medición del pirómetro en una zona cercana a la zona de giro.

La temperatura máxima a la que se pretende elevar la placa es a unos 75°C (por cuestiones de seguridad no es recomendado calentar los calefactores a más de esta temperatura) en el supuesto de condiciones de invierno, lo que supone un salto térmico de unos 70°C con respecto a la temperatura exterior (5°C). Por ello para poder realizar nuestro experimento vamos a poner la placa a 94°C, para mantener ese salto térmico de 70°C entre la temperatura de la placa y la temperatura ambiente del laboratorio.

La experiencia de este día va a consistir en elevar la temperatura de la placa hasta 80°C gracias al aporte de energía eléctrica. Una vez que la placa haya alcanzado esa temperatura se le dejará de suministrar energía eléctrica, pero como ya se ha explicado antes la placa seguirá aumentando su temperatura (hasta aproximadamente 94°C) y a partir de ahí se comenzará a enfriar. Se dejará enfriar la placa hasta los 60°C y a partir de ahí volveremos a suministrar energía a la resistencia eléctrica de la placa para que vuelva a elevar su temperatura hasta 80°C. Este ciclo dejará de repetirse cuando la temperatura ambiente alcance los 40°C.

Una vez elaborada esta base teórica procedo a realizar el experimento. En esta ocasión todos los aparatos de medición funcionan correctamente y se realiza el ensayo sin problemas. Observamos que la temperatura del aire sube muy lentamente por lo que tras 3,5 h de experimento decidimos detener la experiencia, ya que la temperatura de la cámara sólo había ascendido hasta los 30,6°C consiguiendo un salto térmico de tan sólo 6,6°C muy lejos de los 15°C de salto térmico que pretendíamos alcanzar.

Día 3

Temperatura ambiente = 22 °C

Tras los resultados tomados el día anterior se plantea la posibilidad de que el aire tardara mucho en calentarse debido a que dejábamos excesivo tiempo a la placa sin energía eléctrica, por lo que para el ensayo de hoy sólo vamos a dejar que la placa se enfríe hasta los 70°C (en vez de dejar que se enfríe hasta los 60°C como se hizo en el experimento anterior). También se decide cambiar el punto de vista teórico. El experimento lo realizamos con la intención de comparar el consumo eléctrico entre un acumulador que funciona mediante resistencia eléctrica y uno que funciona mediante microondas. Por lo que con conseguir elevar la temperatura en 10°C obtenemos datos suficientes como para realizar una comparativa. No es necesario elevar la temperatura del aire en la cámara hasta los 40°C, simplemente elevarla 10°C por lo que hoy se pretende llegar hasta los 32°C.

Tras cambiar relativamente nuestro punto de vista y modificar ligeramente el “modus operandi” se procede a realizar el ensayo. Se observa que con los nuevos cambios la temperatura del aire asciende algo más rápido, consiguiendo en 3h un salto térmico de 8°C (elevamos la temperatura en el interior de la cámara hasta los 30°C) pero aun así es insuficiente. Tras observar detenidamente el experimento nos damos cuenta de que cuando la temperatura en la placa está cercana a los 70°C la temperatura del aire en la cámara desciende. Eso sólo puede ser debido a que hay pérdidas de calor, así que procedemos a medir la temperatura superficial de la cámara. Mientras las paredes laterales están a una temperatura de unos 22°C el vidrio tiene una temperatura superficial de 25°C, así que llegamos a la conclusión de que el doble cristal tipo Climalit no aísla el calor tan bien como se suponía.

Día 4

Temperatura ambiente = 24°C

Lo primero que se hace este día es fabricar una placa de porexpan de las dimensiones de la puerta de la nevera de 3 cm de grosor envuelta en papel de aluminio para que aisle la cámara.

Una vez colocada la placa en la puerta de vidrio se procede a realizar el mismo experimento que el día anterior, con la salvedad de que esta vez se deja enfriar la placa sólo hasta los 75°C.

En esta ocasión sí que se perciben cambios importantes a la hora de subir la temperatura ambiente, y en poco más de dos horas (7294 segundos) se consigue elevar la temperatura del aire del interior de la cámara hasta los 34°C, habiendo suministrado energía eléctrica durante 1016s. Este ensayo será tomado como el primero realizado con la metodología definitiva.

Día 5

Temperatura ambiente = 23°C

Tras obtener resultados aceptables para la investigación en la jornada de ayer, se procede a repetir el experimento en las mismas condiciones.

Se alcanza la temperatura de 33°C en 7899 segundos (2h 15' aprox.) habiendo suministrado energía eléctrica durante 1111s

Como los resultados empiezan a ser favorables se decide dejar estas condiciones como las condiciones de trabajo. El objetivo es subir la temperatura del aire en el interior de la cámara 10°C, ver cuanta energía se consume para ello y cuánto tiempo requiere. Para ello elevaremos la temperatura de la placa 70°C más que la temperatura ambiente dejándola enfriar hasta los 75°C.

Día 6

Temperatura ambiente = 24°C

Al empezar a realizar el ensayo se observa que el programa está mal calibrado. Es un error común que el programa suele corregir de manera automática. Al cabo de 2000 segundos el programa no ha solucionado el problema por lo que detenemos el experimento y procedemos a solucionarlo manualmente. Observamos que el programa se había desconfigurado y tenemos que volver a configurarlo.

Día 7

Temperatura ambiente = 24°C

Tras corregir los errores de calibración observados en la jornada de ayer, se procede a repetir el experimento en las mismas condiciones, fijando como objetivo aumentar la temperatura de la cámara en 10°C, ver cuánto tiempo se necesita para ello y cuanta energía consumimos. Para ello se eleva la temperatura de la placa 70°C más que la temperatura ambiente (94°C aprox.) dejándola enfriar hasta los 75°C.

Se alcanza la temperatura de 34°C en 7546 segundos (2h 05' aprox.) habiendo suministrado energía eléctrica durante 1082s

Día 8

Temperatura ambiente = 24°C

En la jornada de hoy se decide alargar el experimento, una vez se alcance una temperatura ambiente 10°C superior a la actual, se va a dejar que la temperatura del aire de la cámara se enfríe 1°C y se volverá a repetir el ciclo de calentamiento de la placa hasta que la temperatura del aire vuelva a subir un grado. Para ello se elevará la temperatura de la placa 70°C más que la temperatura ambiente (95°C aprox.) dejándola enfriar hasta los 75°C, repitiendo este ciclo hasta que la temperatura del aire de la cámara alcance los 34°C. Posteriormente se dejará

enfriar el calefactor hasta que la temperatura del aire baje de los 33°C y se calentará la placa de nuevo hasta que la temperatura del aire de la cámara sobrepase los 34°C. Con esto pretendemos medir también cuánto cuesta mantener la temperatura de confort.

Se llega a la temperatura de 35°C en 6960 segundos (1h 55' aprox.) habiendo suministrado energía eléctrica durante 1021s. La temperatura ambiente tarda en bajar 1°C 1353s, y con 232 segundos de suministro de energía eléctrica conseguimos volver a elevar la temperatura 1°C, y se tardan 1585 segundos en volver a bajar ese grado, hasta los 33.6.

Día 9

Temperatura ambiente = 25°C

En la jornada de hoy se ha decidido alargar el experimento, de la misma manera que hicimos en la jornada de ayer, sólo que haciendo tres ciclos. Para ello elevaremos la temperatura de la placa 70°C más que la temperatura ambiente (95°C aprox.) dejándola enfriar hasta los 75°C, repitiendo este ciclo hasta que la temperatura del aire de la cámara alcance los 35°C. Posteriormente dejaremos enfriar hasta que la temperatura del aire baje de los 34°C y calentaremos la placa de nuevo hasta que la temperatura del aire de la cámara sobrepase los 35°C.

Se alcanza la temperatura de 35°C en 7461 segundos (2h aprox.) habiendo suministrado energía eléctrica durante 1043s. La temperatura ambiente tarda en bajar 1°C 1261s, y con 380 segundos de suministro de energía eléctrica se consigue volver a elevar la temperatura 1°C, y se tardan 2724 segundos en volver a bajar ese grado, hasta los 34. Para volver a elevar la temperatura se emplean 333 segundos de conexión, tardando 2513 segundos en enfriarse y en el último ciclo gastamos 358 segundos de tiempo de conexión para volver a aumentar la temperatura del aire un grado.

Día 10:

Hoy se ha instalado el calefactor que ha desarrollado Microbiotech. Los técnicos me han enseñado a emplear el magnetrón que emite las ondas electromagnéticas y el medidor de fugas de microondas. Aun así siempre habrá un técnico especializado a mi lado midiendo que no haya fugas ya que todo el sistema se encuentra en fase experimental y todavía podrían producirse escapes ya que vamos a trabajar con un prototipo.

En este caso las mediciones realizadas con un pirómetro óptico no son fiables, ya que las microondas alteran la electrónica del aparato dando como resultado mediciones erróneas motivo por el cual se emplea además un termopar que dará unas temperaturas más fiables (comprobamos que el margen de error constante, ya que al dejar de emitir ondas electromagnéticas la temperatura que marcaba el pirómetro bajaba de 5 a 10°C y se igualaba a la temperatura que marcaba el termopar). De todas formas el pirómetro óptico se deja instalado como elemento de apoyo, y para comprobar que el termopar funciona correctamente. Durante el día de hoy no se realiza ningún ensayo propiamente dicho, pero sí que suministramos energía al calefactor haciendo que alcance los 90°C. Se comprueba que al dejar de emitir microondas sobre la cerámica dopada el calefactor apenas aumenta su temperatura unos 5°C, mientras que el sistema que se calefactaba mediante resistencias eléctricas, tras dejar de recibir energía eléctrica, aumentaba su temperatura unos 15°. Esto se debe a que por la cerámica pasaba una resistencia eléctrica y por lo tanto había puntos más calientes y puntos más fríos, y al dejar de suministrar energía, por conducción, las partes más calientes de la placa transmitían energía a las más frías, hasta que se alcanzaba el equilibrio térmico. Como el sistema de calefactor mediante cerámica dopada es más homogéneo todos los puntos de la placa se encuentran a una temperatura parecida y no se eleva tanto la temperatura

Día 11:

Temperatura ambiente = 26°C

Hoy se realiza el primer ensayo con el nuevo calefactor. Como en los ensayos anteriores el objetivo de éste es elevar la temperatura ambiente 10°C. Como ya se dijo anteriormente el calefactor ha de alcanzar 70 grados más que la temperatura ambiente, por lo que se elevará la temperatura superficial del calefactor hasta los 92°C, para que alcance una temperatura máxima de 96°C y luego se dejará enfriar hasta los 75°C. Se repetirá este ciclo hasta que la temperatura ambiente sea de 36°C.

Tras realizar el experimento se aumenta la temperatura del aire 10 grados en 4801 segundos, con un tiempo de conexión de 597 s.

Día 12:

Temperatura ambiente 27°C

Hoy se repite el último ensayo realizado, con la salvedad de que al ser un grado mayor la temperatura ambiente, se aumentará la temperatura de la placa hasta los 93 grados. En esta ocasión los resultados dan tiempos mayores, el experimento dura 7611 segundos y hay un tiempo de conexión de 671 segundos. No se sabe si esta dispersión es normal o el ensayo tendrá que desecharse, de momento se esperará a tener más resultados antes de tomar una decisión.

Día 13:

Temperatura ambiente 27°C

Se repite el ensayo, de manera exactamente igual al del día anterior, ya que la temperatura ambiente es muy parecida. En esta ocasión tardamos 6342 segundos en aumentar 10°C la temperatura del aire, dando un tiempo de conexión de 626 segundos

Día 14:

Temperatura ambiente 26°C

Se por última vez el experimento con el calefactor diseñado por Microbiotech. En esta ocasión la experiencia dura 5420 segundos y hay un tiempo de conexión de 562.

Tras tomar estos datos se ha decidido que las cuatro experiencias son válidas, ya que aunque hay dispersión entre ellas esta dispersión es, bajo mi punto de vista, aceptable, así que se procede a realizar los cálculos para averiguar si se ahorra energía o no.

PARTE 4: RESULTADOS DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN LA CÁMARA AISLANTE

Después de realizar los distintos ensayos se han desprendido una serie de datos interesantes que se pueden agrupar en tablas de Excel y de gráficas. Los ensayos de los primeros días apenas arrojan datos interesantes, ya que el método experimental se fue variando para poder adaptarnos a las condiciones que imperaban en el laboratorio, por lo tanto mostraré sólo los resultados de los experimentos que aportan la información útil que se ha empleado para la continuación del trabajo.

Los datos los vamos a clasificar en tres grupos:

- Datos obtenidos de la placa cerámica con resistencia eléctrica
- Datos obtenidos del calefactor cerámico con dopante susceptible a las microondas
- Tablas resumen de los datos obtenidos. Con estas tablas será más fácil realizar unas comparativas que nos permitan discernir unas breves conclusiones de los datos obtenidos.

DATOS DE LA PLACA CERÁMICA CON RESISTENCIA ELÉCTRICA:

Ensayo 1:

Ensayo : 150428		Elemento acumulador: Gres Porcelánico				Elemento calefactor : Resistencia eléctrica			
T. Inicial (°C)	T. parada(°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado (s)	tiempo conexión total
23,8	80	96,9	24	0	305	473	38	305	305
75	80	89,9	27	1135	1226	1348	37	91	396
75	80	89,1	28	1835	1915	2065	34	80	476
75	80	89,0	30	2520	2603	2750	33	83	559
75	80	90,4	31	3233	3319	3479	31	86	645
75	80	90,8	32	3993	4080	4298	29	87	732
75	80	92,0	33	4783	4877	5030	28	94	826
75	80	92,2	33	5623	5719	5865	27	96	922
75	80	91,7	33	6548	6642	6783	26	94	1016
75	80		34	7294	7294				1016

Tabla 4: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150428

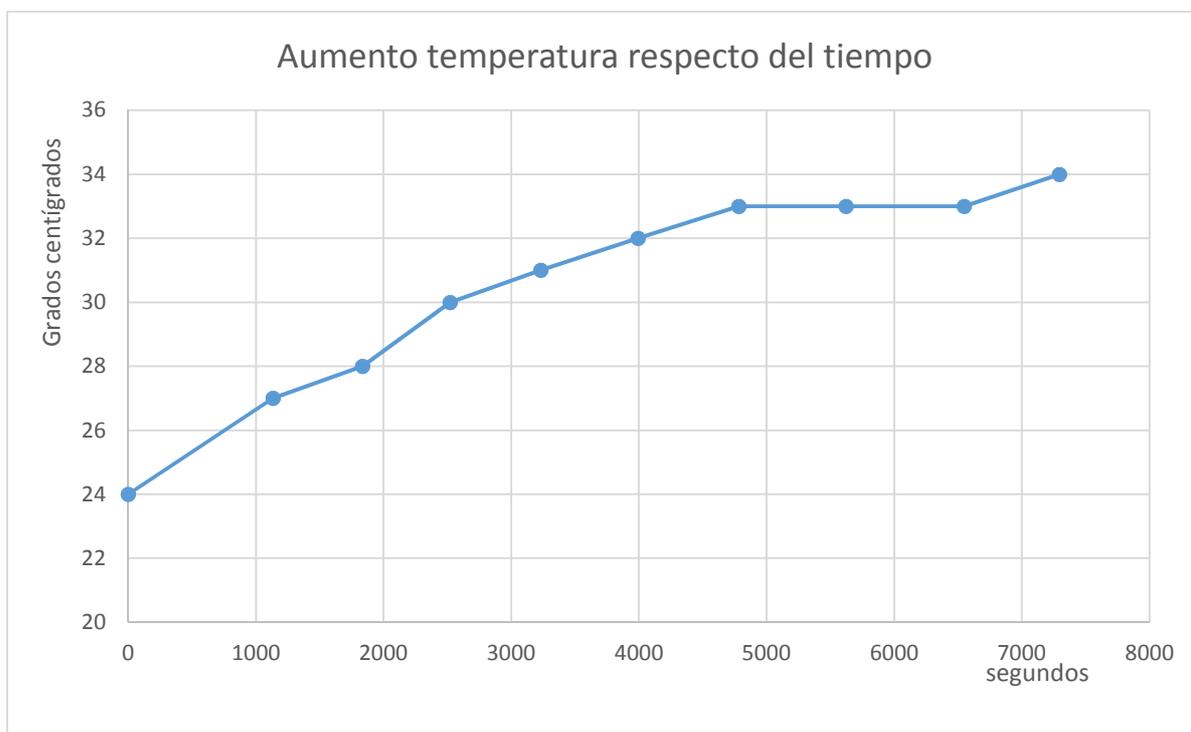


Figura 27: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150428

Este fue el primer ensayo realizado con la metodología que finalmente se iba a emplear. Como podemos observar en la última fila hay celdas sin rellenar. Esto es porque normalmente la temperatura máxima se alcanzaba tras dejar de suministrar energía eléctrica al sistema calefactor, gracias a la energía almacenada que queda en la placa, por lo tanto no suministramos más energía eléctrica y la casilla de tiempo conectado no se rellena, así como la de temperatura máxima o tiempo de temperatura máxima, ya que no calentamos la placa.

Si esta última fila tuviese todas las celdas rellenas querría decir que la temperatura ambiente ha aumentado un grado mientras se suministraba energía eléctrica al calefactor, y al coincidir el momento del suministro con el momento en el cual hemos alcanzado la temperatura deseada, han de rellenarse todas las celdas.

Por otro lado hemos realizado una gráfica del aumento de las temperaturas para hacernos una idea de cómo se calienta el aire de la cámara. El problema es que el termómetro que teníamos tenía una precisión de grados, y para que esta gráfica diera datos aclaratorios hubiera sido conveniente tener un termómetro que midiera con la precisión de décimas de grado, ya que se dan saltos irregulares en la gráfica expuesta debidos a falta de precisión en el utensilio de medida. Cabe aclarar que el pirómetro óptico empleado para medir la temperatura superficial de la placa sí que tenía esa precisión, por eso en las tablas la temperatura máxima superficial alcanzada sí que se expresa con una precisión de decimales.

A continuación se expondrán el resto de ensayos realizados en el acumulador cerámico con resistencia eléctrica:

Ensayo2:

Ensayo : 150429		Elemento acumulador: Gres Porcelánico				Elemento calefactor : Resistencia eléctrica			
T. Inicial (°C)	T. parada(°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado (s)	tiempo conexión total
23,1	80	93,8	23	0	285	460	37	285	285
75	80	89,9	25	1060	1152	1290	37	92	377
75	80	89,5	26	1770	1859	2009	36	89	466
75	80	91,1	27	2490	2580	2734	33	90	556
75	80	91,1	29	3220	3316	3432	31	96	652
75	80	88,3	30	4000	4085	4225	29	85	737
75	80	91,9	31	4710	4809	4985	29	99	836
75	80	89,5	31	5516	5603	5780	28	87	923
75	80	90,6	32	6282	6378	6614	27	96	1019
75	80	90,7	32	7090	7182	7349	27	92	1111
			33	7899	7899			0	1111

Tabla 5: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150429

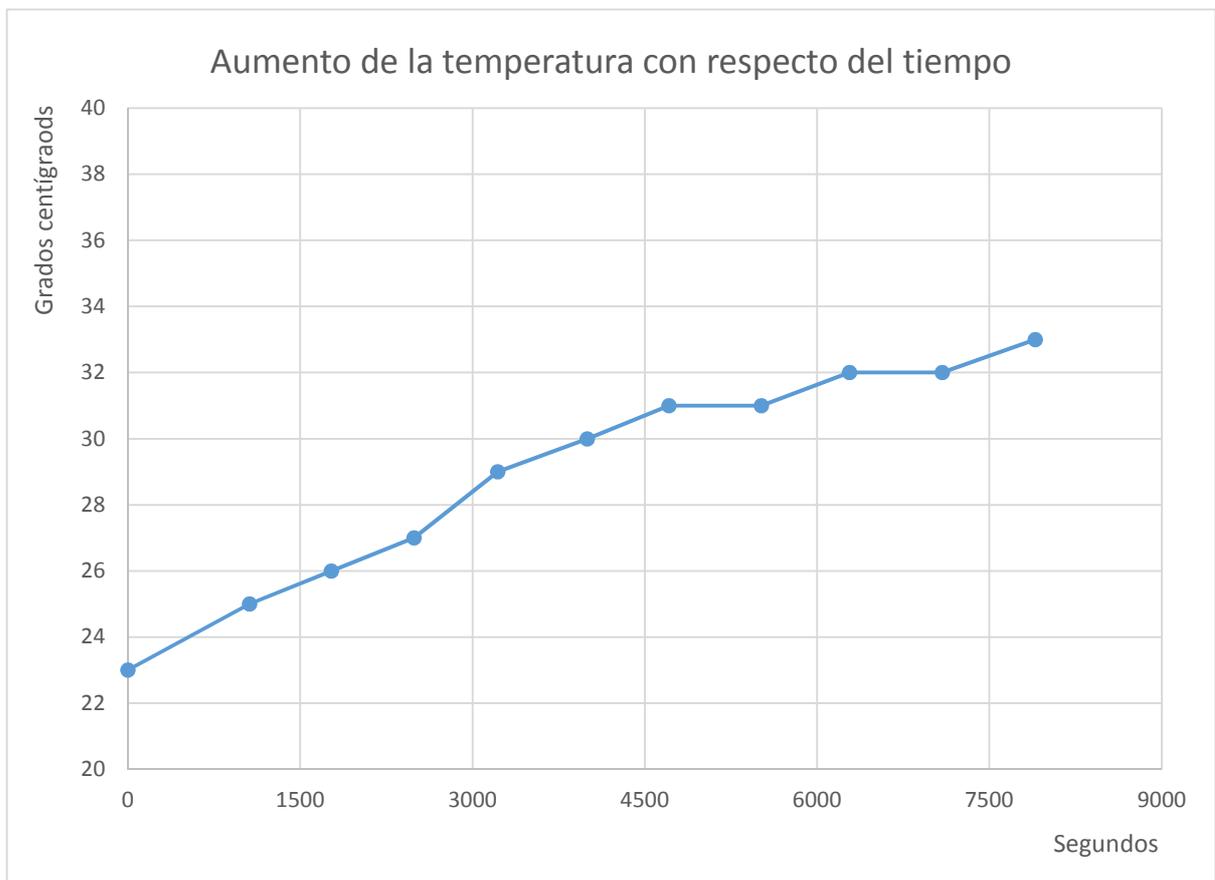


Figura 28: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150429

Ensayo 3:

Ensayo : 150501		Elemento acumulador: Gres Porcelánico				Elemento calefactor : Resistencia eléctrica			
T. Inicial (°C)	T. parada(°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado (s)	tiempo conexión total
23,2	75	96,2	24	0	275	520	42	275	275
75	80	91,5	26	1071	1178	1349	41	107	382
75	80	96,3	28	1904	2039	2328	39	135	517
75	80	95,1	30	2892	3015	3229	37	123	640
75	80	92,8	31	3831	3941	4118	35	110	750
75	80	90,1	32	4735	4834	5088	33	99	849
75	80	93,6	33	5553	5659	5834	31	106	955
75	80	95,2	33	6471	6598	6807	30	127	1082
			34	7546	7546			0	1082

