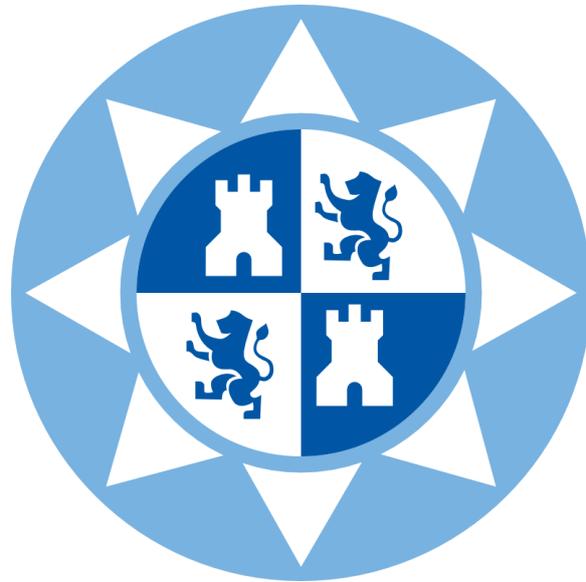


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

DEPARTAMENTO
DE TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN
Y LAS COMUNICACIONES



**Medidas de propiedades dieléctricas
de batidos refrigerados de
hortalizas frescas de 10MHz a 3GHz**

Proyecto Fin de Carrera

Laura Gómez de la Fuente

DIRECTORES: Antonio José Lozano Guerrero
Juan Monzó Cabrera



ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTO TEÓRICO	3
2.1. COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DIELECTRICOS	4
2.1.1. DEPENDENCIA DE LA PERMITIVIDAD CON LA FRECUENCIA	4
2.2. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DIELECTRICA	7
2.2.1. INTRODUCCIÓN	7
2.2.2. MÉTODOS RESONANTES	8
2.2.2.1. <i>Cavidades Resonantes</i>	8
2.2.3. MÉTODOS NO RESONANTES.....	10
2.2.3.1. <i>Líneas de Transmisión en Configuración de Reflexión</i>	10
2.2.3.2. <i>Líneas de Transmisión en Configuración Transmisión-Reflexión</i>	11
2.2.3.3. <i>Técnicas de Espacio Libre</i>	12
2.2.4. RESUMEN Y COMPARATIVA	13
2.3. CALENTAMIENTO POR MICROONDAS	14
2.3.1. INTERACCIÓN MICROONDAS-MATERIA	14
2.3.2. LA PERMITIVIDAD DEL MATERIAL EN EL CALENTAMIENTO POR MICROONDAS	14
2.3.3. ADAPTACIÓN	15
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS	16
3.1. Sonda DAK (DIELECTRIC ASSESSMENT KIT)	17
3.1.1. PARTES	17
3.1.2. ESPECIFICACIONES	18
3.1.3. INSTALACIÓN DEL HARDWARE DAK	19
3.1.4. INSTALACIÓN DEL SOFTWARE	21
3.2. ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES (VNA)	22
3.2.1. CONFIGURACIÓN DEL VNA	22
3.3. DIELECTRÓMETRO	24
3.3.1. CONEXIÓN DEL EQUIPO.....	24
3.3.2. PREPARACIÓN INICIAL DEL EQUIPO	24
3.3.2. REALIZACIÓN DE LA MEDIDA	25
3.3.3. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	25
3.3.4. CARGAR DATOS.....	27
3.3.5. CALIBRACIÓN.....	27
CAPÍTULO 4. REALIZACIÓN	28
4.1. MEDIDAS DE LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS	29
4.2. POST-PROCESADO DE LOS DATOS OBTENIDOS: VALORES SIGNIFICATIVOS, ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y MÉTODOS DEBYE, COLE-COLE Y HAVRILIAK-NEGAMI.	30
CAPÍTULO 5. RESULTADOS	31
5.1. DATOS OBTENIDOS	32
5.2. VALORES SIGNIFICATIVOS	48
5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	49
5.4. MÉTODOS DEBYE, COLE-COLE Y HAVRILIAK-NEGAMI.	57

5.4.1. MÉTODO DE DEBYE	63
5.4.1. MÉTODO DE COLE-COLE.....	68
5.4.2. MÉTODO DE HAVRILIAK-NEGAMI	73
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS	78
6.1. CONCLUSIONES PRINCIPALES	79
6.2. LÍNEAS FUTURAS	79
ANEXO I. CÓDIGO MÁTLAB	80
REFERENCIAS	105

ÍNDICE DE ECUCACIONES

CAPÍTULO 2.

ECUACIÓN (2. 1).....	5
ECUACIÓN (2. 2).....	5
ECUACIÓN (2. 3)	5
ECUACIÓN (2. 4).....	6
ECUACIÓN (2. 5).....	6
ECUACIÓN (2. 6).....	6
ECUACIÓN (2. 7).....	6
ECUACIÓN (2. 8).....	6
ECUACIÓN (2. 9)	6
ECUACIÓN (2. 10).....	8
ECUACIÓN (2. 11).....	8
ECUACIÓN (2. 12)	8
ECUACIÓN (2. 13).....	14
ECUACIÓN (2. 14).....	14

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO 2.

TABLA 1 – RESUMEN	13
-------------------------	----

CAPÍTULO 3.

TABLA 2 – PARTES DEL DAK.....	17
TABLA 3 – ESPECIFICACIONES GENERALES DEL DAK.....	18
TABLA 4 – ESPECIFICACIONES DE LA SONDA DAK-1.2/1.2E	18
TABLA 5 – ESPECIFICACIONES DE LA SONDA DAK-3.5	18
TABLA 6 – ESPECIFICACIONES DE LA SONDA DAK-12	18

CAPÍTULO 5.

TABLA 7 – VALORES SIGNIFICATIVOS	48
TABLA 8 – COMPARATIVA	62
TABLA 9 – PARÁMETROS MÉTODO DEBYE	67
TABLA 10 – PARÁMETROS MÉTODO COLE-COLE.....	72
TABLA 11 – PARÁMETROS MÉTODO HAVRILIAK-NEGAMI	77

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2.

FIGURA 1. DISPERSIÓN DIELECTRICA.....	5
FIGURA 2. MÉTODO EN CAVIDAD RESONANTE	9
FIGURA 3. MÉTODO DE SONDA COAXIAL	10
FIGURA 4. MÉTODO DE TRANSMISIÓN-REFLEXIÓN.....	11

CAPÍTULO 3.

FIGURA 5. DIELECTRIC ASSESSMENT KIT (DAK).....	17
FIGURA 6(A). SOPORTE DE LA SONDA	19
FIGURA 7. INSTALACIÓN DE LA SONDA EN EL SOPORTE	19
FIGURA 8(A). CONEXIÓN DEL CABLE CON EL VNA	20
FIGURA 9. DONGLE DE LICENCIA PARA EL SOFTWARE DAK.....	21
FIGURA 10. CONEXIÓN DEL VNA Y EL PC MEDIANTE CONEXIÓN GPIB.....	22
FIGURA 11. COMUNICACIÓN ENTRE VNA Y PC VIA USB-TO-GPIB,.....	22
FIGURA 12. CUADRO DE DIÁLOGO PARA LA CONFIGURACIÓN DEL VNA	23
FIGURA 13. DIELECTRÓMETRO.....	24
FIGURA 14. CALIBRACIÓN REALIZADA CORRECTAMENTE	24
FIGURA 15. VISUALIZACIÓN NUMÉRICA	25
FIGURA 16. CONTROLES PARA VISUALIZACIÓN GRÁFICA.....	25
FIGURA 17. MAGNITUDE	26
FIGURA 18. PHASE	26
FIGURA 19. SMITH CHART	26
FIGURA 20. PESTAÑA "DIELECTROMETER"	27

CAPÍTULO 4.

FIGURA 21. MONTAJE DE MEDIDA DE LOS BATIDOS CON LA SONDA DAK-12.....	29
----------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 5.

FIGURA 22. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO ROJO	33
FIGURA 23. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO ROJO	33
FIGURA 24. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 2 DE BATIDO ROJO	34
FIGURA 25. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 2 DE BATIDO ROJO	34
FIGURA 26. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 3 DE BATIDO ROJO	35
FIGURA 27. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 3 DE BATIDO ROJO	35
FIGURA 28. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 4 DE BATIDO ROJO	36
FIGURA 29. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 4 DE BATIDO ROJO	36
FIGURA 30. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 5 DE BATIDO ROJO	37
FIGURA 31. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 5 DE BATIDO ROJO	37
FIGURA 32. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 6 DE BATIDO ROJO	38
FIGURA 33. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 6 DE BATIDO ROJO	38
FIGURA 34. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 7 DE BATIDO ROJO	39
FIGURA 35. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 7 DE BATIDO ROJO	39
FIGURA 36. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 8 DE BATIDO ROJO	40
FIGURA 37. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 8 DE BATIDO ROJO	40
FIGURA 38. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO NARANJA.....	41
FIGURA 39. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO NARANJA	41
FIGURA 40. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO VERDE.....	42