Tabla 6: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150501

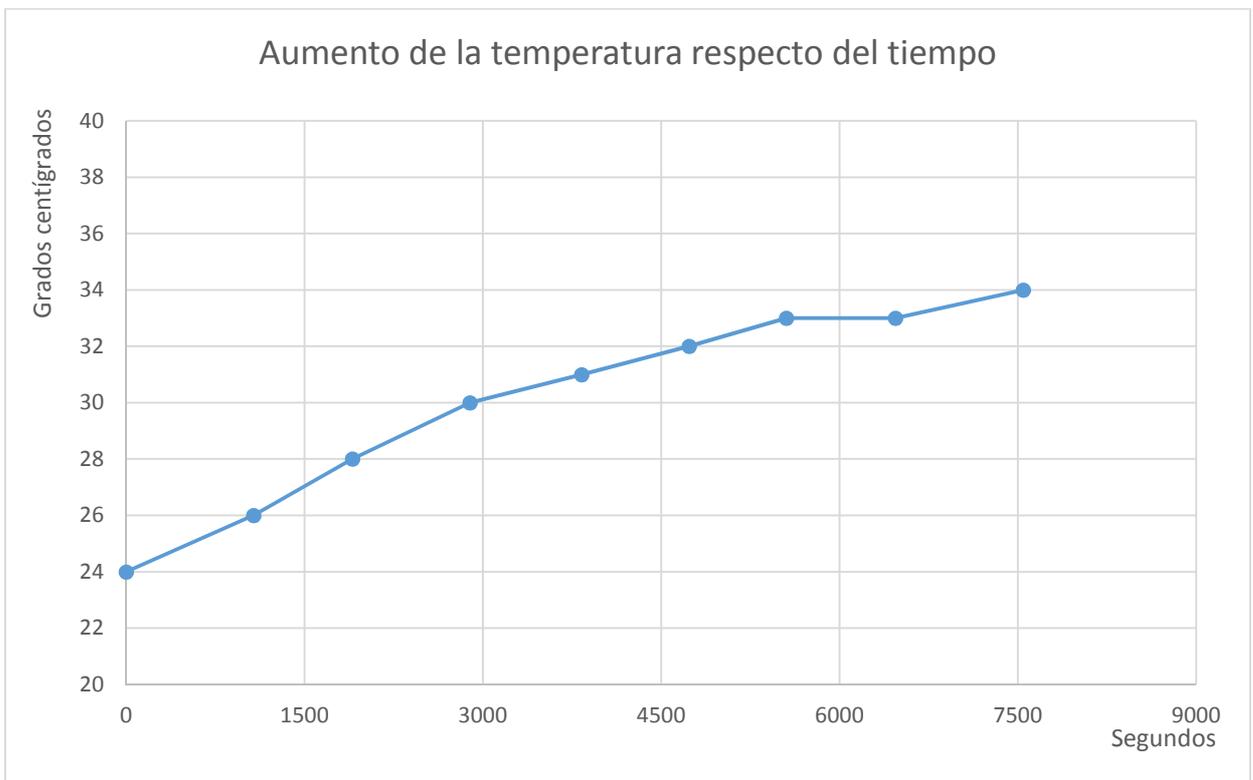


Figura 29: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150501

Ensayo 4:

Ensayo : 150503		Elemento acumulador: Gres Porcelánico				Elemento calefactor : Resistencia eléctrica			
T. Inicial (°C)	T. parada(°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado (s)	tiempo conexión total
24,5	75	99,8	24	0	304	562	39	304	304
75	80	92,8	27	1240	1361	1661	39	121	425
75	80	96,1	29	2108	2231	2499	37	123	548
75	80	93,0	31	3082	3194	3370	34	112	660
75	80	95,0	32	4003	4123	4349	32	120	780
75	80	94,7	33	4971	5088	5295	30	117	897
75	80	96,8	33	5948	6072	6289	28	124	1021
			34	6960	6960			0	1021
33,6	75	99,8	33	8313	8545	8815	28	232	1253
			34	9608	9608		27	0	1253
75	80		33	11193	11193			0	1253

Tabla 7: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150503

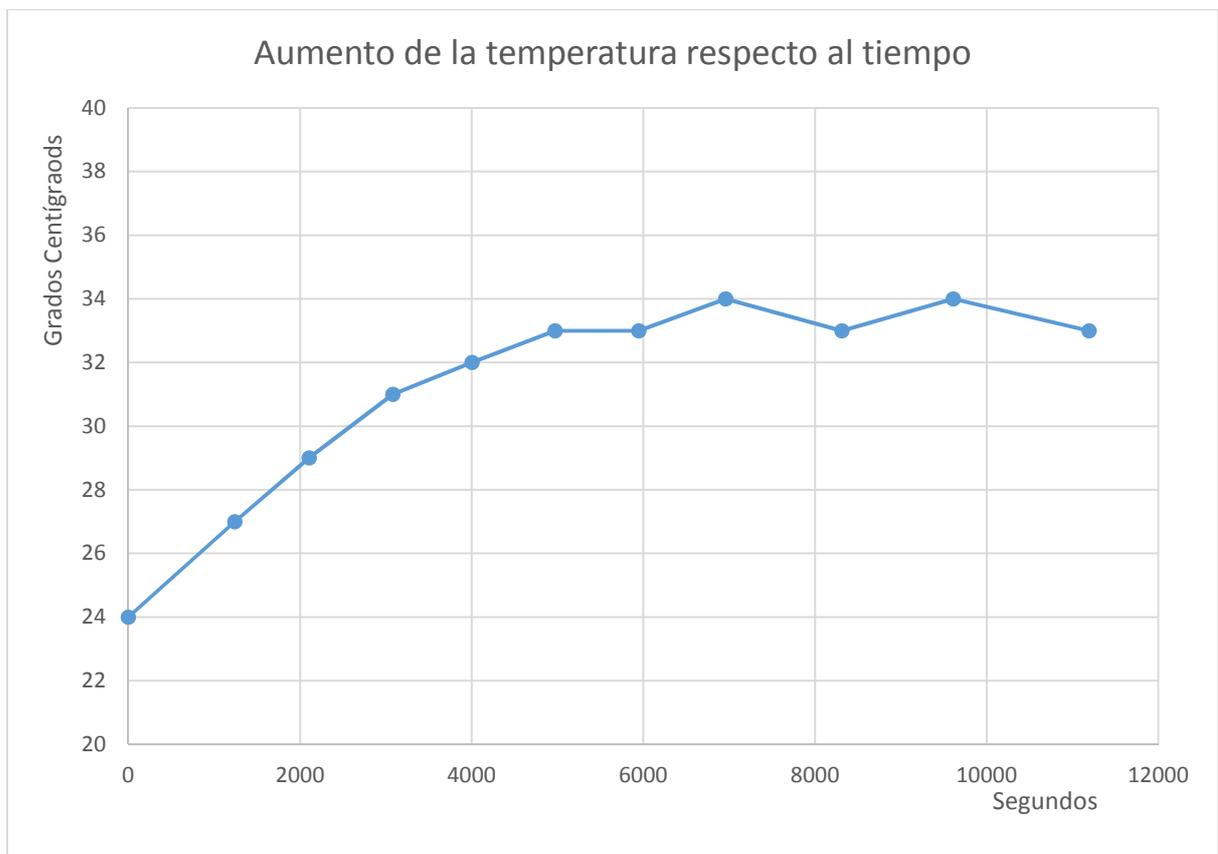


Figura 30: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150503

Ensayo 5:

Ensayo : 150507		Elemento acumulador: Gres Porcelánico				Elemento calefactor : Resistencia eléctrica			
T. Inicial (°C)	T. parada(°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado (s)	tiempo conexión total
25,3	75	99,9	25	0	314	574	38	314	314
75	80	94,4	28	1314	1439	1626	37	125	439
75	80	95,0	30	2269	2389	2594	34	120	559
75	80	95,1	32	3233	3351	3609	32	118	677
75	80	98,2	33	4219	4349	4566	30	130	807
75	80	98,9	34	5307	5411	5669	28	104	911
75	80	98,0	34	6387	6519	6778	26	132	1043
			35	7461	7461			0	1043
49,2	75	99,3	34	8722	8952	9240	26	230	1273
75	80	98,7	35	10019	10169	10418	26	150	1423
46,6	70	95,4	34	12743	12971	13282	26	228	1651
75	80	92,6	35	13961	14066	14305	26	105	1756
46,5	70	96,2	34	16474	16709	17001	26	235	1991
75	80	95,6	35	17697	17820	18082	26	123	2114

Tabla 8: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150507

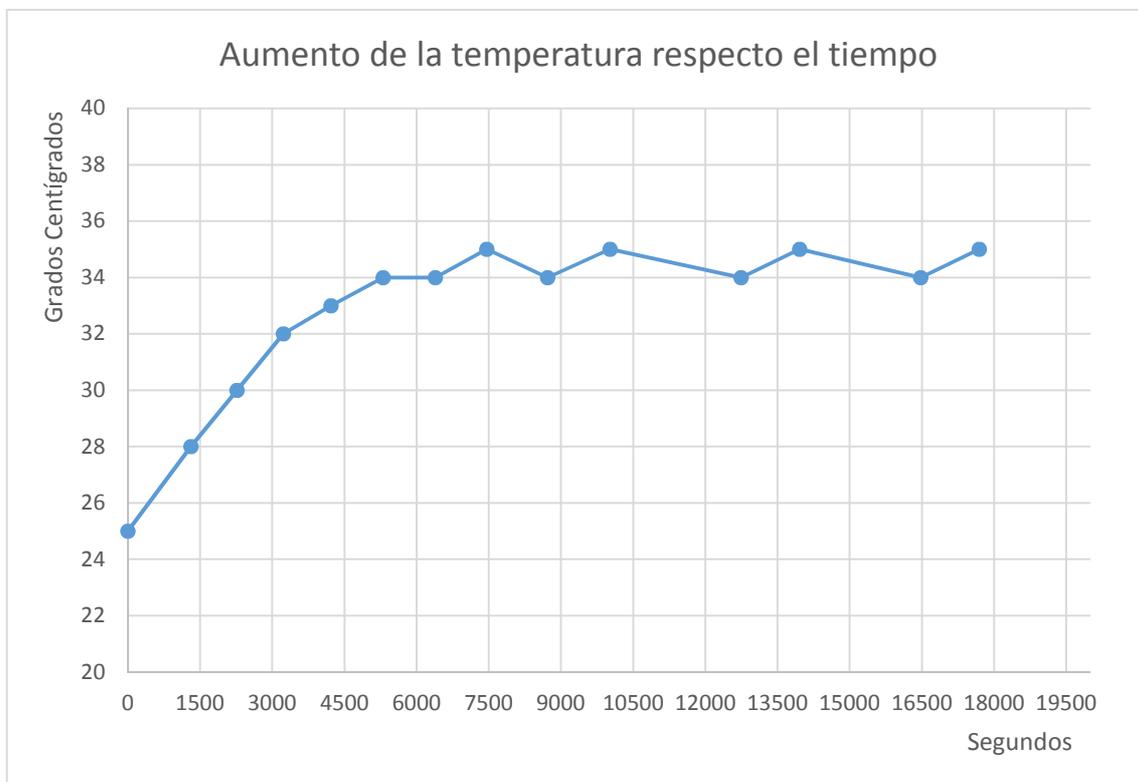


Figura 31: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150507

DATOS DEL CALEFACTOR DESARROLLADO POR MICROBIOTECH:

Ensayo 6:

Ensayo : 150617		Elemento acumulador: Cerámica dopada				Elemento calefactor: Sustancia dopante			
T. Inicial (°c)	T. parada (°c)	T. max (°c)	T.ambiente (°c)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado	tiempo conexión total
26	91	96,3	26	0	87	115	30	87	87
75	92		28	509	552	588	31	43	130
75	92	96,7	29	961	1003	1039	30	42	172
75	92	98,3	30	1411	1455	1495	29	44	216
75	92	96,6	31	1871	1912	1951	28	41	257
75	92	96,6	32	2227	2268	1604	26	41	298
75	92	96,8	33	2679	2722	2058	25	43	341
75	92	96,9	34	3142	3184	2525	24	42	383
75	92	96,9	34	3601	3643	2976	23	42	425
75	92	96,7	35	4057	4101	3451	23	44	469
75	92	96,5	35	4502	4543	3881	23	41	510
75	92	96,5	35	4963	5007	4352	22	44	554
75	92	96,4	36	5415	5458	5501	22	43	597

Tabla 9: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150617

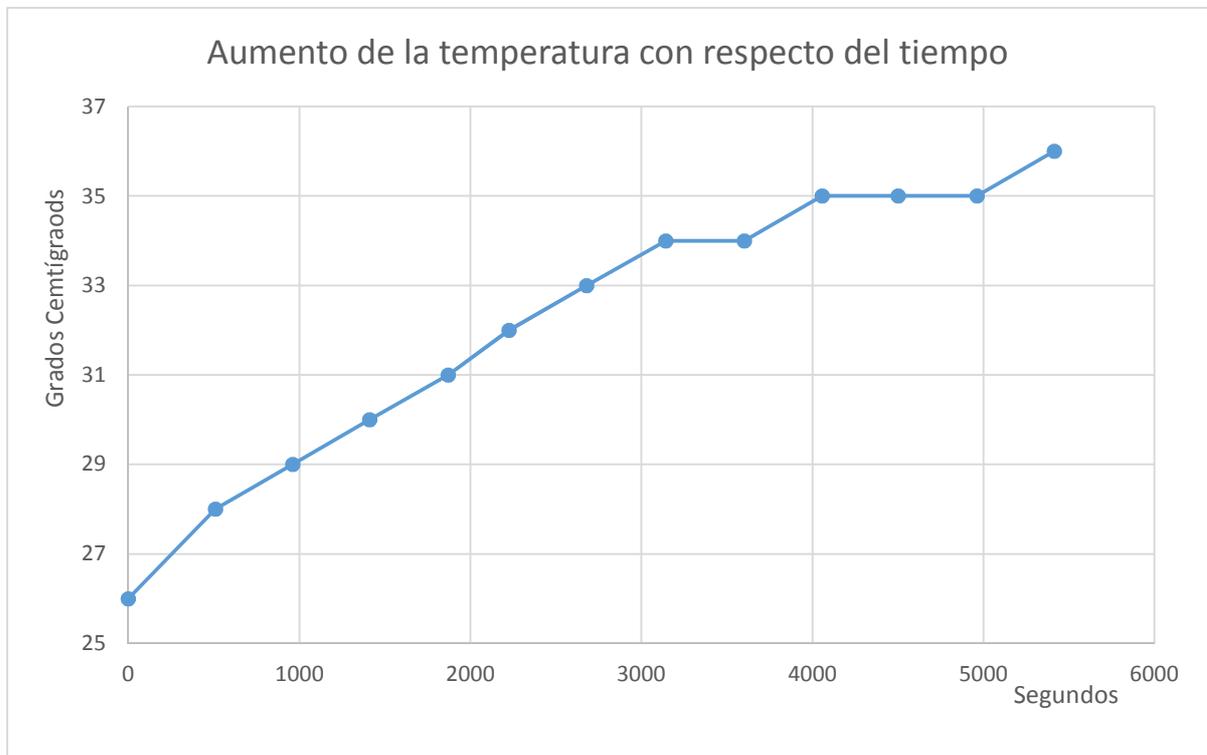


Figura 32: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150617

Ensayo 7:

Ensayo : 150618		Elemento acumulador: Cerámica dopada				Elemento calefactor: Sustancia dopante			
T. Inicial (°C)	T. parada (°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado	tiempo conexión total
27,5	94	98,8	27	0	84	120	42	84	84
75	93	97,3	28	532	573	864	43	41	125
75	93	97,6	30	980	1022	1040	41	42	167
75	93	97,5	31	1452	1492	1513	41	40	207
75	93	97,8	33	1937	1978	2003	38	41	248
75	93	97,6	34	2436	2478	2504	36	42	290
75	93	97,7	34	2946	2988	3013	35	42	332
75	93	97,8	35	3464	3505	3540	34	41	373
75	93	97,8	35	3978	4020	4040	33	42	415
75	93	97,8	35	4498	4540	4559	33	42	457
75	93	97,9	36	5015	5057	5078	32	42	499
75	93	97,9	36	5538	5582	5600	32	44	543
75	93	97,7	36	6055	6100	6121	32	45	588
75	93	97,7	36	6583	6625	6646	31	42	630
75	93	97,9	36	7105	7146	7196	31	41	671
75	93		37	7611	7611			0	671

Tabla 10: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150618

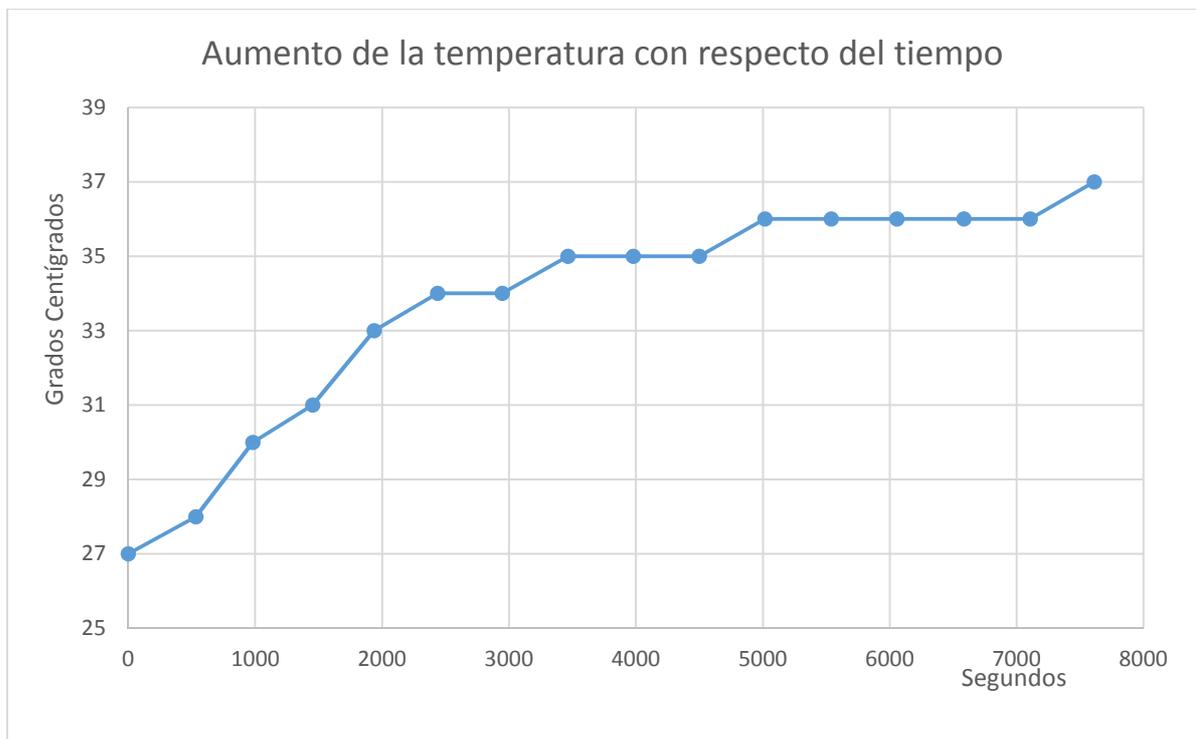


Figura 33: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150618

Ensayo 8:

Ensayo : 150622		Elemento acumulador: Cerámica dopada				Elemento calefactor: Sustancia dopante			
T. Inicial (°C)	T. parada (°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado	tiempo conexión total
27,7	92	98,1	27	0	82	115	35	82	82
75	93	97,2	29	513	554	593	36	41	123
75	93	97,6	31	950	991	1015	36	41	164
75	93	97,5	32	1402	1444	1480	35	42	206
75	93	97,8	33	1853	1896	1926	35	43	249
75	93	97,6	34	2298	2340	2395	34	42	291
75	93	97,7	34	2738	2779	2802	34	41	332
75	93	97,8	35	3193	3235	3272	33	42	374
75	93	97,8	35	3652	3695	3736	33	43	417
75	93	97,8	35	4105	4146	4171	33	41	458
75	93	97,9	36	4556	4598	4629	32	42	500
75	93	97,9	36	5002	5045	5072	32	43	543
75	93	97,7	36	5441	5482	5523	32	41	584
75	93	97,7	36	5902	5944	50985	31	42	626
75	93	97,9	37	6342	6342		31	0	626

Tabla 11: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150622

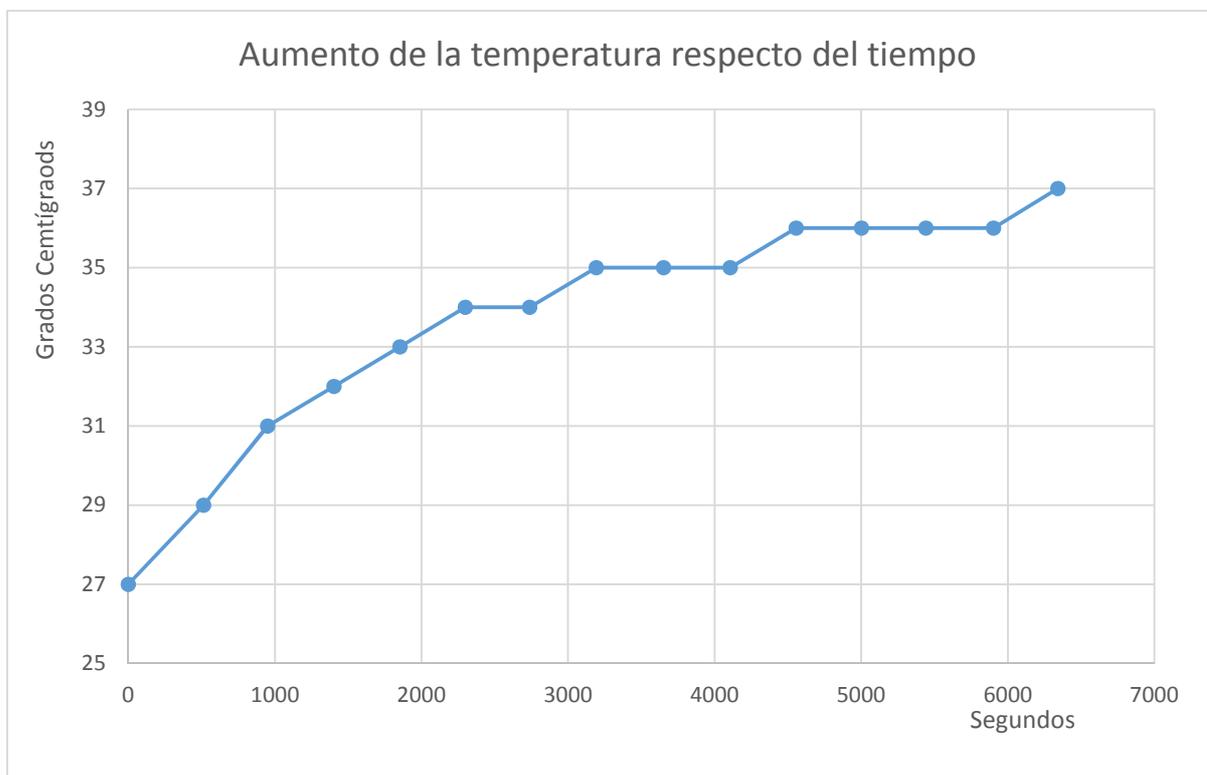


Figura 34: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150622

Ensayo 9:

Ensayo : 150623		Elemento acumulador: Cerámica dopada				Elemento calefactor: Sustancia dopante			
T. Inicial (°C)	T. parada (°C)	T. max (°C)	T.ambiente (°C)	tiempo inicial (s)	tiempo parada (s)	tiempo de Tmax (s)	H. R. inicial (%)	tiempo conectado	tiempo conexión total
26	91	96,3	26	0	87	115	27	87	87
75	92	96,6	28	503	546	802	28	43	130
75	92	96,7	29	940	982	1004	26	42	172
75	92	98,3	30	1396	1441	1460	25	45	217
75	92	96,6	31	1884	1926	1942	24	42	259
75	92	96,6	32	2362	2404	2429	23	42	301
75	92	96,8	33	2844	2885	2908	22	41	342
75	92	96,9	34	3337	3379	6404	20	42	384
75	92	96,9	34	3837	3879	3902	20	42	426
75	92	96,7	35	4316	4361	4384	20	45	471
75	92	96,5	35	4831	4876	4903	20	45	516
75	92	96,5	36	5350	5396	5420	19	46	562

Tabla 12: Resumen de los datos obtenidos en el ensayo 150623

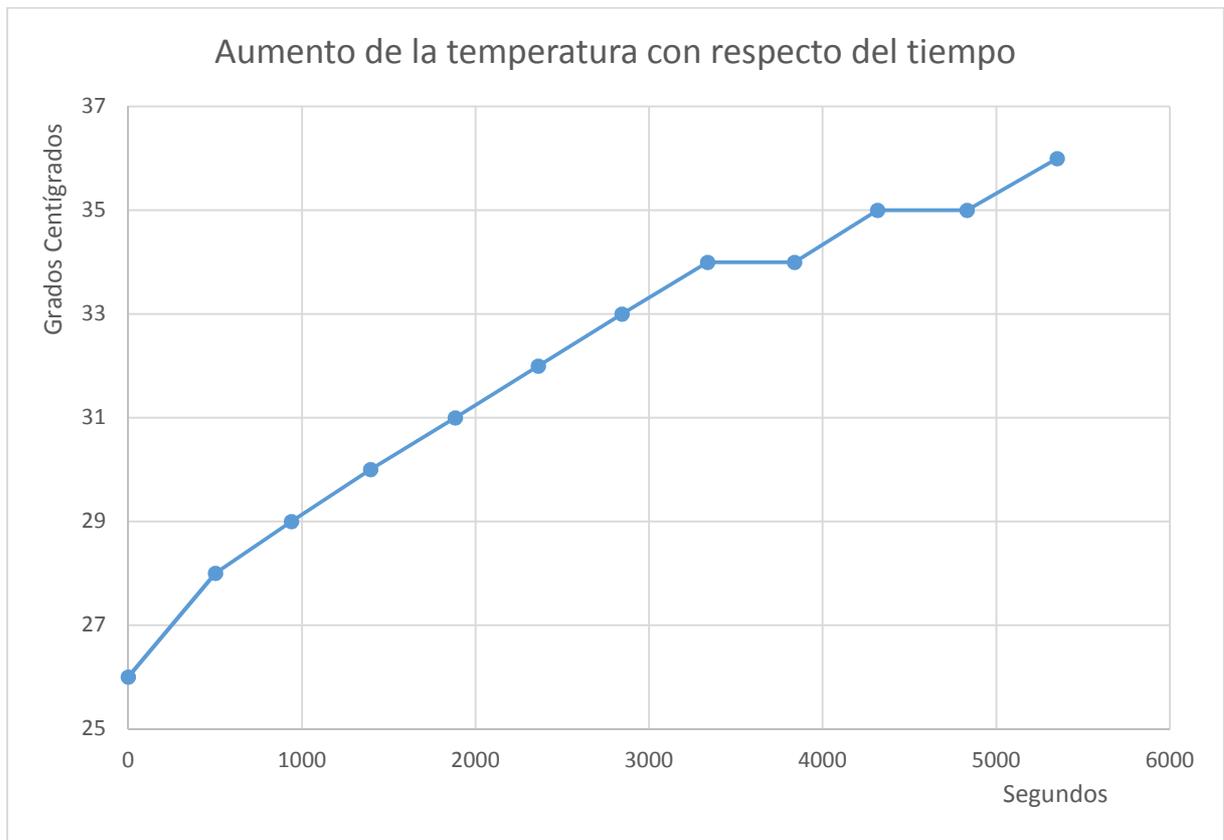


Figura 35: Gráfica del aumento de la temperatura del aire en el ensayo 150623

TABLAS RESUMEN DE LOS DATOS OBTENIDOS

Placa cerámica con resistencia eléctrica:

ENSAYO	TIEMPOS DE CONEXIÓN	DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	ΔT	ENERGIA CONSUMIDA (W·H)**	DURACIÓN/GRADO (S)
150428	1016	7294	10	85	729
150429	1111	7899	10	93	790
150501	1082	7546	10	90	755
150503	1021	6960	10	85	696
150507	1043	7461	10	87	746
MEDIA	1054,6	7432	10	87,88	743,2

media	87,9	743,2
desv.	3,0	30,8

Tabla 13: Resumen de los datos obtenidos en los ensayos con placa cerámica calentada con resistencias eléctricas

Calefactor desarrollado por Microbiotech:

ENSAYO	TIEMPOS DE CONEXIÓN	DURACIÓN DEL EXPERIMENTO	ΔT	ENERGIA CONSUMIDA (W·H)**	DURACIÓN/GRADO (S)
150617	597	5501	10	50	550
150618	671	7611	10	56	761
150622	626	6342	10	52	634
150623	562	5420	10	47	542
MEDIA	614	6218,5	10	51,17	621,85

media	51,2	621,9
desv.	3,3	88,1

Tabla 14: Resumen de los datos obtenidos en los ensayos con el calefactor desarrollado por Microbiotech

** La energía consumida se calcula en función del tiempo de conexión y sabiendo que para ambos casos se emiten 300W. Por ejemplo, en el ensayo 150428 se suministró energía durante 1016 segundos, si esa cantidad la multiplicamos por los trescientos vatios y la dividimos entre 3600 (segundos que tiene una hora) obtenemos los vatios por hora que ha consumido el aparato.

PARTE 5: ANÁLISIS DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LOS CALEFACTORES CERÁMICOS COMO SISTEMAS DE CALEFACCIÓN.

Comenzaremos este apartado describiendo la vivienda empleada. Se trata de una vivienda residencial unifamiliar aislada situada en Valencia (zona climática B3) construida en 2012 con una superficie de 144 m² y de una planta de altura. Los datos generales del edificio se muestran a continuación en la figura 36:

The image shows a software interface for entering building data. It is divided into two main sections: 'Datos generales' (General data) and 'Definición edificio' (Building definition).

Datos generales

- Normativa vigente: C.T.E. (dropdown menu) with a question mark icon.
- Año construcción: 2012 (text input field).
- Tipo de edificio: Unifamiliar (dropdown menu).
- Provincia/Ciudad autónoma: Valencia (dropdown menu).
- Localidad: Valencia (dropdown menu).
- Zona climática: B3 (dropdown menu).
- HE-1: (dropdown menu).
- HE-4: IV (dropdown menu).

Definición edificio

- Superficie útil habitable: 144 (text input field) m².
- Altura libre de planta: 2.7 (text input field) m.
- Número de plantas habitables: 1 (text input field).
- Masa de las particiones: Media (dropdown menu).
- Se ha ensayado la estanqueidad del edificio.

At the bottom of the 'Definición edificio' section, there are two buttons: 'Imagen edificio' and 'Plano situación'.

Figura 36: Descripción del edificio

En cuanto a la envolvente térmica, la hemos realizado lo más sencilla posible, ya que complicarla no nos iba a aportar datos de interés. Siguiendo este criterio de sencillez hemos decidido no poner sombras en la casa, ya que en ese caso sería difícil distinguir que parte del ahorro energético se debe al sombreadamiento y que parte a la mejora de los sistemas de calefacción.

Para empezar hemos realizado cuatro fachadas orientadas a norte, sur, este y oeste, y colocado un mayor acristalamiento en la fachada sur, que es donde teóricamente debería

haber una mayor superficie de huecos si queremos ser eficientes energéticamente, siempre y cuando coloquemos un voladizo en esos huecos como protección solar en verano.

Las cuatro fachadas son iguales en cuanto a dimensiones (12m de largo x 2.7 m de alto) y en cuanto a composición, siendo ésta la descrita en la figura 37:

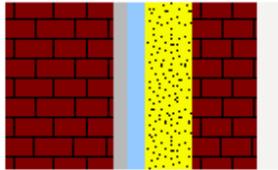
Librería de cerramientos

Nombre

Características del cerramiento

Verticales (Materiales ordenados de exterior a interior); Horizontales (Materiales ordenados de arriba a abajo)

Material	Grupo	R (m ² K...)	Espesor...	λ (W/mK)	ρ (kg/m ³)	Cp (J/kgK)
1/2 pie LP métrico o c...	Fábricas de ladrillo	0.172	0.115	0.667	1140	1000
Mortero de cemento ...	Morteros	0.008	0.015	1.8	2100	1000
Cámara de aire sin ve...	Cámaras de aire	0.169	-	-	-	-
XPS Expandido con di...	Aislantes	1.19	0.05	0.042	37.5	1000
Tabicón de LH doble ...	Fábricas de ladrillo	0.162	0.07	0.432	930	1000
Enlucido de yeso 100...	Enlucidos	0.035	0.02	0.57	1150	1000



$R_1 + \dots + R_n$
1.74 m²K/W

Figura 37: Descripción de los materiales de la fachada

Sin embargo como ya hemos comentado la composición de huecos sí que es distinta, ya que por criterios de eficiencia se colocará un mayor porcentaje en la fachada sur. Además la puerta de entrada hace imposible que todas las fachadas tengan los mismos huecos. Los huecos colocados son los siguientes:

- Fachada norte: Una puerta y dos Ventanas tipo 1 (v1) cuya composición es la siguiente:

Hueco/Lucernario

Nombre	V1			
Cerramiento asociado	Muro de fachada N		Orientación	Norte

Dimensiones		Características	
Longitud	1 m	Permeabilidad del hueco	Estanco 50 m ³ /hm ²
Altura	0.8 m	Absortividad del marco	α 0.4
Multiplicador	2	<input checked="" type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar
Superficie	1.6 m ²	Patrón de sombras	Sin patrón
Porcentaje de marco	15 %	<input type="checkbox"/> Doble ventana	

Parámetros característicos del hueco			
Propiedades térmicas	Estimadas		
Tipo de vidrio	Doble	<i>U vidrio</i>	3.3 W/m ² K
Tipo de marco	Metálico con RPT	<i>g vidrio</i>	0.75
		<i>U marco</i>	4.0 W/m ² K

Figura 38: Descripción de la V1

Hueco/Lucernario

Nombre	Puerta			
Cerramiento asociado	Muro de fachada N		Orientación	Norte

Dimensiones		Características	
Longitud	1 m	Permeabilidad del hueco	Estanco 50 m ³ /hm ²
Altura	2.2 m	Absortividad del marco	α 0.75
Multiplicador	1	<input checked="" type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar
Superficie	2.2 m ²	Patrón de sombras	Sin patrón
Porcentaje de marco	90 %	<input type="checkbox"/> Doble ventana	

Parámetros característicos del hueco			
Propiedades térmicas	Estimadas		
Tipo de vidrio	Doble	<i>U vidrio</i>	3.3 W/m ² K
Tipo de marco	Madera	<i>g vidrio</i>	0.75
		<i>U marco</i>	2.2 W/m ² K

Figura 39: Descripción de la puerta

- Fachada sur: Un mirador y dos Ventanas tipo 2 (v2), ambas con voladizo fijo como protección solar, cuya composición es la siguiente:

Hueco/Lucernario

Nombre	v2		Orientación	Sur	
Cerramiento asociado	Muro de fachada s				
Dimensiones			Características		
Longitud	2	m	Permeabilidad del hueco	Estanco	50 m3/hm2
Altura	1.5	m	Absortividad del marco	α	0.3
Multiplicador	2		<input type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar	
Superficie	6.0	m2	Patrón de sombras	Sin patrón	
Porcentaje de marco	15	%	<input type="checkbox"/> Doble ventana		
Parámetros característicos del hueco					
Propiedades térmicas	Estimadas				
Tipo de vidrio	Doble		<i>U vidrio</i>	3.3	W/m2K
Tipo de marco	PVC		<i>g vidrio</i>	0.75	
			<i>U marco</i>	2.2	W/m2K

Figura 40: Descripción de la V2

Hueco/Lucernario

Nombre	Hueco		Orientación	Sur	
Cerramiento asociado	Muro de fachada s				
Dimensiones			Características		
Longitud	3	m	Permeabilidad del hueco	Estanco	50 m3/hm2
Altura	2	m	Absortividad del marco	α	0.3
Multiplicador	1		<input checked="" type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar	
Superficie	6.0	m2	Patrón de sombras	Sin patrón	
Porcentaje de marco	15	%	<input type="checkbox"/> Doble ventana		
Parámetros característicos del hueco					
Propiedades térmicas	Estimadas				
Tipo de vidrio	Doble		<i>U vidrio</i>	3.3	W/m2K
Tipo de marco	PVC		<i>g vidrio</i>	0.75	
			<i>U marco</i>	2.2	W/m2K

Figura 41: Descripción del hueco

Ambas con voladizo y retranqueo cuyas características son las siguientes:

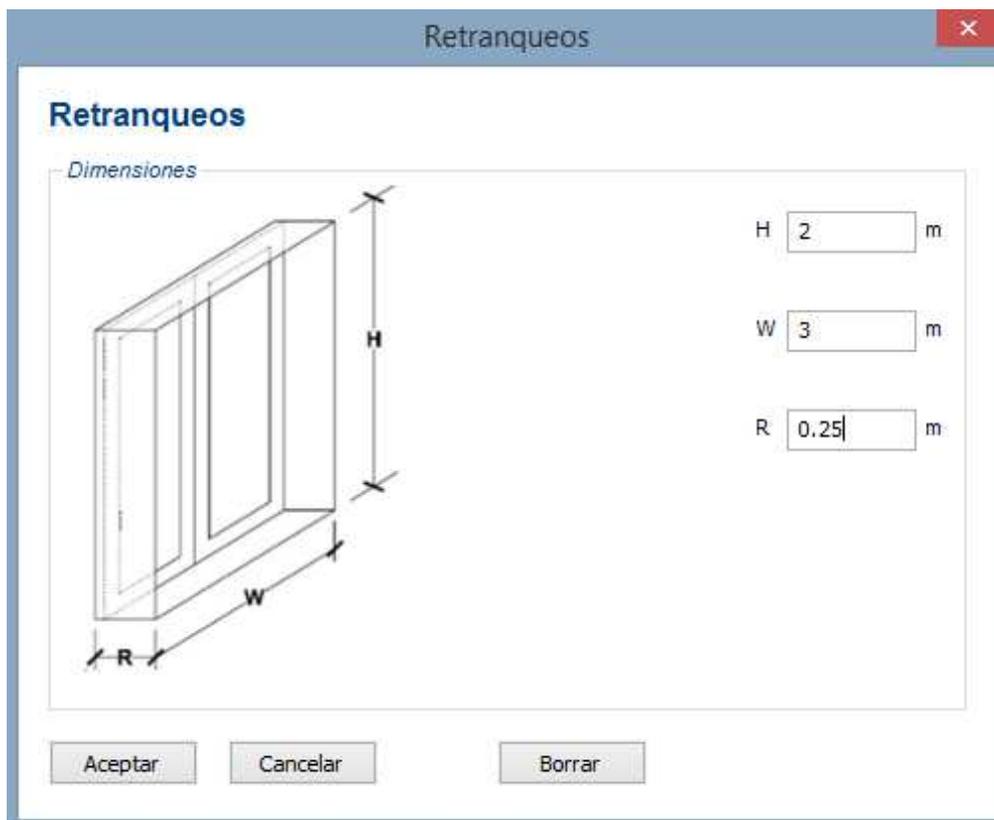


Figura 42: Características del retranqueo

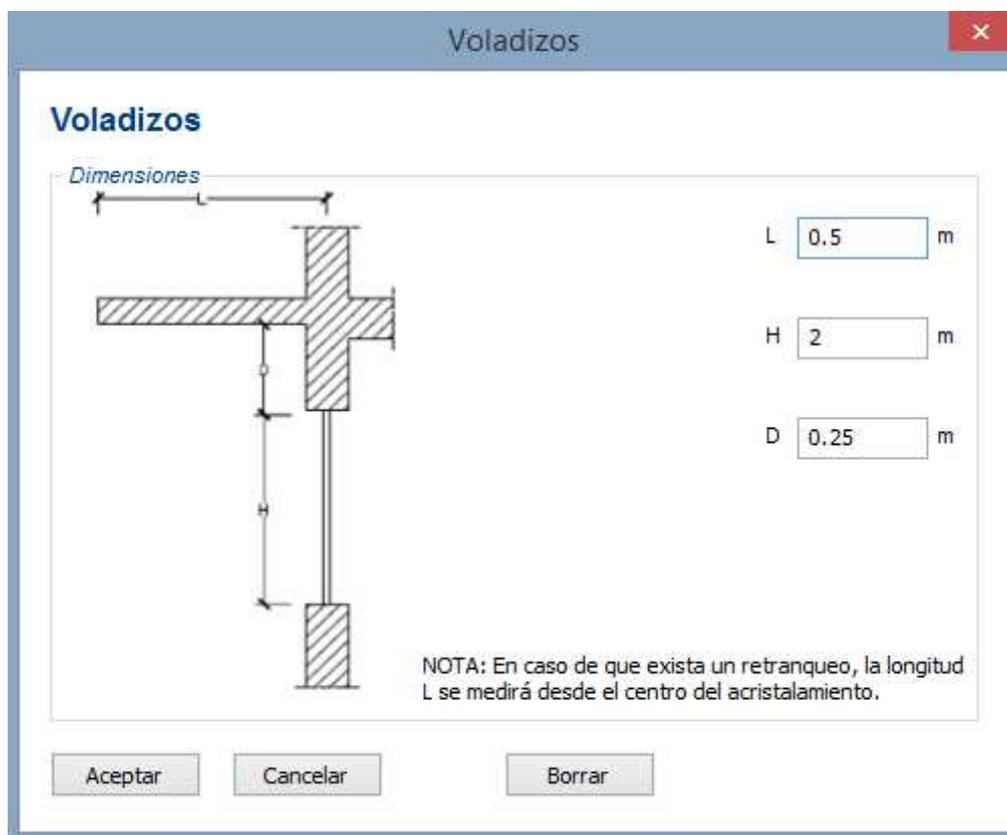


Figura 43: Características del voladizo

Voladizo sólo va a haber en los huecos de la fachada sur, y el retranqueo tendrán todos los huecos de la casa, siendo siempre de 25 cm. Las medidas “H” y “W” variarán en función del hueco, pero esas medidas quedan definidas en el apartado de Huecos/lucernarios, por lo que considero que sabiendo esto, y que no vamos a colocar ningún elemento más de sombreado, no es necesario repetir la información sobre los elementos en el resto de las fachadas.

- Fachada Este y Oeste: Ambas fachadas tienen la misma composición de huecos, dos ventanas V3 cada fachada (aunque en el programa se denominan V3 y V4 ya que al estar asociadas a fachadas distintas han de nombrarse de manera diferente) que tienen las siguientes características:

Hueco/Lucernario

Nombre	V3					
Cerramiento asociado	Muro de fachada e	Orientación	Este			
Dimensiones		Características				
Longitud	1	m	Permeabilidad del hueco	Estanco	50	m ³ /hm ²
Altura	0.8	m	Absortividad del marco	α	0.4	
Multiplicador	2		<input checked="" type="checkbox"/> Dispositivo de protección solar	Dispositivo de protección solar		
Superficie	1.6	m ²	Patrón de sombras	Sin patrón		
Porcentaje de marco	15	%	<input type="checkbox"/> Doble ventana			
Parámetros característicos del hueco						
Propiedades térmicas	Estimadas					
Tipo de vidrio	Doble		<i>U vidrio</i>	3.3	W/m ² K	
Tipo de marco	Metálico con RPT		<i>g vidrio</i>	0.75		
			<i>U marco</i>	4.0	W/m ² K	

Figura 44: Descripción de la V3

Además, con el fin de hacer que la simulación de la vivienda sea lo más real posible, hemos considerado apropiado aplicar en todas las fachadas puentes térmicos usuales, tales como:

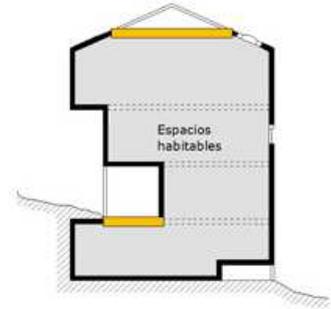
The image shows a software interface for defining thermal bridges. On the left, a tree view under 'Edificio Objeto' lists components: 'Muro de fachada N', 'Muro de fachada s', 'Hueco', 'v2', 'PT Pilar integrado en fachada', 'PT Pilar en Esquina-Muro de fachada', 'PT Contorno de hueco-Hueco', 'PT Caja de Persiana-Hueco', 'PT Contorno de hueco-v2', 'PT Caja de Persiana-v2', 'Muro de fachada e', 'Muro de fachada o', 'Partición superior', and 'Suelo con terreno'. On the right, the 'Envolvente térmica del edificio' section has radio buttons for 'Cubierta', 'Muro', 'Suelo', 'Partición interior', 'Hueco/Lucernario', and 'Puente térmico' (which is selected). A button 'Definidos por usuario' is next to it. Below, the 'Puente térmico por defecto' section has a title 'Definir puentes térmicos por defecto' and a list of checkboxes: 'Pilar integrado en fachada', 'Pilar en esquina', 'Contorno de hueco', 'Caja de persiana', 'Encuentro de fachada con forjado', 'Encuentro de fachada con cubierta', 'Encuentro de fachada con suelo en contacto con el aire', and 'Encuentro de fachada con solera'. The first four are checked.

Figura 45: Descripción de los puentes térmicos

Al tratarse de una vivienda unifamiliar hemos supuesto que el techo tiene un forjado bajo cubierta, siendo no habitable el hueco que queda entre el forjado y la cubierta. Resolviendo por lo tanto el tejado de la siguiente manera:

Envoltente térmica del edificio

- Cubierta
- Muro
- Suelo
- Partición interior
 - Vertical
 - Horizontal en contacto con espacio NH superior
 - Horizontal en contacto con espacio NH inferior
- Hueco/Lucernario
- Puente térmico



Partición interior horizontal en contacto con espacio NH superior

Nombre Zona

Parámetros generales

Superficie de la partición m²

Tipo de espacio no habitable

Parámetros característicos para el cálculo de la U global

Propiedades térmicas: Uglobal Transmitancia térmica W/m²K

Grado ventilación del espacio NH

Tiene aislamiento térmico Superficie del cerramiento m²

Definir la transmitancia térmica de la partición

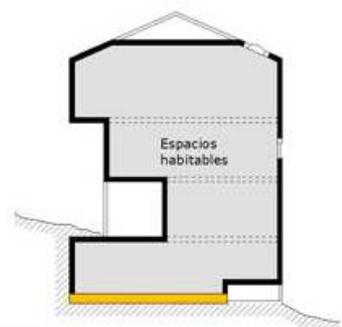
Definir Upartición

Figura 46: Descripción del techo

Por último queda por resolver el suelo, siguiendo el criterio de sencillez empleado a lo largo de la simulación, he decidido que todo el suelo esté en contacto con el terreno y que esté dotado de aislamiento térmico continuo, de forma que el suelo resultante tenga las siguientes características:

Envolvente térmica del edificio

- Cubierta
- Muro
- Suelo
 - En contacto con el terreno
 - En contacto con el aire exterior
- Partición interior
- Hueco/Lucernario
- Puente térmico



Suelo en contacto con el terreno

Nombre	Suelo con terreno	Zona	Edificio Objeto
Dimensiones		Características	
Superficie	144 m ²	Profundidad	<input checked="" type="radio"/> Menor o igual que 0.5 m
Longitud	m		<input type="radio"/> Mayor que 0.5 m
Anchura	m		
Parámetros característicos del cerramiento			
Propiedades térmicas	Estimadas	Transmitancia térmica	0.57 W/m ² K
Perímetro	48 m		
<input checked="" type="checkbox"/> Tiene aislamiento térmico			
Características del aislamiento térmico			
Tipo de aislamiento	Continuo		
Definir Ra	No conocida		

Figura 47: Descripción del suelo

Una vez definida la envolvente sólo quedan por determinar las instalaciones. Emplearemos equipos distintos para refrigeración, calefacción y ACS.