FIGURA 41. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO VERDE.....	42
FIGURA 42. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 2 DE BATIDO VERDE.....	43
FIGURA 43. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 2 DE BATIDO VERDE.....	43
FIGURA 44. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 3 DE BATIDO VERDE.....	44
FIGURA 45. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 3 DE BATIDO VERDE.....	44
FIGURA 46. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 4 DE BATIDO VERDE.....	45
FIGURA 47. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 4 DE BATIDO VERDE.....	45
FIGURA 48. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 5 DE BATIDO VERDE.....	46
FIGURA 49. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 5 DE BATIDO VERDE.....	46
FIGURA 50. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO MORADO.....	47
FIGURA 51. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS DE LA MUESTRA 1 DE BATIDO MORADO.....	47
FIGURA 52. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	49
FIGURA 53. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	49
FIGURA 54. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	50
FIGURA 55. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	50
FIGURA 56. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	51
FIGURA 57. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	51
FIGURA 58. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	52
FIGURA 59. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	52
FIGURA 60. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	53
FIGURA 61. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	53
FIGURA 62. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	54
FIGURA 63. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	54
FIGURA 64. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	55
FIGURA 65. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	55
FIGURA 66. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	57
FIGURA 67. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	57
FIGURA 68. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	58
FIGURA 69. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	58
FIGURA 70. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	59
FIGURA 71. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	59
FIGURA 72. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	60
FIGURA 73. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	60
FIGURA 74. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	61
FIGURA 75. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	62
FIGURA 76. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	63
FIGURA 77. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	63
FIGURA 78. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	64
FIGURA 79. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	64
FIGURA 80. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	65
FIGURA 81. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	65
FIGURA 82. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	66
FIGURA 83. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	66
FIGURA 84. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	68
FIGURA 85. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	68
FIGURA 86. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	69
FIGURA 87. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	69
FIGURA 88. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	70
FIGURA 89. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	70
FIGURA 90. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA.....	71
FIGURA 91. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS.....	71

FIGURA 92. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA	73
FIGURA 93. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS	73
FIGURA 94. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA	74
FIGURA 95. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS	74
FIGURA 96. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA	75
FIGURA 97. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS	75
FIGURA 98. VARIACIÓN DE LA CONSTANTE DIELECTRICA	76
FIGURA 99. VARIACIÓN DEL FACTOR DE PÉRDIDAS	76

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

Actualmente se desarrollan nuevos batidos de hortalizas frescas, ricos en compuestos beneficiosos para la salud, que recibirán un procesado mínimo y nuevos tratamientos térmicos suaves y más eficientes para lograr una elevada calidad y adecuada vida comercial refrigerada.

Es necesario para ello poner a punto una tecnología innovadora de pasteurizado de alimentos líquidos viscosos, de distintas propiedades dieléctricas, sustituyendo el tratamiento térmico convencional por tecnologías de microondas y de radiofrecuencia.

En este proyecto se obtendrá la permitividad a varias temperaturas de una amplia muestra de batidos. Para ello, se utilizarán dos instrumentos distintos de medida, para posteriormente comparar los resultados obtenidos. Estos datos serán procesados mediante distintos programas de Matlab.

Este trabajo será crucial para conseguir posteriormente la uniformidad de calentamiento, considerando el incremento de temperatura necesario en todo el producto, sin perjudicar su calidad.

Es importante conocer inicialmente el comportamiento de los materiales dieléctricos, y la dependencia de la permitividad con la frecuencia. Así se llegarán a distintos métodos que permitirán calcular dicha permitividad conociendo únicamente unos pocos parámetros de las muestras medidas.

Seguidamente, se estudiarán los distintos métodos de caracterización dieléctrica, de los cuales se empleará uno para la medición de las propiedades dieléctricas de los batidos.

Estas mediciones se llevarán a cabo con una sonda DAK, con la que será posible medir en un rango de frecuencias determinado, y con un dielectrómetro, con el que se medirán las propiedades a 2.45GHz.

Es interesante analizar en profundidad los datos obtenidos, por lo que se realizará un estudio para obtener los valores significativos en distintas bandas de frecuencias (radiofrecuencia y microondas). Además, se efectuará un estudio estadístico, dónde se calcularán la media y la desviación típica de ciertos batidos. Así, será posible estimar la incertidumbre de la medida en este tipo de batidos.

Por último, también se estudiarán las propiedades dieléctricas de batidos convencionales, que se pueden encontrar en cualquier supermercado, tales como zumo de tomate, salmorejo, gazpacho y zumo de naranja. Estos batidos se medirán desde 10MHz hasta 20GHz, y posteriormente se le aplicarán los métodos estudiados con anterioridad, para comprobar que siguen el comportamiento esperado. Además, mediante el mismo programa se intentará estimar los parámetros de dichos modelos teniendo únicamente las medidas de los batidos hasta 20GHz.

Capítulo 2

FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1. COMPORTAMIENTO DE LOS MATERIALES DIELECTRICOS

Un material dieléctrico es aquel cuya conductividad es nula o muy pequeña y su respuesta magnética es muy débil ($\mu = \mu_0$). Se caracterizan por su permitividad eléctrica (ϵ). Su estructura interna se caracteriza por la fuerte interacción entre las partículas atómicas y moleculares. Así, tras la aplicación de un campo eléctrico externo, la distribución de cargas prácticamente no se modifica. Esto da lugar a la capacidad que tienen todos los materiales dieléctricos para almacenar carga eléctrica. Esta reordenación de cargas, que depende tanto del tipo de material dieléctrico como de la frecuencia del campo eléctrico aplicado, se caracteriza por la aparición de dipolos eléctricos. A este fenómeno se le conoce como polarización.

2.1.1. Dependencia de la permitividad con la frecuencia

Cuando se aplica un campo eléctrico variable con el tiempo, los dipolos intentan seguir las variaciones del campo, pero su respuesta depende de la inercia propia de los dipolos y de la interacción con las partículas vecinas.

Para campos armónicos, cuando el tiempo de respuesta es menor que el periodo del campo, es decir, para bajas frecuencias, los dipolos siguen las variaciones del campo eléctrico. Cuando el tiempo de respuesta es parecido al del periodo del campo, los dipolos siguen al campo eléctrico con un cierto “retraso”, lo que conlleva un desfase temporal entre el *vector de polarización* (\vec{P}), *desplazamiento eléctrico* (\vec{D}) y el *campo total aplicado* (\vec{E}) que viene caracterizado por la permitividad compleja. Cuando el tiempo de respuesta es mucho mayor que el periodo, los dipolos no pueden seguir al campo y dejan de contribuir a la polarización, porque desaparecen (dipolos por distorsión) o porque quedan orientados al azar (dipolos por orientación). Como el tiempo de respuesta es distinto para cada tipo de dipolo, esto ocurre a distintas frecuencias, lo que da lugar a una variación de la permitividad con la frecuencia llamada dispersión dieléctrica.

Se puede observar una representación de la dispersión dieléctrica en la figura 1. La parte real de la permitividad (ϵ') presenta escalones en determinadas bandas. Cada escalón representa un tipo de contribución dipolar, que desaparece al aumentar la frecuencia, por lo que ϵ' cada vez es menor.

La parte imaginaria (ϵ'') presenta máximos en las bandas de frecuencia que corresponde a un aumento de la energía electromagnética transferida al material (energía “perdida”) a través de las interacciones de los dipolos con el entorno, que se “opone” a las variaciones de su dirección y sentido. Cuando aumenta la frecuencia, estos dipolos

“desaparecen” y dejan de contribuir a la polarización, por lo que tampoco contribuyen a las pérdidas.

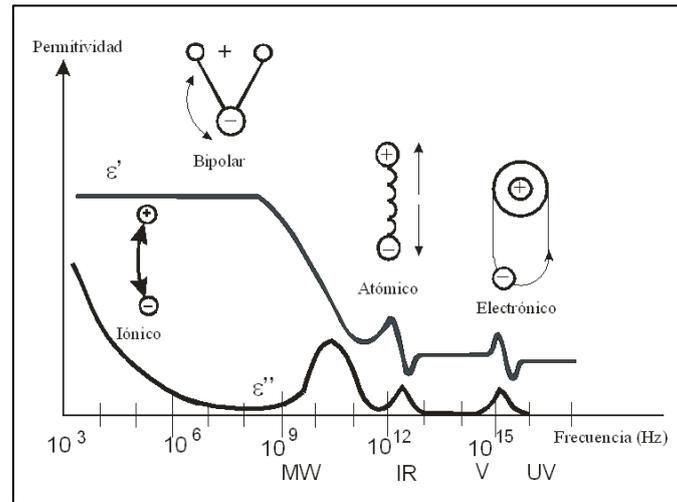


Figura 1. Dispersión dieléctrica

La caracterización frecuencial de la polarización de las moléculas dipolares se lleva a cabo a partir de la rotación de un dipolo esférico que está en un medio viscoso. Así, según Debye la dependencia de la permitividad con la frecuencia es:

$$\varepsilon(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{1 + j\omega\tau} \quad (2.1)$$

Si se separan la parte real e imaginaria de la permitividad se obtiene:

$$\varepsilon'(\omega) = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.2)$$

$$\varepsilon''(\omega) = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (2.3)$$

Donde:

- ε_s y ε_{∞} son las constantes dieléctricas en corriente continua (baja frecuencia) y muy alta frecuencia, respectivamente.
- τ es el tiempo de relajación del sistema. Se define como el tiempo que tarda la polarización del material en caer hasta el 36.79% de su valor cuando se estaba aplicando el campo eléctrico desde que deja de aplicarse.