Como equipo de ACS vamos a emplear una caldera de gas natural, con las siguientes características:

Equipo de ACS

Nombre	Equipo ACS	Zona	Edificio Objeto
Características		Demanda cubierta	
Tipo de generador	Caldera Estándar	ACS	
Tipo de combustible	Gas Natural	Superficie (m ²)	144.0
		Porcentaje (%)	100
Rendimiento medio estacional			
Rendimiento estacional	Estimado según Instalación	Rendimiento medio estacional	56.8 %
Potencia nominal	24.0 kW		
Carga media real β _{cmb}	0.2 ?	Aislamiento de la caldera	Antigua con mal aislamiento
Rendimiento de combustión	85 %		

Figura 48: Descripción del sistema de ACS

Para la refrigeración colocaremos la siguiente máquina frigorífica:

Equipo de sólo refrigeración

Nombre	Sólo refrigeración	Zona	Edificio Objeto
Características		Demanda cubierta	
Tipo de generador	Maquina frigorífica	Superficie (m2)	144.0
Tipo de combustible	Electricidad	Porcentaje (%)	100
Rendimiento medio estacional		Rendimiento medio estacional	
Rendimiento estacional	Estimado según Instalación	Rendimiento medio estacional	96.3 %
Antigüedad del equipo	Menos de 5 años	<input type="checkbox"/> ¿Existen varios generadores escalonados?	
Rendimiento nominal	150.0 %		

Figura 49: Descripción del sistema de refrigeración

A continuación colocaremos el sistema de calefacción. Para ello tenemos que tener en cuenta los siguientes factores:

Según los diferentes ensayos realizados en este trabajo, comprobamos que para calentar un mismo volumen de aire en condiciones similares el calefactor desarrollado por Microbiotech necesita que le suministren energía eléctrica durante mucho menos tiempo que el que se calienta mediante resistencia eléctrica, y por lo tanto consume menos. Concretamente el primero consume 51.2 9 W·h para aumentar la temperatura 10°C, mientras que el segundo 87.9 w·h por lo que con un sencillo cálculo $((87.9/51.2) \cdot 100)$ vemos que el segundo calefactor consume un 171% (170 para redondear) más de energía.

El rendimiento de un aparato se calcula a partir de energía que aporta al ambiente dividido por la energía consumida, datos que realmente no sabemos ya que el volumen de aire que calentamos no estaba bien aislado y tenía perdidas, de todas formas como ya expliqué en este TFG esto no es relevante a la hora de realizar una comparativa entre sistemas calefactores, además este trabajo es una primera fase de un estudio que se va a mejorar en cuanto la empresa consiga capital para poder mejorar la calidad de los instrumentos. Teniendo en cuenta todo esto, lo que hicimos es lo siguiente: En teoría los aparatos que funcionan por efecto joule (como el acumulador cerámico con resistencia eléctrica que hemos instalado) tienen un rendimiento del 100%(11), así que vamos a suponer que los datos de consumo obtenidos en los experimentos realizados con el primer calefactor corresponden a un aparato cuyo rendimiento es del 100%. Si ese aparato consume un 171% más de energía que el

calefactor desarrollado por Microbiotech, podemos, de manera aproximada, asociar un rendimiento del 171% (170 para redondear) al calefactor realizado con cerámica dopada.

Todo esto hace que a la hora de realizar un certificado energético con nuestro calefactor optemos por elegir en el programa un generador con efecto joule con una eficiencia del 170%:

Equipo de sólo calefacción

Nombre Zona

Características

Tipo de generador

Tipo de combustible

Demanda cubierta

Superficie (m²)

Porcentaje (%)

Rendimiento medio estacional

Rendimiento estacional Rendimiento medio estacional %

Antigüedad del equipo ¿Existen varios generadores escalonados?

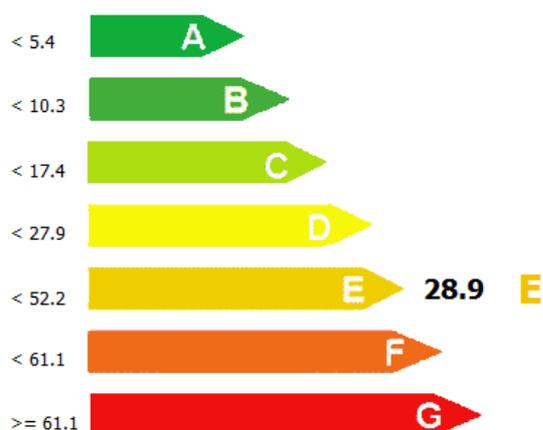
Rendimiento nominal %

Figura 50: Descripción del sistema de calefacción

Con esto queda definida la vivienda, su envolvente térmica y sus instalaciones. Ahora hemos de sacar el certificado energético, que según el ce3x es el siguiente:

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m ²)	37.0	D
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	12.8	C
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	14.1	D
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	8.6	F
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	6.1	E

Figura 51: Calificación energética de nuestra vivienda

La calificación obtenida es la E. Esta calificación podría ser mejorada poniendo unos mayores aislamientos, cambiando los marcos de las ventanas, poniendo instalaciones que consuman menos....Pero como ya hemos dicho el objetivo del trabajo no es hacer una casa eficiente, sino comprobar como nuestro sistema mejora la eficiencia de una casa. En el ejemplo propuesto observamos que las emisiones debidas a la calefacción son de 14.1 de Kg de CO₂/m².

COMPARATIVA CON OTROS SISTEMAS CALEFACTORES

Una vez obtenida la calificación energética, vamos a realizar pequeños cambios en la casa para ver de qué manera afectan a las emisiones de CO₂ por calefacción de la casa.

Cambiaremos el sistema de calefacción por un sistema de efecto joule convencional (rendimiento del 100%) y por el resto de sistemas que nos permita el programa. También cambiaremos los espesores de los aislamientos, la superficie de la vivienda, o su localización a climas más fríos y cálidos para ver cómo afectan estos cambios a las emisiones de dióxido de carbono.

Sistema de calefacción por efecto joule habitual (rendimientos del 100%):



Figura 52: Calificación energética si aplicamos un calefactor con efecto joule de rendimiento 100%

Para empezar vemos que no obtenemos un empeoramiento ni una mejora de la calificación de la vivienda (sigue siendo una Calificación E). Por otro lado podemos observar las emisiones de CO₂ por calefacción son de 24 kg/m², mientras que con el calefactor desarrollado por la empresa Microbiotech SL las emisiones eran de 14.1 kg de CO₂/m². Esto un aumento de las emisiones de dióxido de carbono de un 70%. Esto nos da a entender que el programa calcula las emisiones de tal forma que son directamente proporcionales al rendimiento, es decir, con la mitad del rendimiento obtendríamos el doble de emisiones. Para comprobar que eso es

cierto hemos realizado un supuesto con un rendimiento del 85%, cuya calificación energética es la siguiente:

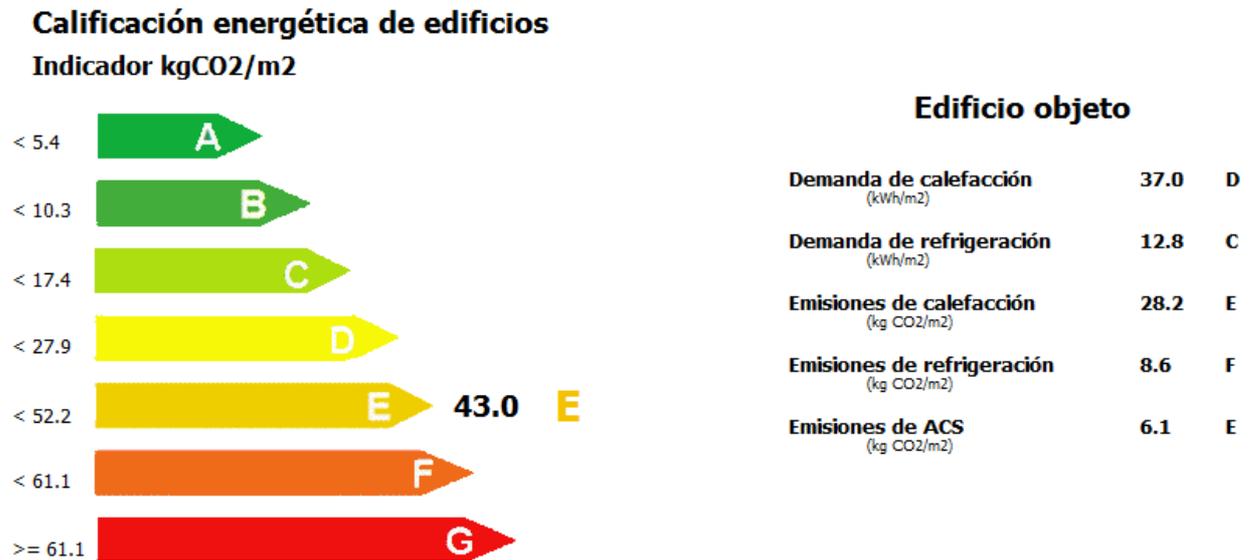


Figura 53: Calificación energética si aplicamos un calefactor con efecto joule de rendimiento 85%

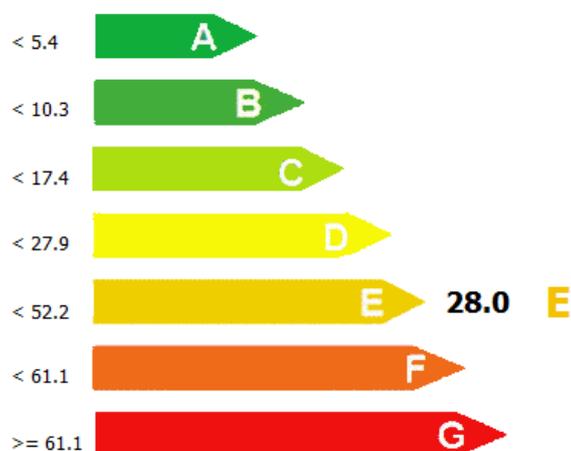
Si con un rendimiento del 170% emitíamos 14.1 kg de CO₂/m², con un rendimiento del 85% emitimos 28.2, es decir, el doble de kilogramos. Esto es lógico ya que con la mitad de rendimiento la energía necesaria para calefactar el mismo aparato es del doble, por lo tanto consumiremos el doble y emitiremos el doble de CO₂.

Esto nos hace ver la importancia de la mejora en el rendimiento, por cada uno por ciento de mejora en el rendimiento emitiremos un uno por ciento menos de dióxido de carbono, por lo que el equipo desarrollado por Microbiotech emite un 70% menos de kilogramos de dióxido de carbono que un calefactor de efecto joule convencional.

A continuación vamos a sacar el certificado energético con otros generadores de calor. En el caso de la caldera lo que hará que varíen las emisiones de CO₂ será sobre todo el combustible que empleemos. Si este combustible es energía eléctrica las emisiones dependerán del rendimiento de la caldera (aprox. 85%) por lo que éstas serán el doble que las que emite el sistema de Microbiotech. Sin embargo si el combustible es biomasa las emisiones de CO₂ por calefacción se verán reducidas a 0. En el caso de que empleemos gas natural las emisiones serán:

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto		
Demanda de calefacción (kWh/m ²)	37.0	D
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	12.8	C
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	13.3	D
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	8.6	F
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	6.1	E

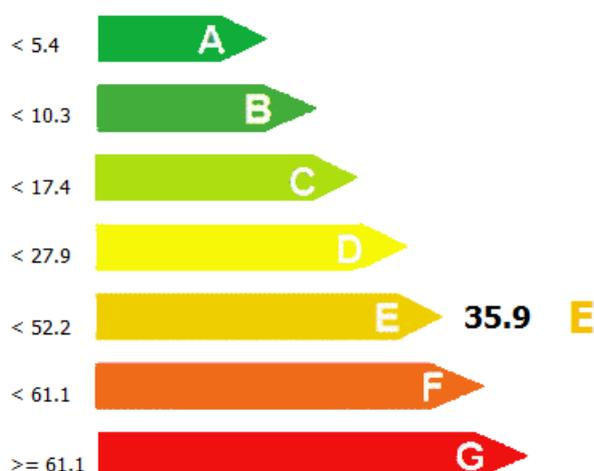
Figura 54: Calificación energética si empleamos una caldera de gas natural

Según el programa Ce3x una caldera que emplee como combustible el gas natural emitirá 13.3 kg de CO₂/m². Algo menos que el sistema desarrollado por Microbiotech, debido principalmente a que el gas natural emite una menor cantidad de dióxido de carbono a la atmósfera que la electricidad. En este caso en concreto este ahorro de 0.8Kg/m² no es suficiente para subir la calificación energética del edificio una letra, pero se queda muy cerca.

Otro sistema de calefacción muy empleado y con altos rendimientos son las bombas de calor, al igual que ocurría con las calderas, aunque existen diferencias entre unas bombas y otras, lo que más afecta a las emisiones de dióxido de carbono producidas por estos sistemas es el combustible empleado. Para las bombas de calor vamos a sacar el certificado energético empleando como combustibles primero la electricidad y luego el gasóleo, suponiendo unos rendimientos del 170%:

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

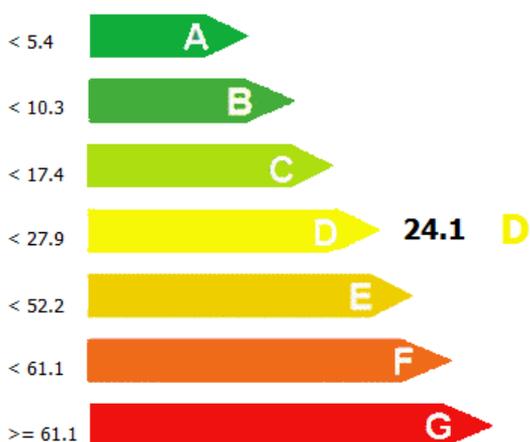
Demanda de calefacción (kWh/m ²)	37.0	D
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	12.8	C
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	21.1	E
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	8.6	F
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	6.1	E

Figura 55: Calificación energética si empleamos una bomba de calor alimentada con energía eléctrica

En la figura se muestran las emisiones de CO₂ que produciría una bomba de calor de un rendimiento del 170% empleando como combustible electricidad. Se puede observar que las emisiones aumentan en un 50%.

Calificación energética de edificios

Indicador kgCO₂/m²



Edificio objeto

Demanda de calefacción (kWh/m ²)	37.0	D
Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	12.8	C
Emisiones de calefacción (kg CO ₂ /m ²)	9.3	C
Emisiones de refrigeración (kg CO ₂ /m ²)	8.6	F
Emisiones de ACS (kg CO ₂ /m ²)	6.1	E

Figura 56: Calificación energética si empleamos una bomba de calor alimentada con gasóleo

Sin embargo al cambiar el combustible y poner gasóleo vemos que las emisiones de dióxido de carbono por calefacción caen hasta los 9.3 kg/m². Esto es debido a que como el gas natural, el gasóleo produce una cantidad menores de emisiones que la electricidad.

Por último vamos a modificar ciertas características de la vivienda para observar como afectan a las emisiones de dióxido de carbono. Lo primero que haremos será cambiar los espesores de los aislamientos, comenzando por poner aislantes de e=10 cm y luego eliminando los aislantes, ya que tradicionalmente en valencia se ha construido sin emplear aislamiento en las fachadas. También vamos a modificar las superficies y el emplazamiento de la vivienda:

	DATOS	Kg de CO2/m2 Calefacción	Kg de CO2/m2 Refrigeración
ESPESOR DEL AISLANTE (cm)	0	18,2	8,2
	5	14,1	8,6
	10	13	8,1
LOCALIZACIÓN	Sevilla	11	13,3
	Valencia	14,1	8,6
	Burgos	49,4	-
SUPERFICIE DE LA VIVIENDA	81	16,5	14,1
	144	14,1	8,6
	225	11,6	5,8

Tabla 15: Modificaciones realizadas a la vivienda

Conclusión

Tras la realización del presente trabajo hay multitud de ideas que se pueden extraer del mismo.

Empezaré centrándome en lo que es el trabajo en sí, y echando la vista hacia atrás, me doy cuenta de que en el proceso de búsqueda de un material cerámico que se calefactase gracias a las microondas, empezamos muy a tientas, realizando multitud de probetas que no fueron ni calentadas en microondas porque hervían, rompían por falta de consistencia en el proceso de prensado, o simplemente sus características físicas las hacían no aptas para el propósito que buscábamos. Sin embargo, después de realizar multitud de probetas dimos con varios compuestos muy interesantes sobre los que luego la empresa Microbiotech trabajó para desarrollar su calefactor. Estos compuestos tienen la facultad de calentarse muy rápido ya que el dopante aumenta velozmente su temperatura, y se enfrían lentamente ya que la cerámica tiene un calor específico muy elevado y esto lo convierte en un material perfecto para la creación de calefactores pero también para muchas otras aplicaciones.

Un compuesto con estas características puede ser muy útil en todas aquellas industrias que empleen hornos, como por ejemplo en la industria alimenticia, donde puede usarse en procesos como la pasteurización de la leche o en todos aquellos procesos de cocción y secado en cadena, como los que se aplican en las galletas. Con el material elaborado se ahorraría en consumo eléctrico y en las emisiones de CO₂.

También podría ser útil en la industria cerámica, ya que emplea hornos que necesitan estar a temperaturas muy elevadas, y gran parte de la energía se emplea en calentar el propio horno, perdiendo horas de productividad. Este material conseguiría elevar la temperatura de los hornos mucho más rápido, haciendo que el proceso de precalentamiento dure menos, consiguiendo así aumentar la productividad y reducir las emisiones de CO₂.

Otra aplicación es, obviamente, la aquí estudiada. Emplear este material para desarrollar un calefactor que acondicione la casa. Durante el desarrollo del trabajo siempre hemos tratado este calefactor como si fuese un radiador convencional, admitiendo que su función es la de calentar el aire por convección y de esta manera llegar a la temperatura de confort. Tras los

numerosos ensayos y pruebas realizadas creo que esta tecnología podría ser aplicada muy eficazmente en suelos radiantes. El suelo radiante tiene varios inconvenientes:

- Requiere de una instalación costosa, especialmente en viviendas ya construidas puesto que hay que levantar el solado.
- Requiere de una red de tuberías por las que circula el agua, en caso de avería de estas tuberías su reparación es complicada y costosa ya que no siempre es fácil averiguar el lugar exacto en el que se produjo y hay que levantar superficies importantes del suelo para poder hallar la fuga.
- Desde que se activa el sistema de calefacción hasta que el suelo realmente adquiere la temperatura deseada transcurren tiempos muy largos en los que el usuario no se encuentra en zona de confort.

Todos estos problemas podrían ser mejorados si se desarrolla una baldosa cerámica dopada con el material susceptible a las microondas. Al ser la propia baldosa la que se calienta no se requiere más instalación que la empleada para cualquier otro solado convencional. Además en viviendas ya construidas el sistema podría colocarse sobre el terrazo preexistente, haciendo su instalación mucho más sencilla. Por otro lado al no depender de que se caliente el agua o una resistencia eléctrica los tiempos de espera entre que se activa el sistema calefactor y la superficie del suelo serían muy bajos, más aún teniendo en cuenta que un suelo radiante no sobrepasa los 40°C. Estos calefactores han demostrado sobradamente que son capaces de alcanzar esas temperaturas en menos de un minuto. Además en caso de que una baldosa dejase de funcionar, sería fácilmente identificable y la reparación consistiría en sustituir una única baldosa, algo relativamente fácil y económico. El único inconveniente que tendría con respecto a los sistemas de suelo radiante con tuberías es que no se podría refrescar el suelo en verano mientras que con el sistema tradicional si circula agua fría por las tuberías el suelo también funciona como unidad refrigeradora.

En cuanto a la parte del trabajo que consistía en comparar el calefactor desarrollado por Microbiotech con un acumulador cerámico, la primera conclusión a la que llegamos es que los aparatos con los que contábamos no eran los idóneos para realizar la experiencia. Quedó perfectamente probado (como se explica en el diario) que la nevera no está bien aislada, pero incluso después de añadir el porexpán forrado de aluminio, seguían habiendo pérdidas. Esto lo pudimos comprobar en los ciclos de enfriamiento del aire que se hicieron en los ensayos

realizados los días 8 y 9, debido a que cuando la temperatura de la plaqueta bajaba de los 55°C la temperatura del aire en el interior de la cámara (que estaba a unos 35°C) comenzaba a descender. Esto sólo se explica si existen fugas de calor.

A pesar de todo, seguimos con el experimento ya que lo que nos interesa saber es el ahorro de energía de nuestro calefactor, para ello si mantenemos las mismas condiciones dentro de la cámara y realizamos el mismo experimento tanto con el calefactor desarrollado por Microbiotech como con la plaqueta cerámica con resistencia eléctrica, podremos obtener una comparativa de consumos que sí que es fiable, ya que hemos sometido a ambos calefactores a las mismas condiciones de contorno y por lo tanto ambos han sufrido las mismas pérdidas. Además no consideramos que sea un problema grave ya que en las condiciones reales (una vivienda) también hay pérdidas, y por lo tanto la experiencia hace que los resultados se asemejen más al comportamiento real que tendrían ambos calefactores en una casa.

Comprobamos que las gráficas de calentamiento realizadas en los experimentos tienden a alcanzar una temperatura máxima. Debido a que el termómetro no tiene la precisión necesaria, en determinadas gráficas puede aparentar que la función que siguen es lineal, sin embargo si analizamos la totalidad de las gráficas en conjunto nos daremos cuenta de que en la mayoría de ellas el aumento de la temperatura no es constante. Esto es lógico debido a que cuanto menor es la diferencia de temperatura entre el objeto que emite calor y el ambiente, más tiempo le cuesta al ambiente calentarse un grado, pero además hay que tener en cuenta las pérdidas energéticas en la cámara.

Antes de aislar la cámara las pérdidas eran tan elevadas que la temperatura en la cual se alcanzaba este equilibrio era de 31°C. Tras colocar el porexpan este efecto menguó mucho, de manera que subiendo la temperatura 10°C no se apreciaba una tendencia en la curva de calentamiento que indique claramente cuál sería la temperatura de equilibrio.