La relajación dieléctrica se produce cuando se anula el campo eléctrico que ha provocado la polarización en un material dieléctrico. Este material tarda cierto tiempo en volver a su desorden molecular inicial y la polarización decae exponencialmente con la constante de tiempo τ .

Como se puede observar en las ecuaciones (2.2) y (2.3), a baja frecuencia, el factor de pérdidas (ε'') es muy pequeño, ya que los dipolos tienen tiempo para seguir las variaciones del campo eléctrico. En cambio, la constante dieléctrica (ε') es máxima

debido a que la carga ligada es máxima y la energía consigue almacenarse en el material.

A frecuencias mayores, los dipolos no pueden seguir las variaciones del campo eléctrico, hasta que llegan a un punto en el que no pueden realinearse, contribuyendo menos a la polarización total. Debido a esto, la constante dieléctrica total disminuye y las pérdidas aumentan, por lo que el material disipará energía en forma de calor.

Según Debye esta pérdida de energía en forma del calor es debido a una fricción entre los dipolos y el medio que los rodea. A partir de esto, se obtiene el tiempo de relajación cómo:

$$\tau = \frac{4\pi r^3 n_v}{KT} \quad (2.4)$$

Donde n_v es la viscosidad del medio, r el radio del dipolo, K la constante de Boltzmann y T la temperatura.

En cambio, las medidas demuestran que para muchos líquidos y sólidos el tiempo de relajación es mucho mayor que el obtenido por esta fórmula. Para reducir dicha inexactitud, existen numerosos métodos, como por ejemplo la fórmula de Cole-Cole:

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-v}} \quad (2.5)$$

Donde $v \in [0,1]$.

Si se separan la parte real de la imaginaria se obtiene:

$$\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty) \left[1 + (\omega\tau)^{1-v} \sin\left(\frac{v\pi}{2}\right) \right]}{1 + 2(\omega\tau)^{1-v} \sin\left(\frac{v\pi}{2}\right) + (\omega\tau)^{2(1-v)}} \quad (2.6)$$

$$\varepsilon'' = \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_\infty)(\omega\tau)^{1-v} \cos\left(\frac{v\pi}{2}\right)}{1 + 2(\omega\tau)^{1-v} \sin\left(\frac{v\pi}{2}\right) + (\omega\tau)^{2(1-v)}} \quad (2.7)$$

O el modelo de Havriliak-Negami:

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{(1 + (j\omega\tau)^\alpha)^\beta} \quad (2.8)$$

Donde la conductividad σ (S/m) se ha incluido de la siguiente manera [1-2] para el método Cole-Cole, y respectivamente para el resto:

$$\varepsilon_r(\omega) = \varepsilon_\infty + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-v}} + \frac{\sigma}{(j\omega\varepsilon_0)} \quad (2.9)$$

2.2. MÉTODOS DE CARACTERIZACIÓN DIELECTRICA

2.2.1. Introducción

Las técnicas utilizadas para la medida de las propiedades dieléctricas son muy especializadas, por lo que elegir la mejor técnica depende de muchos factores, entre los que destacan:

- El margen de frecuencias dónde se quiere el estudio.
- El valor esperado de la permitividad.
- La precisión de la medida.
- Las características del material (homogéneo, isotrópico, etc.).
- La forma del material.
- Destructivo o no destructivo.
- Contacto o sin él.
- Temperatura.

Los métodos de caracterización dieléctrica a frecuencias de microondas, parten de un sistema de medida basado en la relación de la permitividad eléctrica con los parámetros de dispersión. A partir de esta relación se obtienen las propiedades electromagnéticas del material estudiado.

En general, estos métodos se pueden separar en métodos resonantes y métodos no resonantes. Los *métodos resonantes* se basan en la evolución de la frecuencia de resonancia y el factor de calidad de la cavidad donde se realiza la medición, proporcionando un conocimiento preciso de las propiedades del material a dicha frecuencia. Por otra parte, los *métodos no resonantes* se desarrollan a partir del fenómeno de propagación de las microondas. Se consigue un conocimiento general de las propiedades electromagnéticas menos preciso, pero se puede trabajar en márgenes de frecuencias más amplios.

Los métodos resonantes tienen una mayor precisión y sensibilidad en comparación con los no resonantes y son más apropiados para materiales con bajas pérdidas. En este tipo de métodos, en general, la técnica más utilizada es la llamada *técnica en cavidad resonante*. Los métodos en *líneas de transmisión* tanto en configuración en reflexión como en transmisión-reflexión y en espacio libre, son métodos no resonantes.