Para calentar un grado de media el aire de la cámara (338L) se necesita poca energía eléctrica (6.7w), sin embargo necesitamos que transcurra mucho tiempo para que el aire se caliente debido a los procesos de radiación y convección (algo más de 12 minutos por cada grado) esto hace que para calentar un volumen de aire de 338 l unos 15 °C tardaríamos más de 3h, tiempo que consideramos excesivo para poder tener confort en una vivienda. Esto podría solventarse empleando resistencias más potentes y/o radiadores con una mayor superficie (reduciríamos

tiempos a cambio de un mayor coste energético) pero se decidió emplear una resistencia de estas características ya que tiene la misma potencia que el calefactor desarrollado por la empresa Microbiotech, para poder comparar datos y comprobar cual consume más.

Como ya hemos explicado, para subir un grado la temperatura del aire en la cámara se emplea una media de 6.7w. Sin embargo en los ensayos realizados los días 8 y 9 decidimos mantener la temperatura ambiente a la “temperatura de confort” y observamos que una vez alcanzada la temperatura deseada, si dejamos enfriar un grado la temperatura ambiente, para volver a calentar ese grado consumimos en torno a 20w, esto se debe a que la cerámica tiene una gran inercia térmica y gran parte de la energía la empleamos en volver a calentar el material cerámico para que así éste vuelva a calentar el aire.

El segundo calefactor se compone de una serie de células cerámicas dopadas con material susceptible a las microondas, envueltas en papel de cobre y que actúan como un conjunto. Ambos calefactores tienen la misma superficie (240cm²) y la misma potencia (300w).

Una vez realizados los diferentes ensayos comprobamos que el primer calefactor consume un 171% más de energía.

El siguiente paso a dar en nuestra investigación es comprobar cuantos kilos de CO₂ podríamos ahorrar gracias a este sistema. Para ello hemos diseñado una vivienda unifamiliar tipo en la que instalaremos un sistema de calefacción tradicional por efecto joule y posteriormente sustituiremos dicho sistema por el nuestro.

Para realizar estos cálculos nos ayudaremos del programa de certificación energética Ce3x, ya que cuando calculamos la certificación nos dice los kg de dióxido de carbono consumidos por m², por lo que podemos comprobar cuántos kg ahorramos. Para poder operar con este programa hay que tener claro que las instalaciones de calefacción vienen predeterminadas, por lo que en principio no podemos diseñar una vivienda que emplee como sistema de calefacción una placa cerámica susceptible a las microondas, ya que este modelo de calefactor no se encuentra entre los que da el programa por defecto, así que lo que haremos será modificar uno de los sistemas que da el programa. Como el calefactor desarrollado por Microbiotech se comporta de una forma muy parecida a un acumulador cerámico, lo que vamos a hacer para poder realizar la simulación es modificar el rendimiento de un calefactor por efecto joule, asociándole unos rendimientos del 170%.

Resulta conveniente dejar claro que el objetivo de este apartado no era realizar la certificación energética de una vivienda, ni ser exactos en cuanto a las particularidades de una casa, sino realizar una comparación entre diferentes sistemas calefactores y comprobar el ahorro energético de los mismos, por ello se empleó una vivienda muy simple, y se cambiaron los sistemas calefactores y otros datos tales como la superficie o el aislamiento para comprobar que variaciones sufre la vivienda con respecto a la eficiencia energética.

La primera conclusión que se puede extraer es que el programa ce3x calcula las emisiones de CO₂ de manera directamente proporcional al rendimiento, es decir, con un rendimiento del 50% se emiten el doble de emisiones que con un rendimiento del 100%. Si la energía consumida en una caldera es electricidad esta norma también se cumple, es decir, una caldera con un rendimiento del 50% emitirá el doble de dióxido de carbono que un calefactor que funcione mediante efecto joule con un rendimiento del 100%, sin embargo, en el caso de las bombas de calor esto no se cumple. Una bomba de calor cuyo rendimiento sea del 150% y consuma electricidad emitirá a la atmósfera una cantidad de CO₂ similar a un calefactor por efecto joule con un rendimiento del 100%

Todos los datos obtenidos en este estudio indican que el calefactor desarrollado por Microbiotech tiene una mejor eficiencia energética comparado con sistemas eléctricos. Sin embargo, en cuanto usamos otras fuentes de energía (el gas natural o el gasóleo) el sistema de Microbiotech deja de ser el que tiene una mejor eficiencia, siendo los sistemas que emplean biomasa los más eficientes. Estos sistemas tienen en teoría una huella de carbono nula, ya que el dióxido de carbono que emiten se encuentra dentro del ciclo natural del CO₂ y no ha sido extraído de materias fósiles. Sin embargo este tipo de calderas presenta varios inconvenientes:

- Necesita de una habitación en la que colocar la caldera y depositar el combustible, ocupando un espacio importante de la vivienda
- Tiene bajos rendimientos
- Supone una inversión económica inicial elevada
- Su uso puede dañar la flora natural al cambiar la vegetación existente por cultivos específicos para biomasa
- Elevados costes de reparación

Por lo tanto si queremos mejorar la eficiencia energética de una casa el mejor sistema es la caldera de biomasa, sin embargo por los inconvenientes ya mencionados, el calefactor estudiado en este trabajo se adapta mucho mejor a las necesidades de una vivienda y es una buena alternativa para ahorrar tanto económicamente como en emisiones de dióxido de carbono.

También hicimos cambios de diseño a la vivienda estudiada para ver cómo afectaban éstos a los datos obtenidos. Tal y como esperábamos si doblamos la cantidad de aislante los kg/co₂ por metro cuadrado de calefacción emitidos disminuyen, y si quitamos el aislante aumentan. Es destacable que con el doble de aislante sólo se reduzcan en 1.1 kg/m² las emisiones de dióxido de carbono, esto nos da a entender que las fugas de calor no se están produciendo mayoritariamente por la parte ciega de los muros, sino por otros lados, y por lo tanto no es conveniente colocar un aislante de tanto espesor. Tanto si aumentamos como si disminuimos la cantidad de aislante las emisiones por refrigeración no varían significativamente, ya que Valencia es una tierra cálida y vamos a necesitar refrigeración en los meses de verano.

Por otro lado, al cambiar de localización la vivienda se obtienen los resultados esperados. Si la situamos en un ambiente más caluroso (Sevilla) aumentan las emisiones en refrigeración y disminuyen en calefacción, mientras que si la situamos en Burgos las emisiones por calefacción se triplican y no hay emisiones de refrigeración, ya que Burgos tiene un clima suficientemente frío como para no necesitar que la vivienda se refrigere en todo el año.

El último cambio que realizamos fue el cambiar la superficie de la vivienda. Con este cambio se observa que cuanto más pequeña es la vivienda, más emisiones se producen por metro cuadrado (una vivienda de mayor tamaño tendrá más emisiones, pero no más emisiones por metro cuadrado). Esto es debido a que la relación de superficie de envolvente térmica/Volumen de aire disminuye cuanto más grande es la casa, ejemplizaremos con nuestra vivienda:

- La vivienda de 81 m² tiene como envolvente térmica 81m de suelo, 81m de techo, y (9·2.7·4) m² de paredes, es decir un total de 259.2 m² de envolvente térmica. Esta vivienda almacena en su interior (81·2.7) 218.7m³ de aire, manteniendo una relación superficie de envolvente térmica/Volumen de aire de 1.185.
- La vivienda de 225 m² tiene como envolvente térmica 225m de suelo, 225m de techo, y (15·2.7·4) m² de paredes, es decir un total de 612 m² de envolvente térmica. Esta vivienda almacena en su interior (225·2.7) 607.5m³ de aire, manteniendo una relación superficie de envolvente térmica/Volumen de aire de 1.007.

Terminaré las conclusiones con una parte más personal, diciendo que los ensayos realizados en los laboratorios me han acercado a un ambiente que no conocía de primera mano, sirviéndome como una experiencia laboral relacionada con las competencias transversales que debe tener un buen arquitecto técnico. Estas experiencias me han permitido conocer métodos experimentales, utensilios y aparatos que hasta la fecha desconocía, suponiendo para mí, una gran satisfacción personal ya que he aumentado mis conocimientos y me ha permitido participar en una investigación científica que, con suerte, servirá para hacer de este mundo un lugar mejor.

Índice de figuras y tablas:

Nº Figura	Descripción de la figura	Página
1	Captura de pantalla de los apuntes de la asignatura de eficiencia energética	10
2	Imagen extraída de la web www.guiaparatucasa.com	13
3	Fotografía de instrumental de laboratorio, molino de jarros	16
4	Fotografía de instrumental de laboratorio, estufa	17
5	Fotografía de instrumental de laboratorio, prensa	17
6	Fotografía de instrumental de laboratorio, pie de rey	18
7	Fotografía de instrumental de laboratorio, báscula	18
8	Fotografía de instrumental de laboratorio, mercurio	19
9	Fotografía de instrumental de laboratorio, horno	19
10	Fotografía de probeta hervida	20
11	Fotografía de instrumental de laboratorio, olla	21
12	Fotografía del conjunto de probetas realizadas	21
13	Gráfica Excel, porcentaje de dopantes	34
14	Gráfica Excel, calentamiento/enfriamiento probeta 33	35
15	Gráfica Excel, calentamiento/enfriamiento probeta 49	36
16	Gráfica Excel, calentamiento/enfriamiento probeta 48	37
17	Fotografía calefactor: Base cerámica	39
18	Fotografía calefactor: Resistencia eléctrica	39
19	Fotografía calefactor: Acumulador cerámico	39
20	Esquema de la experiencia a realizar	40
21	Diagrama de flujo inicial de la experiencia a realizar	40
22	Diagrama de flujo final de la experiencia a realizar	41
23	Dibujo de los componentes de la célula básica del calefactor desarrollado por Microbiotech	42
24	Fotografía del montaje de la primera experiencia	43
25	Fotografía del calefactor desarrollado por Microbiotech	44
26	Fotografía del montaje de la segunda experiencia	44
27	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150428	55
28	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150429	57
29	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150501	58
30	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150503	59
31	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150507	60
32	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150617	61
33	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150618	62
34	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150622	63
35	Gráfica Excel correspondiente al ensayo 150623	64
36	Captura de pantalla del programa Ce3x: Datos generales de la vivienda	66
37	Captura de pantalla del programa Ce3x: Materiales de la fachada	67
38	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción ventana v1	68

39	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción puerta	68
40	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción ventana v2	69
41	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción Hueco	69
42	Captura de pantalla del programa Ce3x: Características del retranqueo de todos los huecos	70
43	Captura de pantalla del programa Ce3x: Características de los voladizos de los huecos de la fachada sur	70
44	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción ventana v3	71
45	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción Puentes térmicos	72
46	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción techo	73
47	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción suelo	74
48	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción sistema de agua caliente sanitaria	74
49	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción sistema de refrigeración	75
50	Captura de pantalla del programa Ce3x: Descripción del sistema de calefacción. Efecto joule rendimiento 170%	76
51	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda	76
52	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda con sistema de calefacción efecto joule rendimiento 100%	78
53	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda con sistema de calefacción efecto joule rendimiento 85%	79
54	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda con sistema de calefacción caldera de gas natural	80
55	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda con sistema de bomba de calor con electricidad rendimiento 170%	81
56	Captura de pantalla del programa Ce3x: Calificación energética de la vivienda con sistema de calefacción bomba de calor gasóleo	81
57	Imagen extraída de la presentación de Microbitech	1 anexo 1
58	Imagen extraída del estudio "microwaves and metals"	2 anexo 1
59	Imagen extraída del estudio "Síntesis asistida por microondas de sólidos inorgánicos "	2 anexo 1
60	Imagen extraída de la web www.quimicocina.com	3 anexo 1
61	Imagen extraída del estudio "Síntesis asistida por microondas de sólidos inorgánicos "	4 anexo 1

Nº Tabla	Descripción de la tabla	Página
1	Tabla Excel: Caracterización de probetas	31
2	Tabla Excel: Resultados de los ensayos de enfriamiento/calentamiento del material	32
3	Tabla Excel: Ordenación de las probetas según el porcentaje de dopante	33
4	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150428	55
5	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150429	57
6	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150501	58
7	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150503	59
8	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150507	60
9	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150617	61
10	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150618	62
11	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150622	63
12	Tabla Excel: Resultados obtenidos en el ensayo 150623	64
13	Tabla Excel: Resumen de los ensayos obtenidos con el calefactor que funciona mediante resistencia eléctrica	65
14	Tabla Excel: Resumen de los ensayos obtenidos con el calefactor que funciona mediante microondas	65
15	Tabla Excel: Modificaciones realizadas a la vivienda	82

Bibliografía:

- (1) ISO 7730: *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local.*
- (2) Juan soto “Apuntes de la asignatura de eficiencia energética, apartado de química”
Tema 1, termodinámica, primer principio.
- (3) *Radiador* [Wiki en internet] 21 de marzo de 2015 [Consulta 24 de marzo de 2015]
Disponible en: <https://es.wikipedia.org>
- (4) Microbiotech SL. Valencia, España. *Célula calefactora, calefactor que hace uso de la misma, sistema de calefacción y uso del mismo.* ES1641.995.
- (5) <http://www.guiaparatucasa.com> [Consulta: 24 de marzo de 2015]
- (6) Proyecto de informática, Drums. *Microondas* [blog] [Consulta: 24 de marzo de 2015]
Disponible en: <http://maxdrums14.blogspot.com.es/>
- (7) <http://www.hablandodeciencia.com> [Consulta: 2 de Abril de 2015]
- (8) Jesús Prado-Gonjal, Emilio Morán “Síntesis asistida por microondas de sólidos inorgánicos”.
- (9) <http://www.clubensayos.com> [Consulta: 2 de Abril de 2015]
- (10) <http://www.quimicocina.com> [Consulta: 2 de Abril de 2015]
- (11) Ete. *Joule versus bomba de calor* [blog] Fernando Sanz Pérez. [consulta 1 de Julio de 2015] Disponible en: <http://www.blog.ete.es>
- (12) Manoj Gupta y Wong Wai Leong, Eugene “Microwaves and metals” 2007, Singapur.

OTRA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- **RITE:** *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios*. Madrid Septiembre de 2013
- **CTE:** *Código técnico de la edificación*.
- **EPBD:** *La Directiva de eficiencia energética en edificios (Energy Performance of Buildings Directive en inglés)* Directiva 2010/31/UE del 19 de mayo de 2010
- **EED:** *La Directiva de Eficiencia Energética (Energy Efficiency Directive en inglés)* Directiva 2012/27/UE del 20 de octubre de 2012

ANEXOS

ANEXO 1: LAS MICROONDAS

El descubrimiento del calentamiento por medio de microondas se remonta a 1940 durante la Segunda Guerra Mundial, después de que los científicos británicos John Randall y H. A. Boot inventaran una válvula magnetrón para generar microondas, componente fundamental de los sistemas de radar. En 1946, Percy Spencer, un ingeniero que trabajaba en la empresa Raytheon realizaba unas pruebas sobre magnetrón y tomó una chocolatina que tenía en su bolsillo, cuando la tocó percibió que ésta estaba derretida. Sabiendo que el magnetrón produce calor se cuestionó si había derretido el chocolate. (8)

Las microondas son ondas electromagnéticas de muy alta frecuencia (entre 300 MHz y 300 GHz) que tienen una longitud de onda que varía de entre un metro y un milímetro.

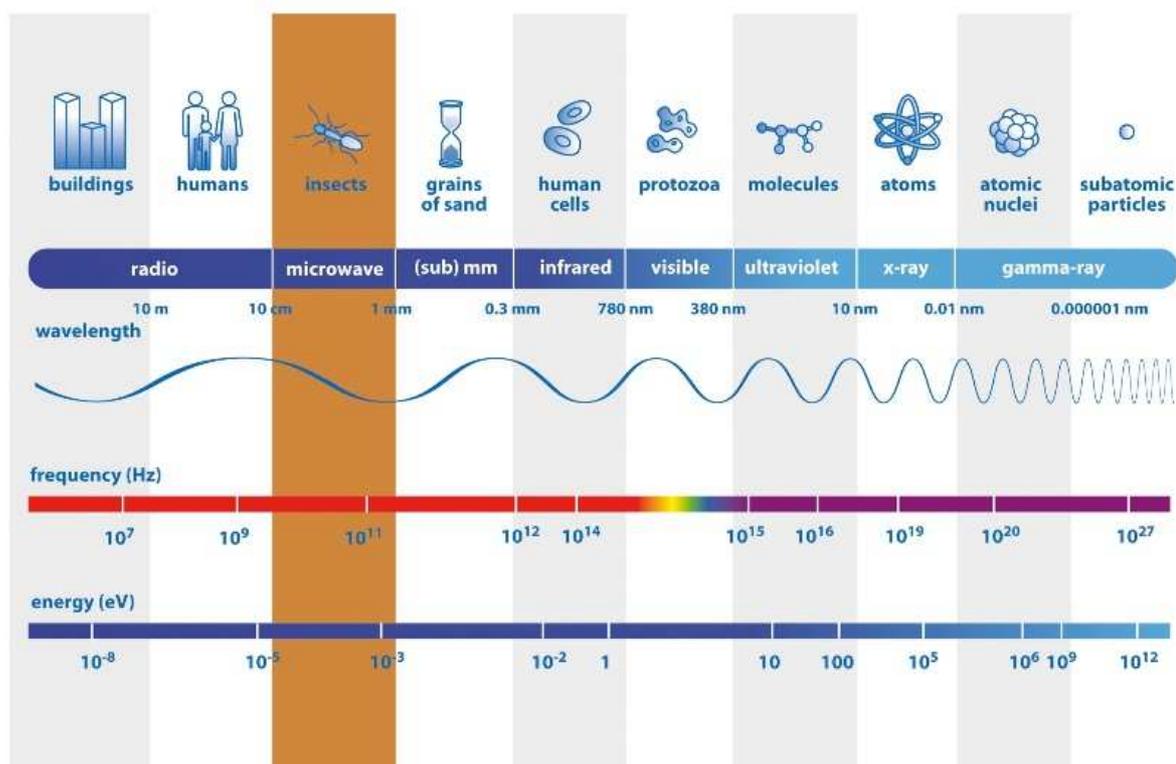


Figura 57: Longitudes de onda (13)

Las microondas, como toda onda electromagnética, tienen una componente eléctrica y una magnética, que oscilan en ángulos rectos en la dirección de propagación de la onda, tal y como se muestra en la figura 58:

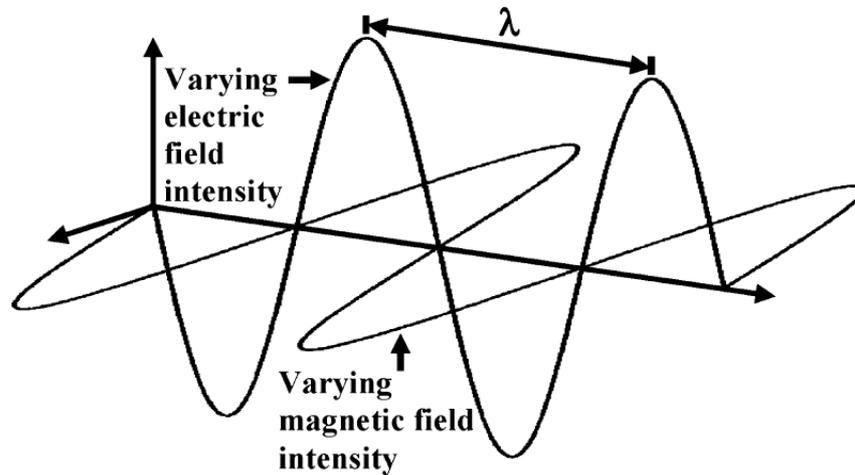


Figura 58: Oscilaciones de las dos componentes de una onda electromagnética (12)

Las microondas pueden ser reflejadas, transmitidas o absorbidas por los materiales, de manera similar a la luz. Los materiales metálicos reflejan totalmente las microondas mientras que los materiales no metálicos como el vidrio y algunos plásticos son mayormente transparentes a las microondas. Los materiales que contienen agua, grasa o azúcares rápidamente absorben la energía de las microondas; al absorber las ondas las moléculas de estos materiales vibran, aumentando así su temperatura. (9)

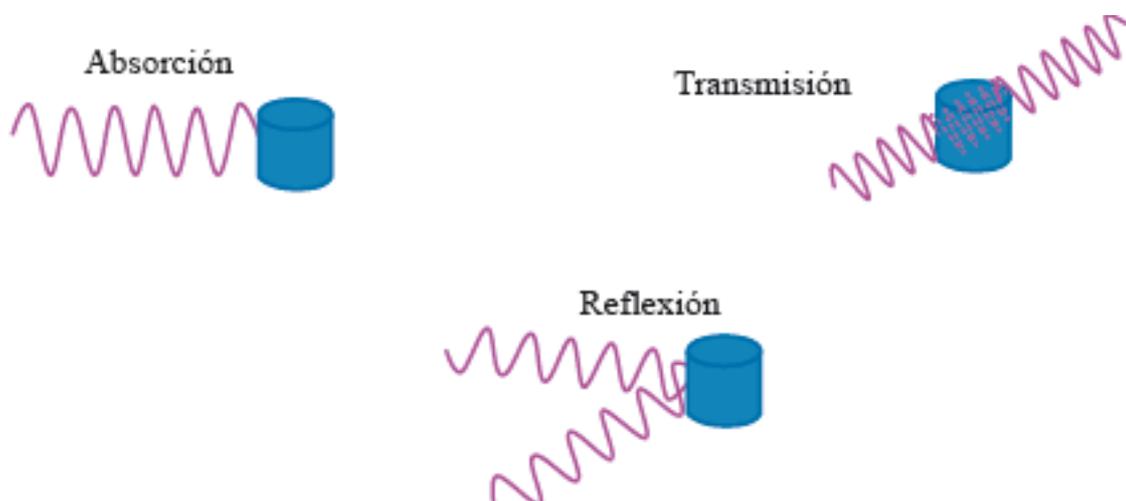


Figura 59: Comportamiento de los cuerpos ante las microondas (8)

Las moléculas de agua son dipolares, es decir, tienen una carga positiva en un lado y negativa en otro. Estas moléculas intentan alinearse con el campo eléctrico fluctuante generado por las ondas, sin embargo, la dirección del campo electromagnético se invierte 2.500 millones de veces por segundo (el número de veces depende de la frecuencia de onda, hemos supuesto una frecuencia habitual de de 2.5 Ghz) por lo que una vez que se alinean con una onda, deben rotar rápidamente para alinearse con la siguiente, así hasta las 2.500 millones de veces por segundo. (7)

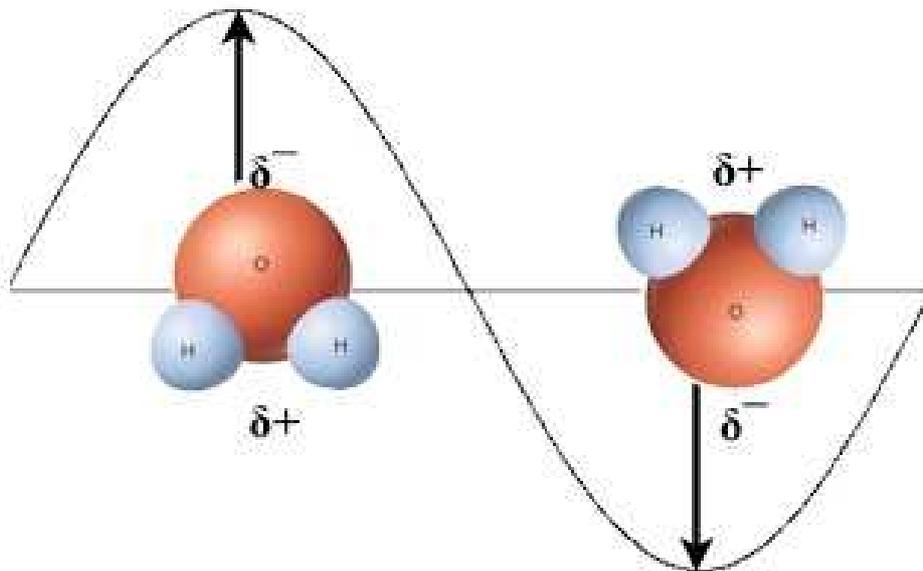


Figura 60: Dipolaridad del agua. <http://www.quimicocina.com> (10)

Este proceso rotacional da como resultado una agitación masiva de las moléculas de agua, produciendo un rápido movimiento molecular y aumentando así la temperatura de los materiales dipolares como el agua.