Todos estos métodos son válidos para materiales homogéneos o macroscópicamente homogéneos y que sean fácilmente mecanizables para conseguir las formas canónicas exigidas por la técnica de medida. Gracias a esto se pueden obtener relaciones directas entre los parámetros de dispersión medidos y la permitividad del material. El problema surge cuando se someten a estudio materiales no homogéneos (compuestos por varios materiales cada uno con su permitividad eléctrica (ϵ_i)) y/o que no admitan tratamiento mecánico.

2.2.2. Métodos Resonantes

2.2.2.1. Cavidades Resonantes

Está basado en la teoría perturbacional. Las cavidades resonantes son estructuras que resuenan a ciertas frecuencias y tienen un alto factor de calidad Q . Al introducir una muestra en la cavidad, la distribución de campos eléctrico y magnético varia, así como su frecuencia de resonancia y su factor de calidad. A partir de dichas variaciones, se pueden obtener las propiedades de la muestra a la frecuencia de resonancia.

El método perturbacional es un método aproximado que busca los valores propios de un sistema perturbado. Dicho sistema se supone muy similar al original cuyos valores propios se conocen y los valores propios del sistema perturbado se estiman a partir de los del sistema original.

El método perturbacional obtiene las propiedades dieléctricas de un material a partir de las siguientes ecuaciones:

$$\frac{f_0 - f_s}{f_s} = A(\varepsilon'_r - 1) \frac{V_s}{V_c} \quad (2.10)$$

$$\frac{1}{Q_s} - \frac{1}{Q_0} = B\varepsilon''_r \frac{V_s}{V_c} \quad (2.11)$$

Dónde:

V_c : volumen de la cavidad.

f_0 : frecuencia de resonancia.

Q_0 : factor de calidad de la cavidad vacía.

V_s : volumen de la muestra

f_s : frecuencia de resonancia de la cavidad parcialmente rellena con la muestra.

Q_s : factor de calidad de la cavidad parcialmente rellena con la muestra.

ε'_r : constante dieléctrica de la muestra.

ε''_r : factor de pérdidas de la muestra.

A, B : constantes relacionadas con la configuración y el modo de trabajo. Se calculan experimentalmente usando una muestra de permitividad conocida (V_{REF}) y de tamaño y forma similar a la muestra de estudio (V_M)

En el caso de que el medio en la cavidad no sea el vacío sino otro tipo de material, la ecuación (2.10) pasa a ser:

$$\frac{f_0 - f_s}{f_s} = A \left(\frac{\varepsilon'_r - \varepsilon'_{rM}}{\varepsilon'_{rM}} \right) \frac{V_s}{V_c} \quad (2.12)$$

Donde ϵ'_{rM} es la constante dieléctrica del medio en la cavidad.

Si se asume que las pérdidas del NL son despreciables, la ecuación (2.9) no cambia.

Las cavidades resonantes junto con la teoría perturbacional se han utilizado con éxito para medir las propiedades dieléctricas de materiales con bajas pérdidas, aunque es necesario precisar que si el material es extremadamente bajo en pérdidas, el método puede fallar. Si el factor de calidad de la cavidad vacía es bajo, el factor de disipación de la cavidad vacía puede ser mucho mayor que las pérdidas debidas a la introducción del dieléctrico. Así, se podría obtener un valor incorrecto de la parte imaginaria de la permitividad.

La figura 1 muestra una cavidad cilíndrica y su respuesta en frecuencia a partir de la cual se puede hallar su frecuencia de resonancia y su factor de calidad.

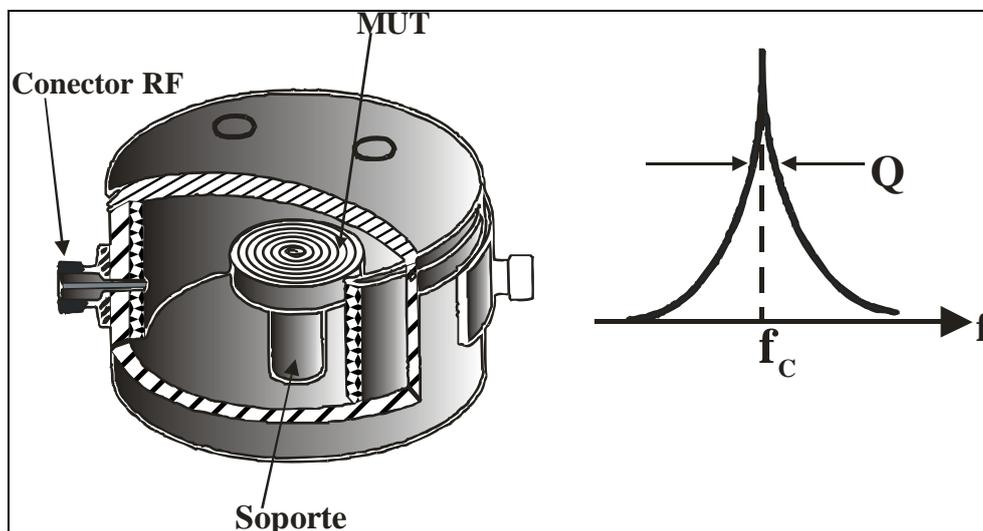


Figura 2. Método en Cavidad Resonante

2.2.3. Métodos No Resonantes.

2.2.3.1. Líneas de Transmisión en Configuración de Reflexión

En estos métodos, las ondas se dirigen directamente al material bajo estudio y sus propiedades se deducen a partir del coeficiente de reflexión definido en un plano de referencia. No se puede hallar más de un parámetro a la vez, es decir, se puede calcular la permitividad o la permeabilidad, pero no ambos simultáneamente.

A continuación se estudian los dos tipos de reflexión que se utilizan: Reflexión en circuito abierto y reflexión en cortocircuito.

Método de Reflexión en Circuito Abierto: Sonda Coaxial

En este caso, se utiliza una sección cortada de línea de transmisión. Las ventajas de este tipo de métodos es que son de banda ancha, simples y prácticos, no destructivos y la mejor opción cuando el material a caracterizar es líquido o semisólido. Tienen como inconvenientes una precisión limitada y la presencia de gaps de aire entre la sección de la sonda y la cara del material (en el caso de que éste sea sólido). Además, la muestra debe ser lo suficientemente gruesa para que parezca infinita para la sonda (el espesor de la muestra mucho mayor que el diámetro de la sonda) y poder desprestigiar el efecto de bordes, y el método está limitado a materiales homogéneos e isotrópicos.

La línea coaxial es la línea de transmisión la más utilizada, por ello que también reciba el nombre de *sonda coaxial*. La ventaja más evidente de esta línea respecto a otras es su amplio ancho de banda.

El conjunto de medidas necesario para determinar las propiedades dieléctricas se obtiene situando la sonda en contacto directo con la cara plana de un sólido, o sumergiéndola en un líquido o material semisólido. Los campos en el extremo de la sonda penetran en el material y cambian a medida que van entrando en contacto con la muestra estudiada. Así, la permitividad compleja se puede obtener a partir del análisis de la señal reflejada.

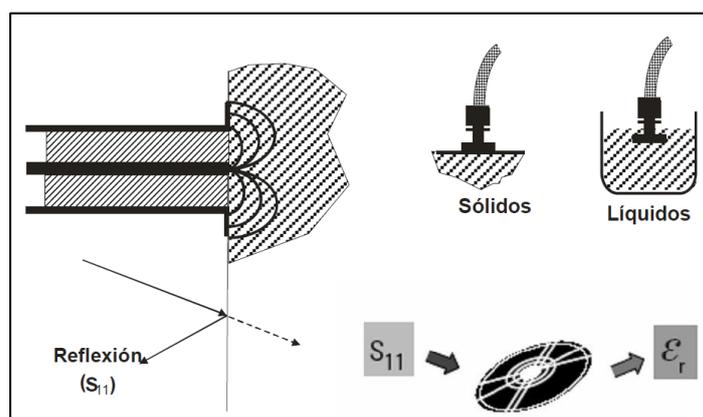


Figura 3. Método de Sonda Coaxial

Método de Reflexión en Cortocircuito

En este caso, el material bajo estudio se introduce en un segmento de línea cortocircuitada con la cara final de la muestra a una distancia conocida, Δl , del corto. Así, las propiedades dieléctricas se determinan a partir del coeficiente de reflexión. Se supone que sólo se propaga el primer modo en la línea de transmisión y que la muestra es homogénea e isotrópica, por lo que sólo existe campo eléctrico transversal en la línea.

Las mediciones del coeficiente de reflexión se obtienen con los analizadores de redes vectoriales, de forma rápida y sobre un amplio margen de frecuencias de forma instantánea. A partir de estas mediciones la solución electromagnética da lugar a ecuaciones trascendentes con múltiples soluciones, de las cuales únicamente una proporciona el valor correcto de permitividad. Por tanto, este análisis requiere una estimación inicial o conocimiento previo de las propiedades dieléctricas.

2.2.3.2. Líneas de Transmisión en Configuración Transmisión-Reflexión

En estos métodos la muestra se introduce en una sección de línea de transmisión, bien en una guía de onda o en un coaxial. Las propiedades del material se deducen a partir de los parámetros de dispersión del segmento de línea relleno con la muestra, es decir, a partir de las ondas reflejadas (S_{11} y S_{22}) y transmitidas (S_{12} y S_{21}) por el propio material.