En los materiales con una alta conductividad el calentamiento depende fundamentalmente de pérdidas por conducción. Se ha comprobado que pequeñas adiciones de materiales susceptibles de las microondas en una cerámica pueden incrementar la absorción de las microondas y de esa forma, incrementar la temperatura dando lugar a reacciones de estado sólido. Que un material pueda o no calentarse por microondas dependerá de cuánta energía y cómo de rápido pueda absorber dicha energía.

La habilidad de un material para incrementar su temperatura cuando es sometido a microondas, se conoce como “ángulo de pérdida” ($\tan\delta$):

$$\tan\delta = \frac{\epsilon''}{\epsilon'}$$

Este factor da información sobre la capacidad del material de convertir la energía electromagnética en calor. Se relaciona con la permitividad (ϵ') que indica el grado de penetración de las microondas en el material, y el factor de pérdida (ϵ'') que indica la habilidad de un material para almacenar energía.

Las principales características del calentamiento por microondas son las siguientes:

a. Radiación penetrante: En un tratamiento térmico convencional, la energía es transferida al material mediante conducción y convección creando gradientes térmicos. Sin embargo, en el caso del calentamiento por microondas, la energía se transfiere directamente al material mediante una interacción a nivel molecular con el campo electromagnético (Figura 61). Esta diferencia en la forma de transferencia de energía es crucial en la síntesis de los materiales.

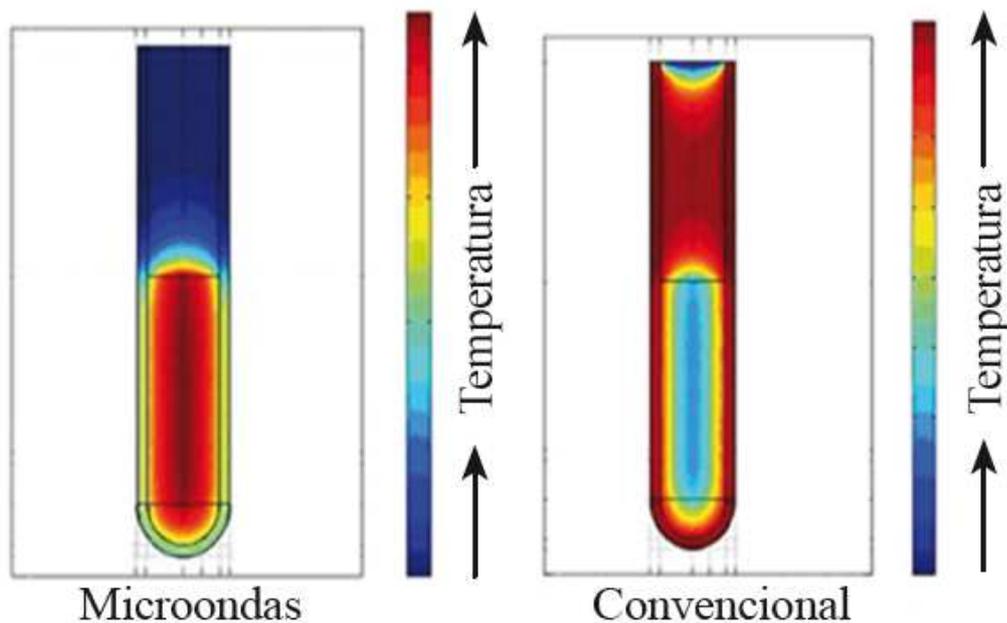


Figura 61: Temperatura de un cuerpo calentado por microondas y de forma convencional (8)

La profundidad que alcanza la radiación varía en función del material y de otros factores como las propiedades dieléctricas y magnéticas, la frecuencia y potencia del microondas, la temperatura, la conductividad, el tamaño y la densidad del material.

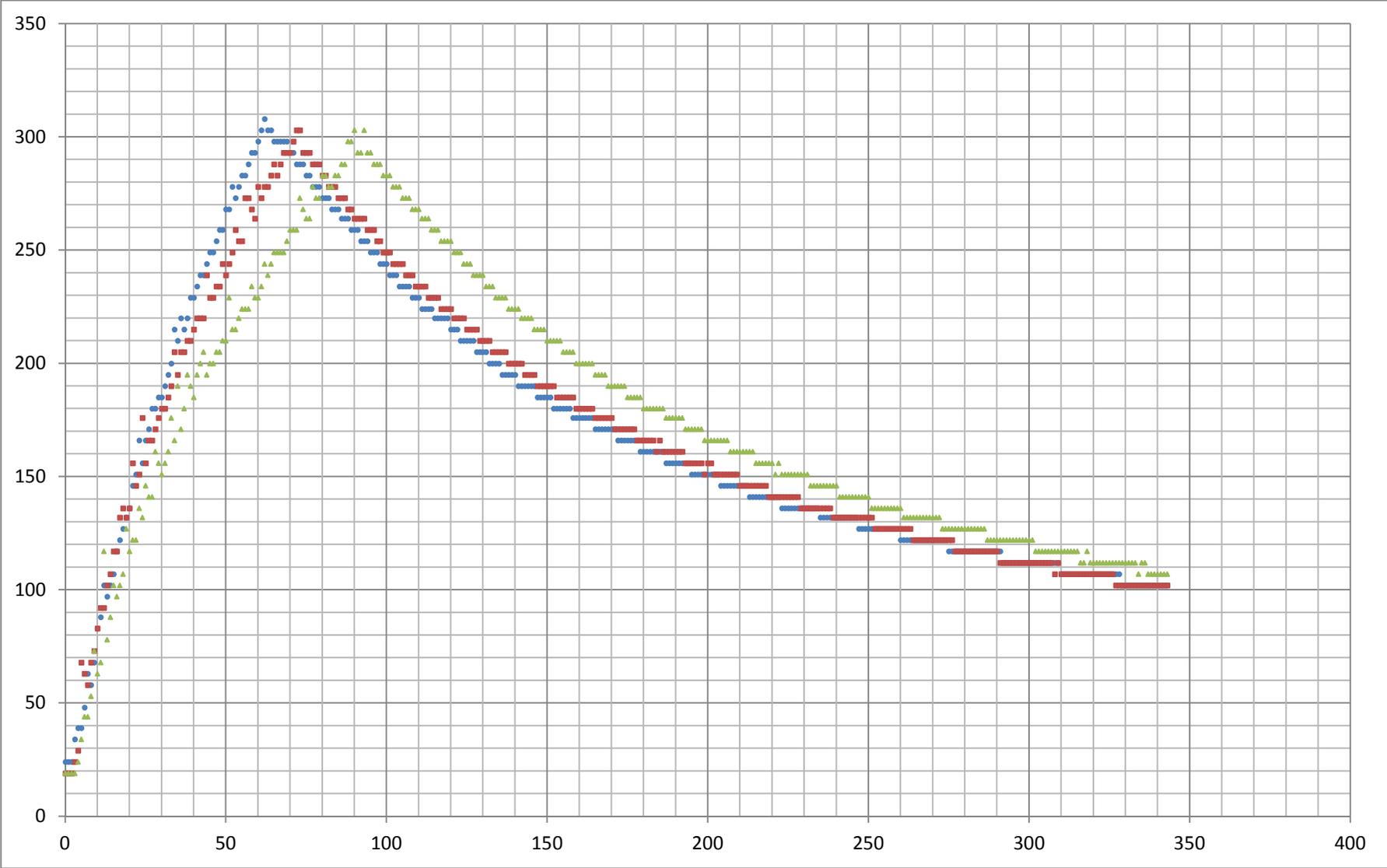
b. Calentamiento rápido: El empleo de microondas reduce significativamente el tiempo de procesado respecto a las síntesis convencionales, manteniendo las propiedades e incluso muchas veces mejorándolas. Sin embargo, hay que tener cuidado para prevenir la creación de puntos calientes durante un calentamiento tan rápido. Algunos autores aseguran que las reacciones se aceleran entre 10 y 1.000 veces cuando se realizan asistidas por microondas.

c. Calentamiento selectivo de los materiales: Las microondas se pueden emplear para efectuar un calentamiento selectivo, algo que no es posible en los tratamientos convencionales. Dependiendo de las características del material empleado (propiedades dieléctricas, tamaño y estructura molecular) y su habilidad para acoplarse con el campo eléctrico y/o magnético de las microondas, el calentamiento se localiza en ciertas regiones.

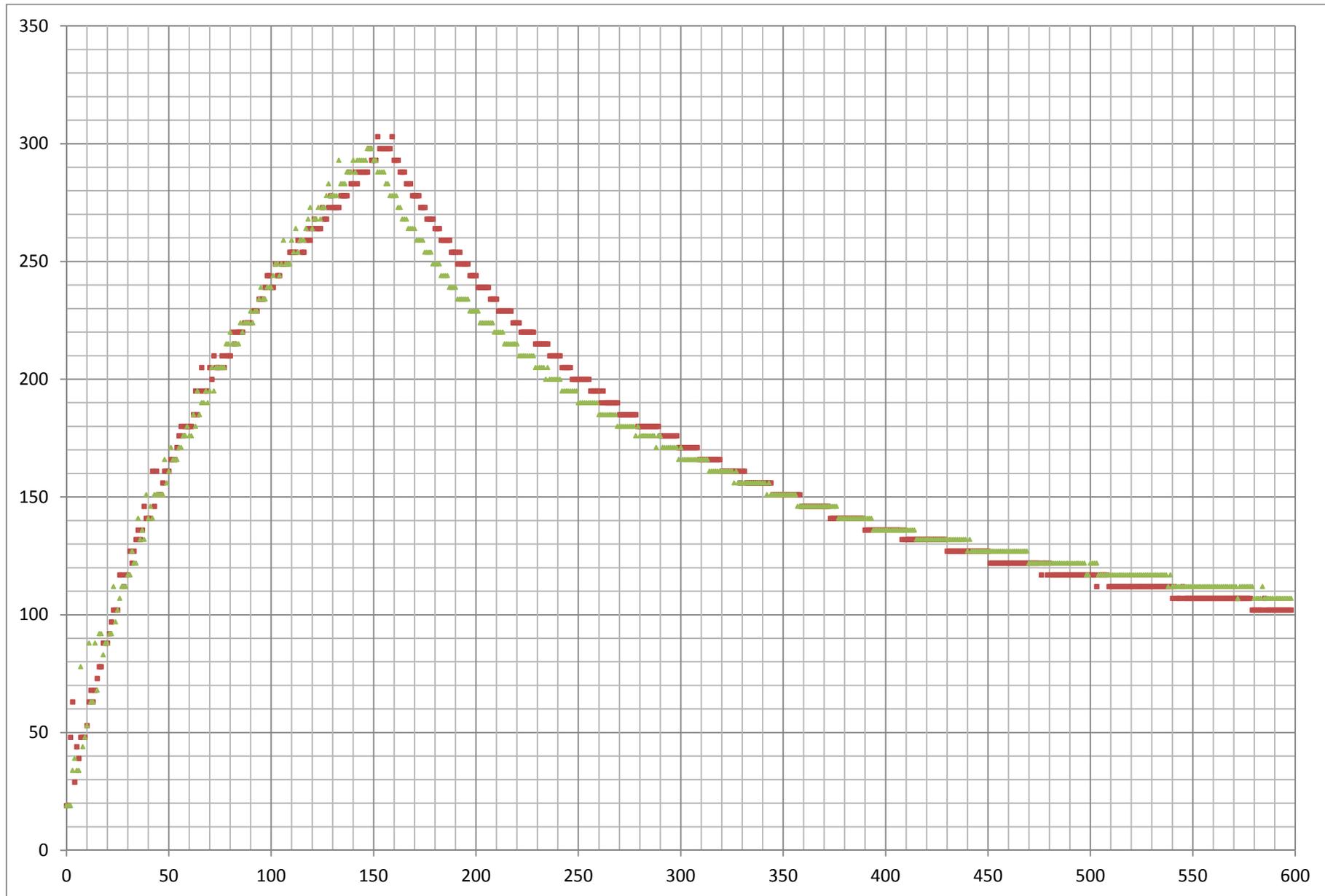
Todo lo expuesto hace que el uso de las microondas para el calentamiento esté siendo cada vez más explorado. La interacción de la materia con la radiación microondas y las diferencias existentes en el calentamiento con microondas respecto al convencional, permiten aumentar la temperatura de numerosos materiales en tiempos muy inferiores a los necesarios cuando se realiza este calentamiento a través de métodos convencionales. (8)

ANEXO 2: Gráficas Excel de las distintas composiciones realizadas

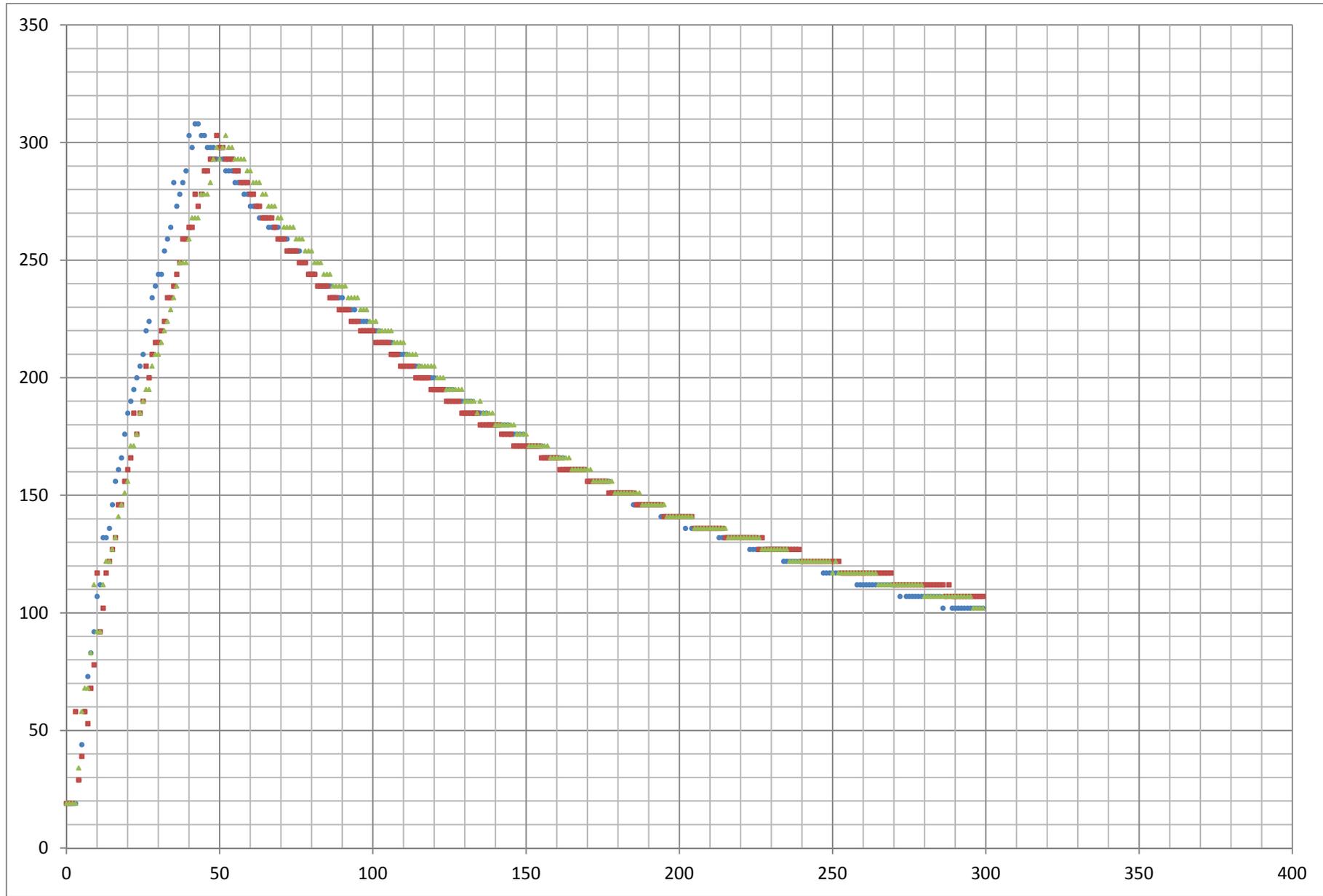
Composición 30



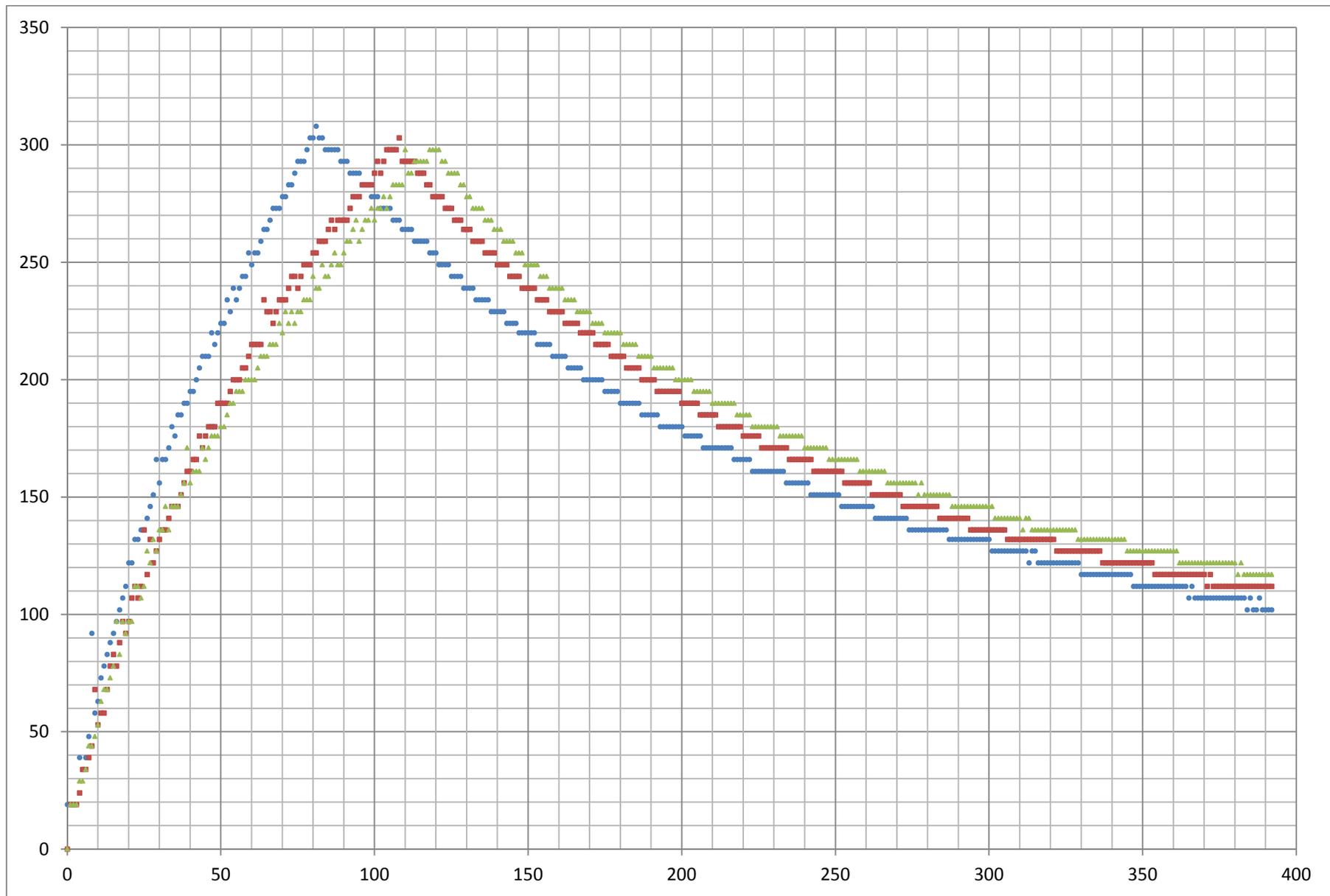
Composición 31



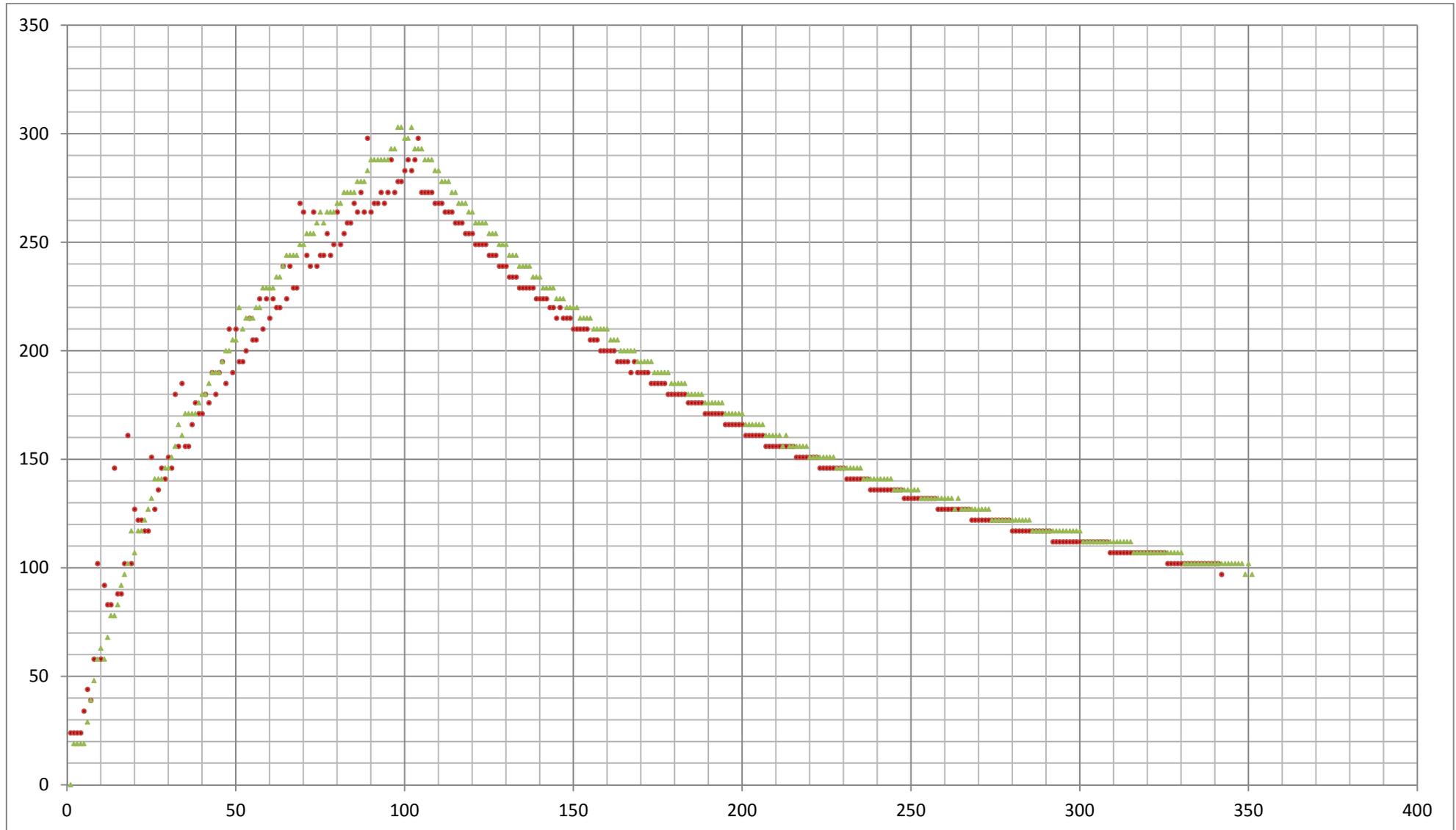
Composición 32



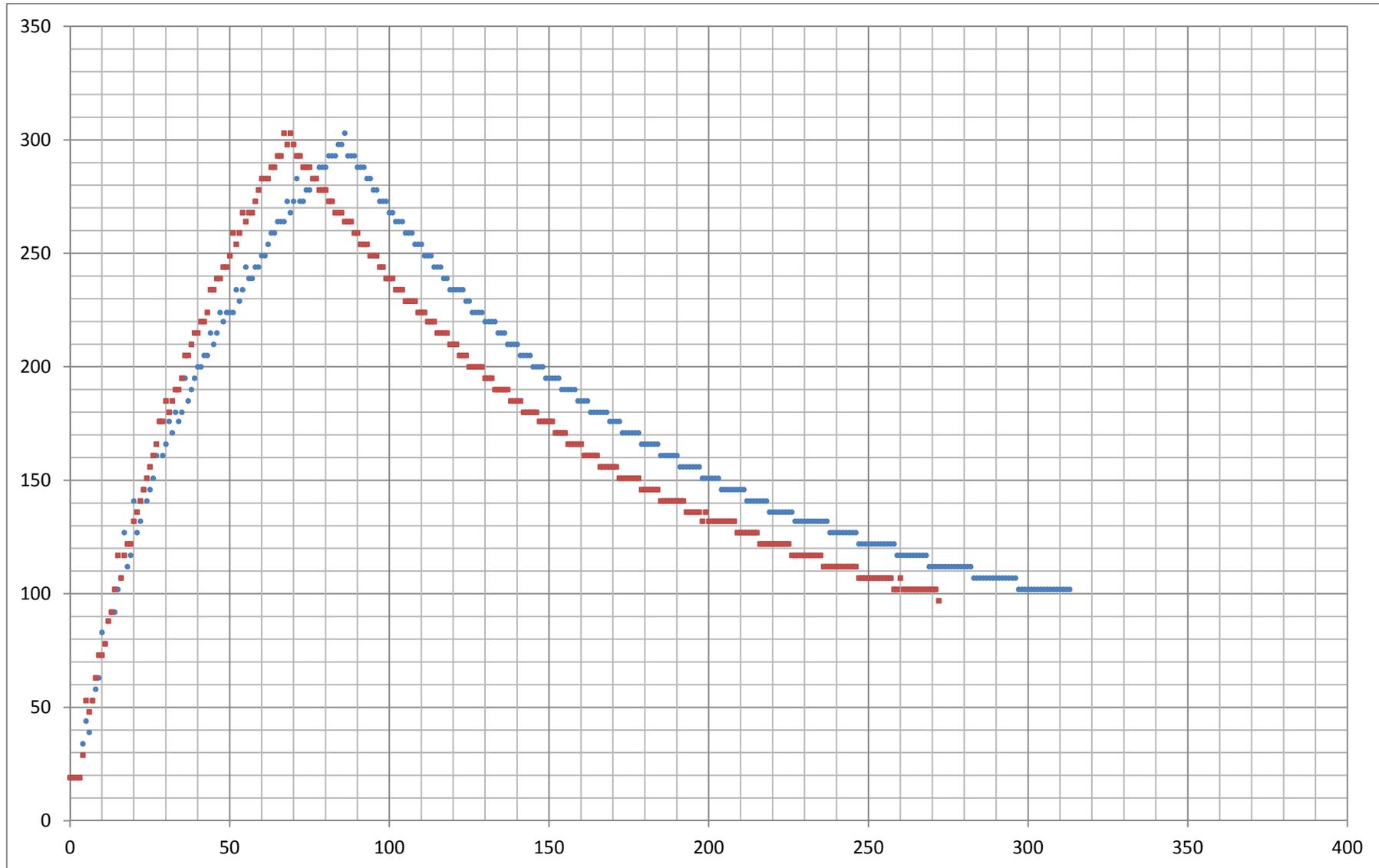
Composición 33



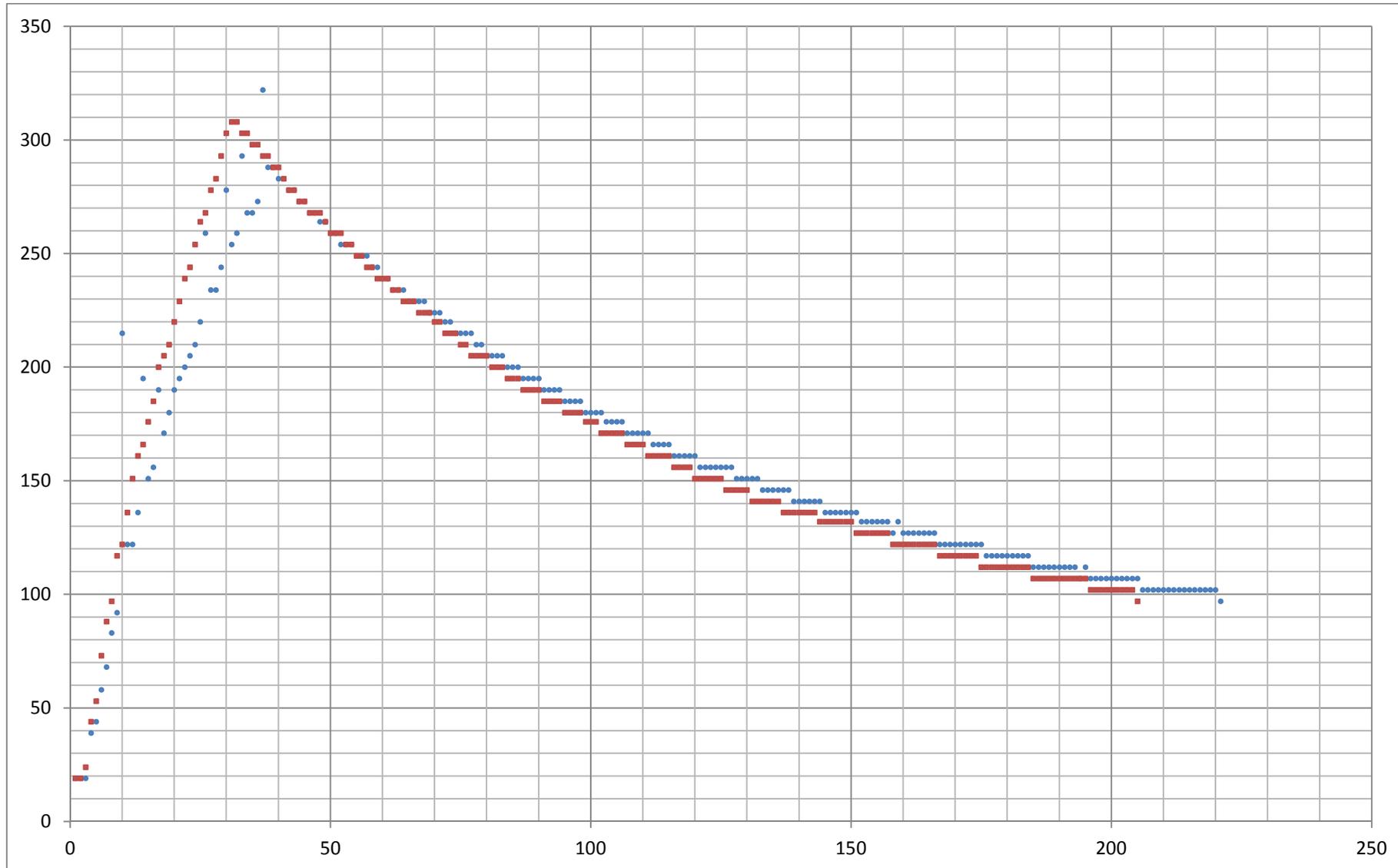
Composición 39



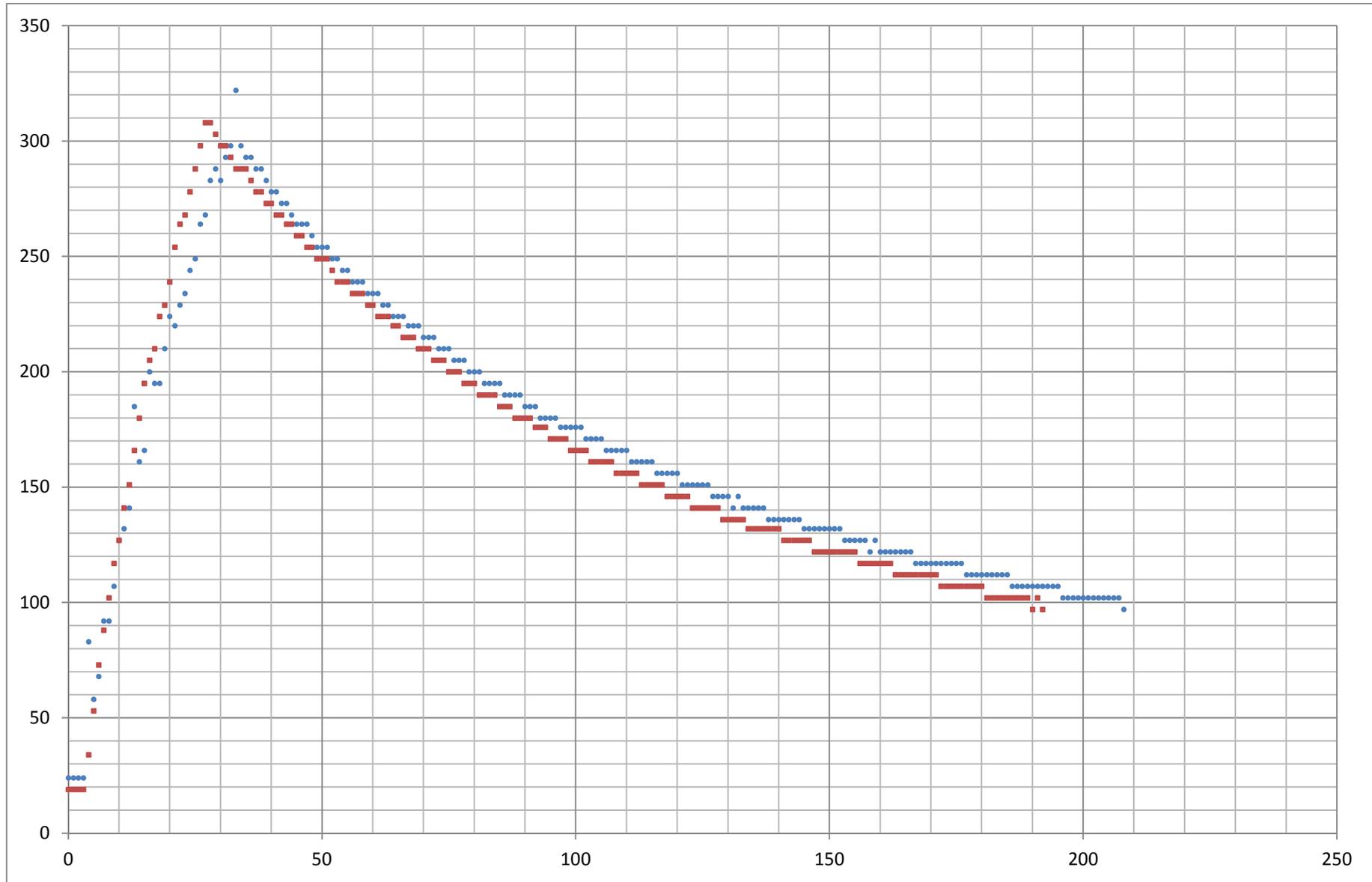
Composición 40



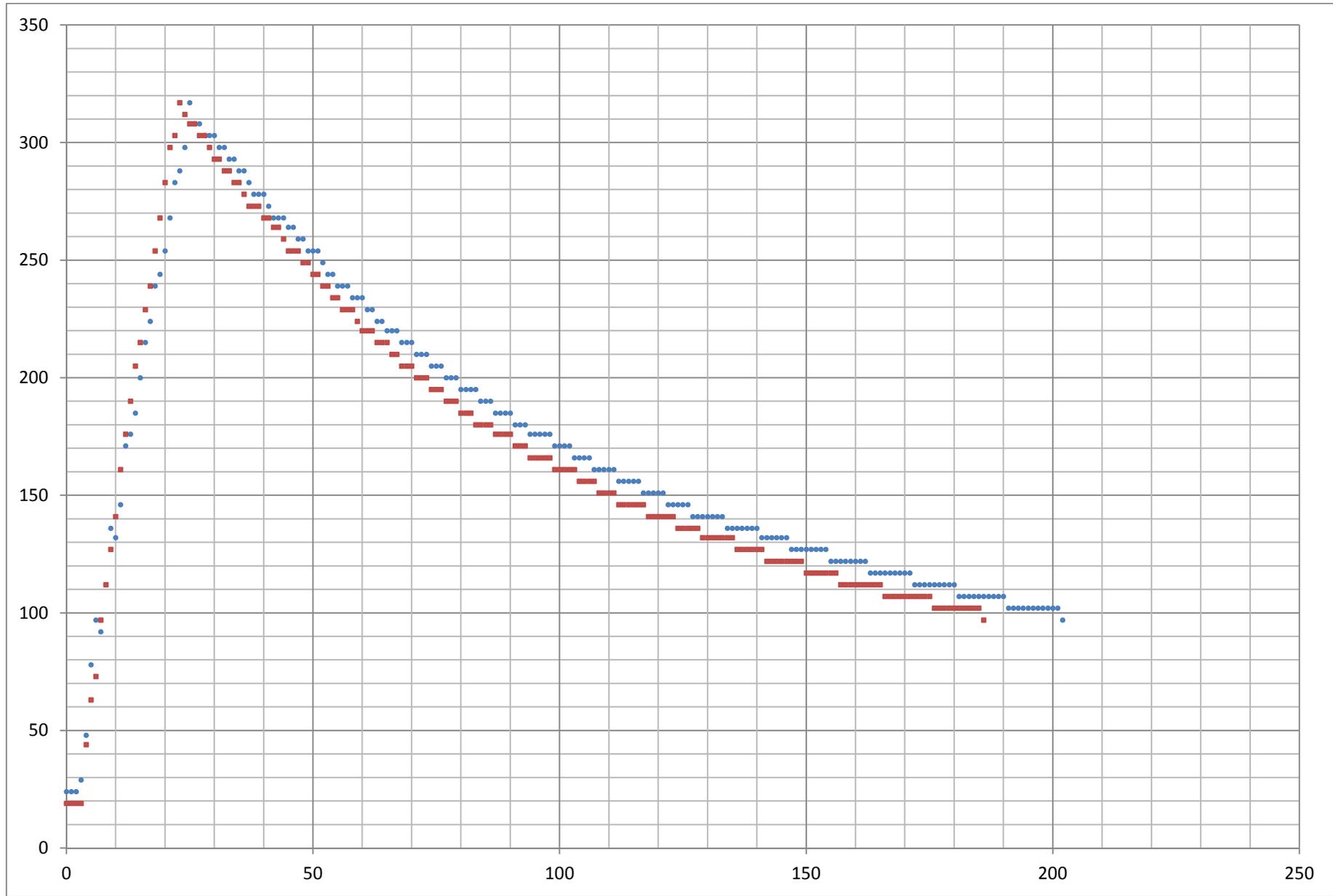
Composición 41



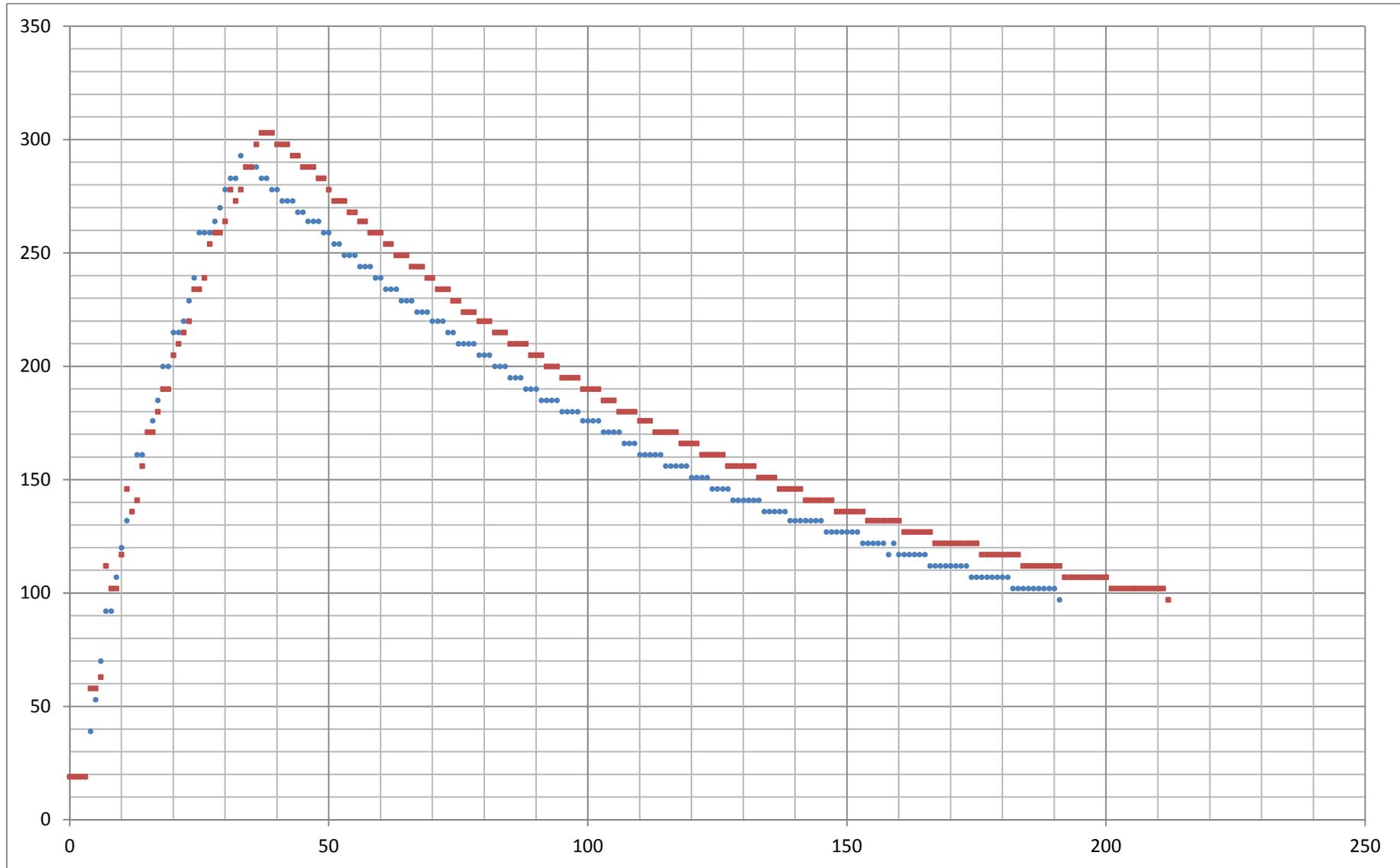
Composición 42



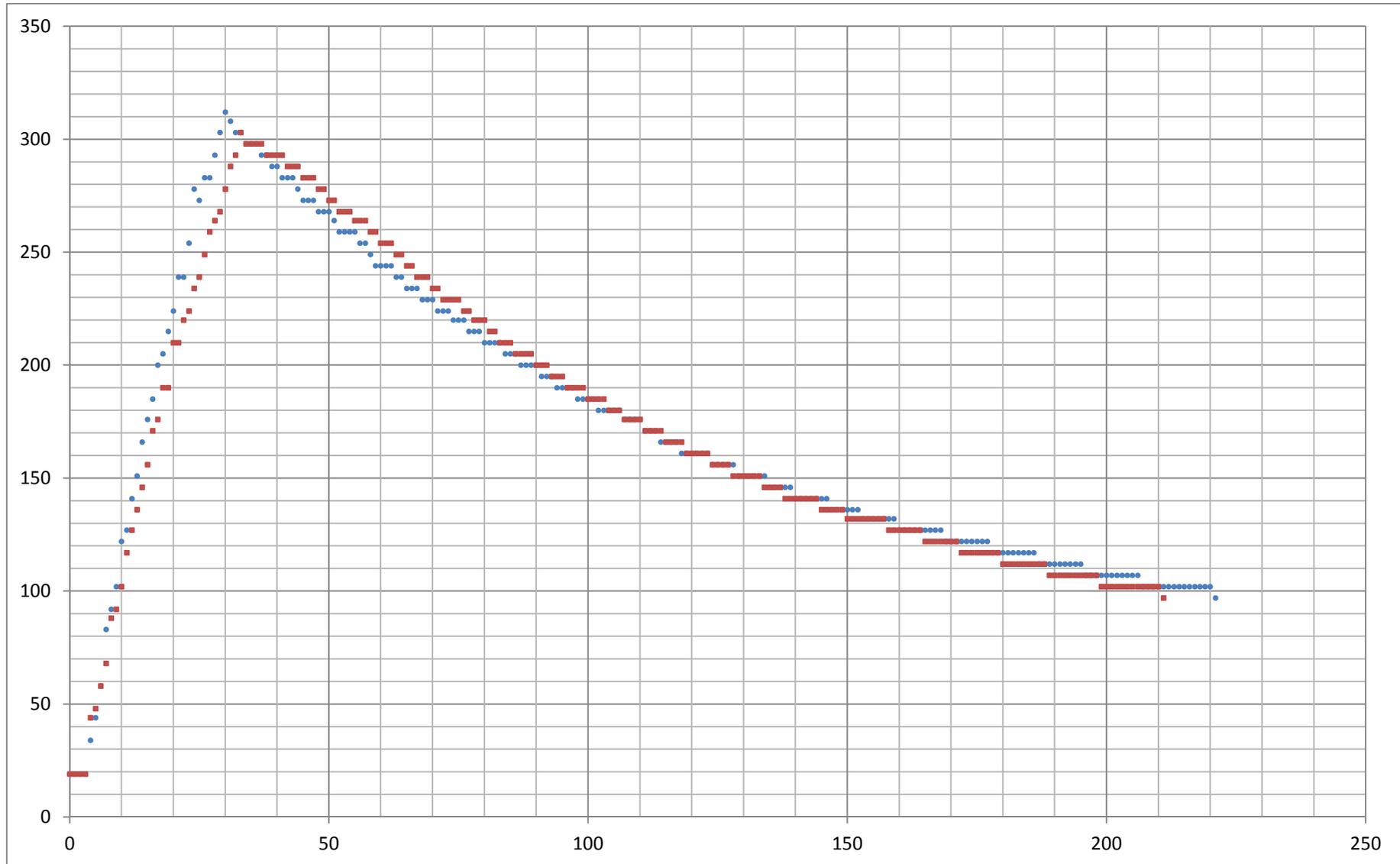
Composición 43



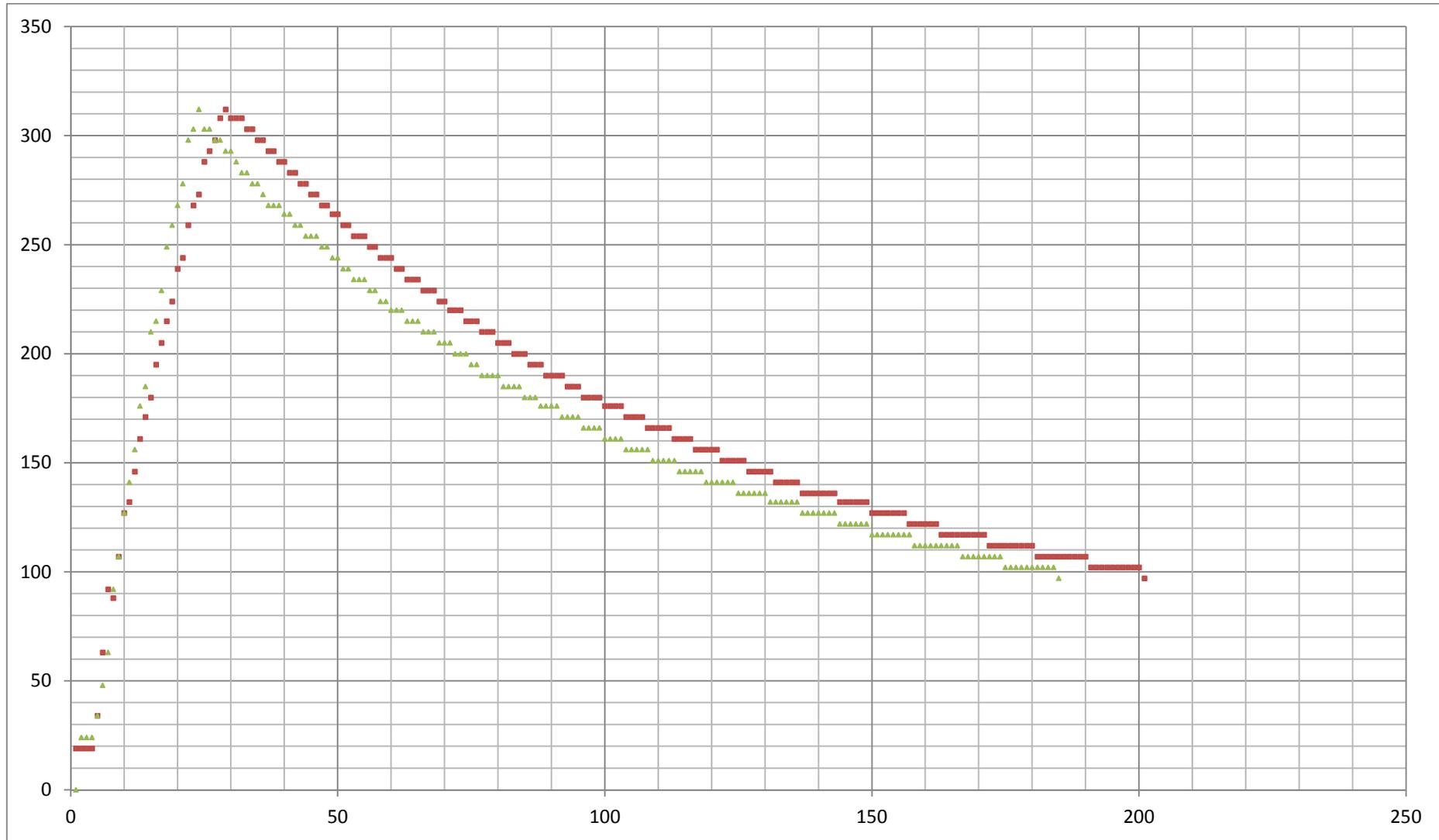
Composición 44



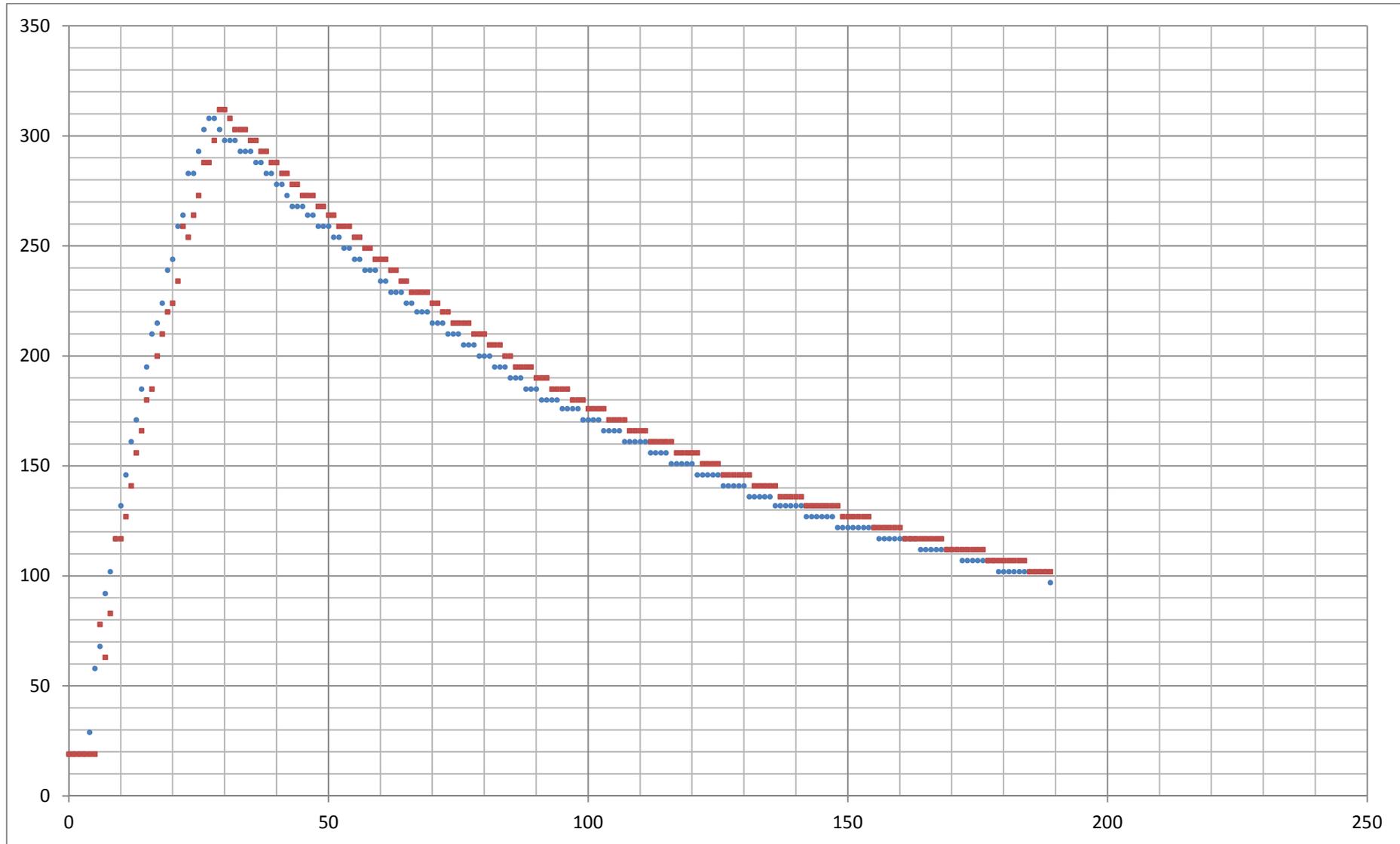
Composición 45



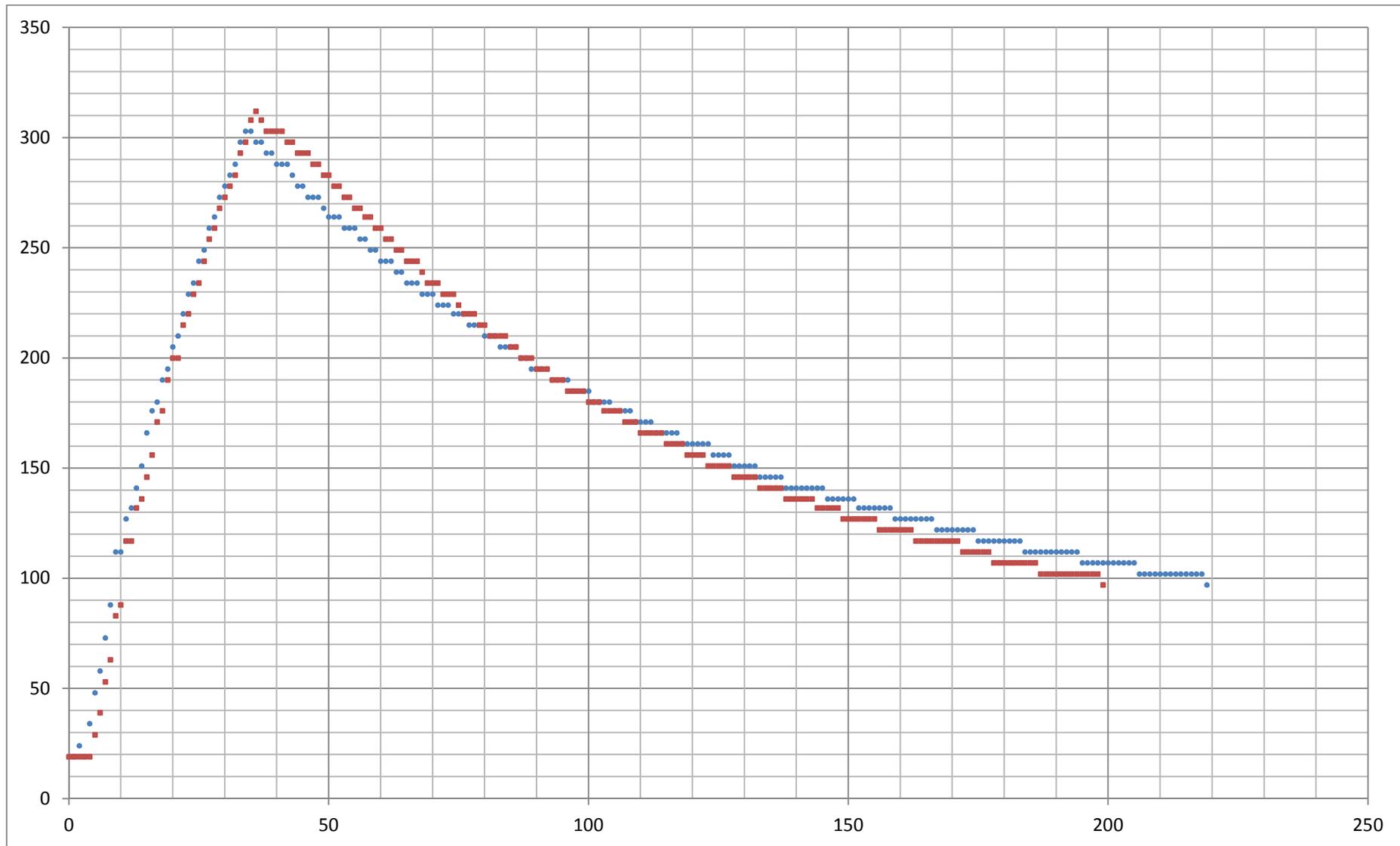
Composición 46



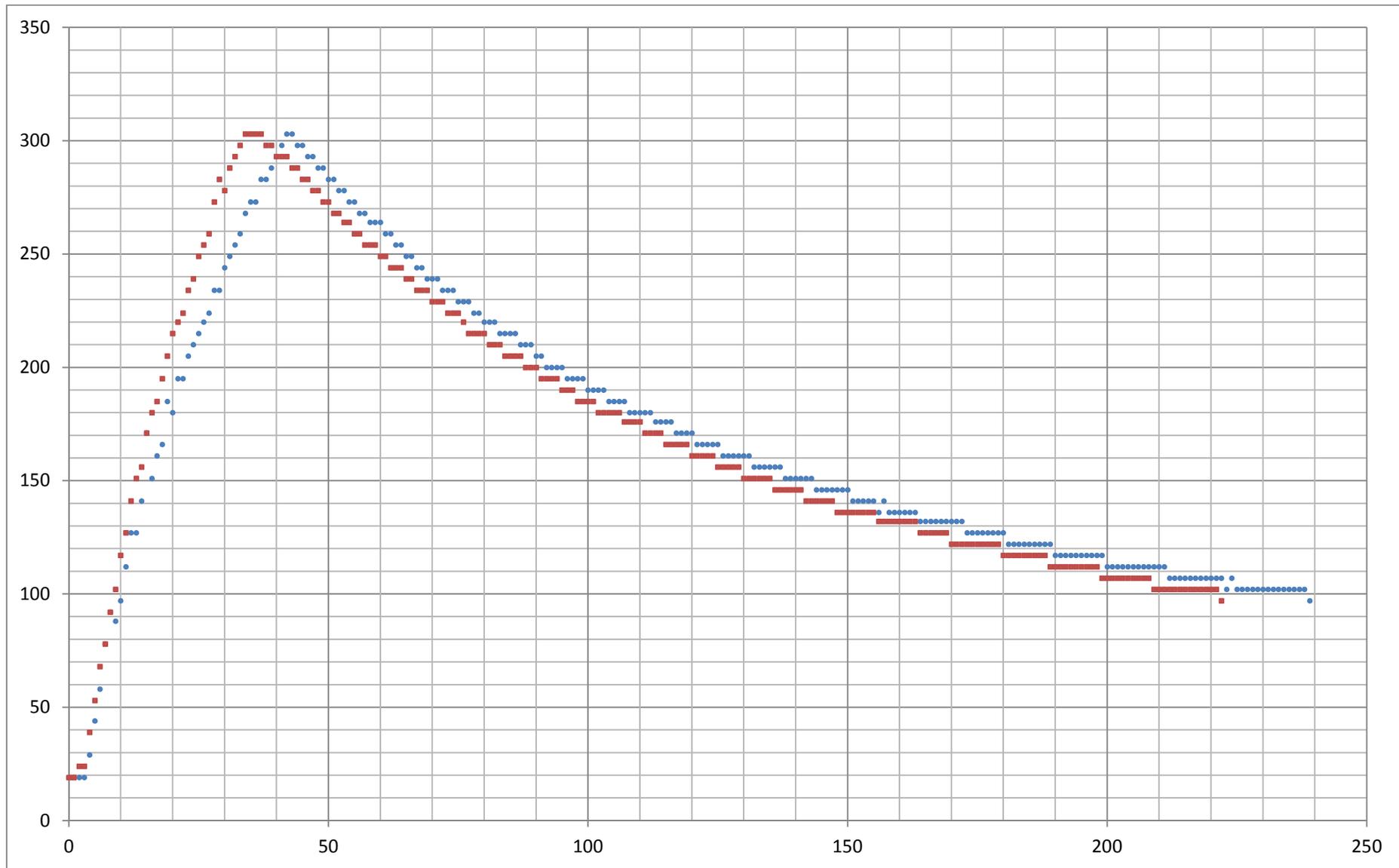
Composición 47



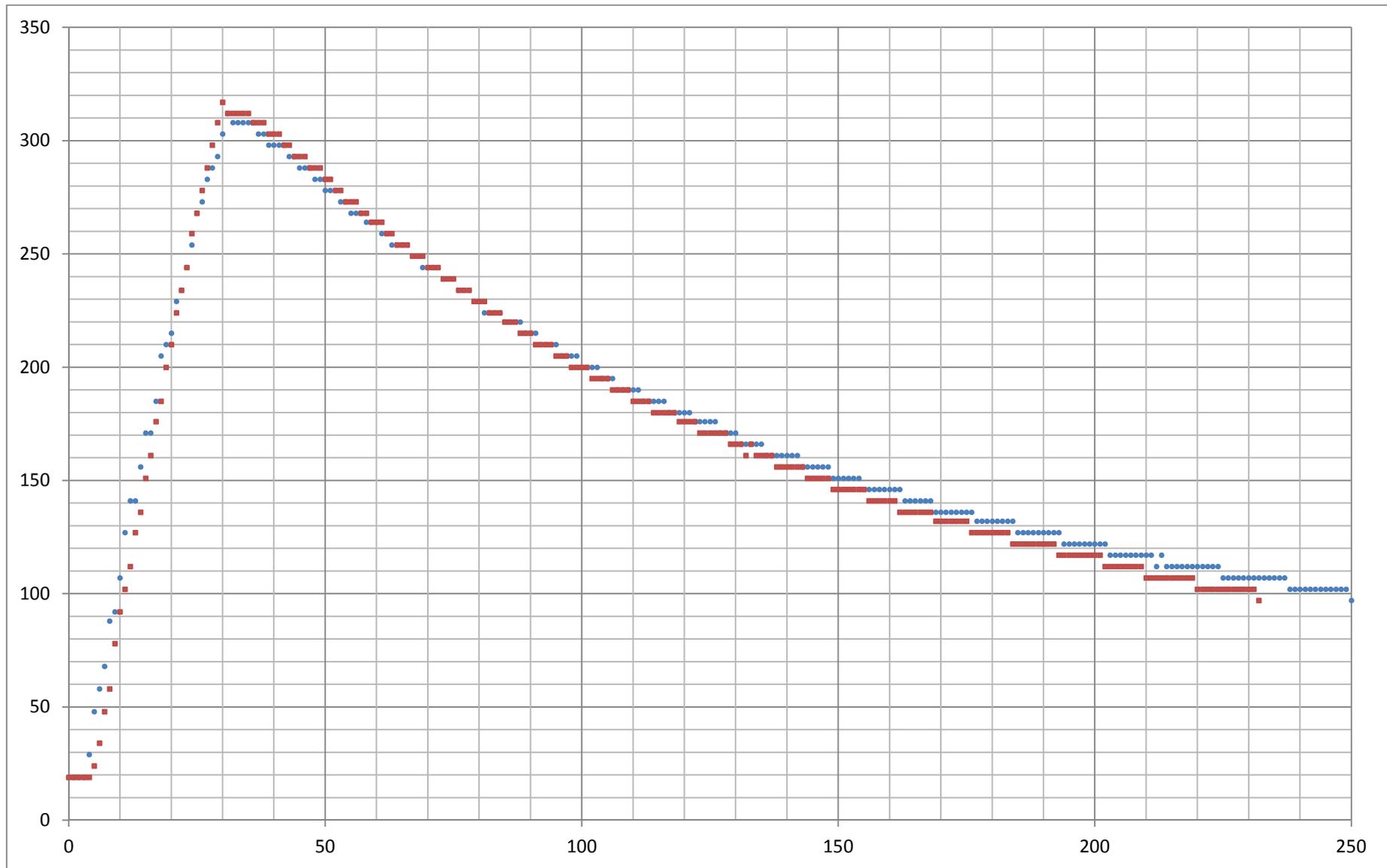
Composición 48



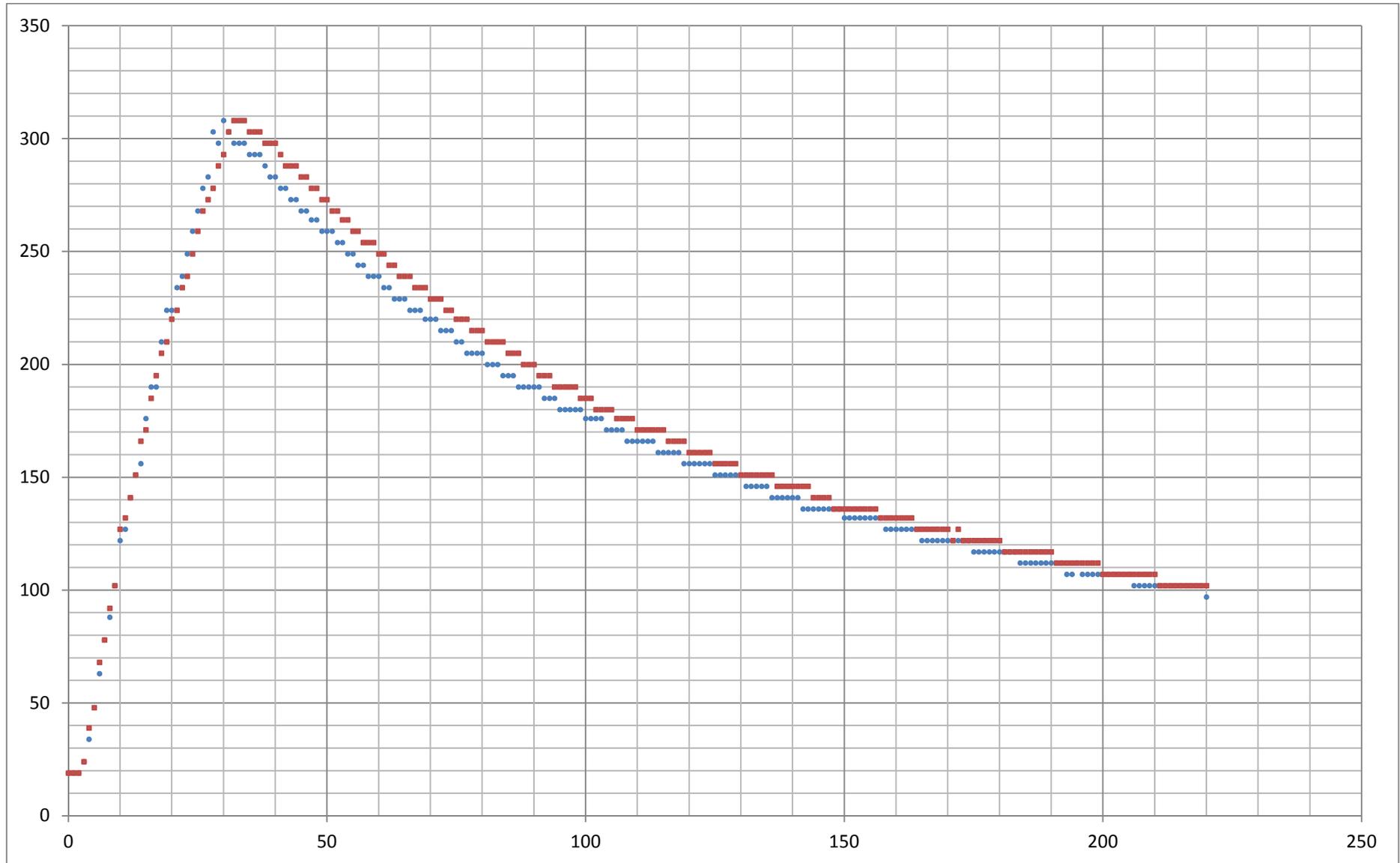
Composición 49



Composición 50



Composición 51



Composición 52