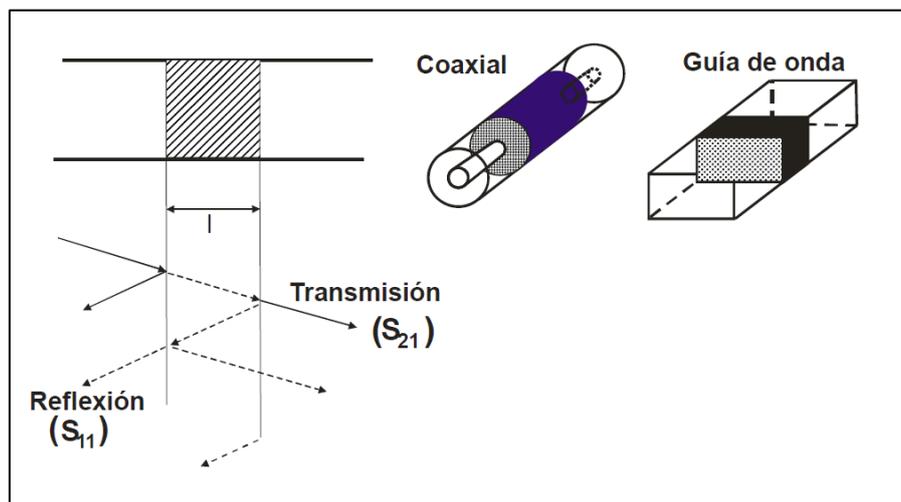


Figura 4. Método de Transmisión-Reflexión

Se obtienen los cuatro parámetros de dispersión con la ayuda de un analizador de redes vectorial, con lo que se tienen más datos que en el método de reflexión. En cambio, al

igual que en el caso anterior, el sistema de ecuaciones tiene múltiples soluciones, por lo que es necesario un conocimiento previo para resolver dicho sistema.

Las líneas coaxiales tienen un gran ancho de banda y por eso son muy útiles para medir propiedades dieléctricas, pero el problema de este tipo de líneas de transmisión, además de la dificultad que supone tener que procesar el material con forma anular, se debe a la discontinuidad en el campo eléctrico radial, por lo que cualquier hueco de aire alrededor del conductor interior degrada la medida.

Las guías rectangulares tienen un menor ancho de banda, pero el mecanizado de las muestras rectangulares es mucho más sencillo. En este caso también es un problema la existencia de huecos de aire entre la muestra y la línea, por lo que será necesaria una preparación cuidadosa del material bajo estudio. Además, el margen en el ancho de banda puede verse reducido debido a la aparición de modos superiores si la muestra presenta inhomogeneidades.

La mayoría de las técnicas de líneas de transmisión están basadas en el procedimiento desarrollado por Nicolson Y Ross y Weir para dos puertos y mediante el cual se obtiene la permitividad y permeabilidad simultáneamente en un ancho de banda limitado por la línea de transmisión. El procedimiento Nicolson-Ross-Weir (NRW) permite obtener una ecuación explícita de la permitividad y permeabilidad en función de los parámetros de dispersión. Estas ecuaciones no se comportan bien para materiales con pérdidas muy bajas cuyo espesor sea múltiplo de la mitad de la longitud de onda. Como caso especial de las ecuaciones de NRW, si el material es no magnético y se conoce la longitud de la muestra y la posición de los planos de referencia, mediante combinaciones lineales de las ecuaciones de dispersión y resolviéndolas de forma iterativa se puede llegar a soluciones estables.

Como resumen, se puede decir que el método de reflexión/transmisión es apropiado para materiales sólidos que permitan ser mecanizados de forma precisa para adaptarse en el interior de una guía o coaxial. A pesar de que es un método más preciso que la sonda coaxial, su resolución para materiales con pocas pérdidas es muy limitada debido a la incertidumbre en fase del analizador de redes.

2.2.3.3. Técnicas de Espacio Libre

Estas técnicas utilizan antenas para enfocar la energía de microondas hacia una plancha de material. Se pueden aplicar los mismos algoritmos que los utilizados en las líneas de transmisión. Estas técnicas son apropiadas para muestras grandes, planas y delgadas que no pueden ser fácilmente situadas en la línea o que deben ser probadas bajo condiciones de alta temperatura. Es una técnica sin contacto no destructiva.

Son necesarios varios requisitos para poder medir las propiedades de un material en espacio libre:

- La muestra debe estar a una distancia suficiente de la antena que cumpla la condición de campo lejano.
- El tamaño de la muestra debe ser mayor que la longitud de onda.
- Las mediciones deben hacerse en una cámara anecoica para evitar posibles errores debidos al entorno.

Este método principalmente se utiliza para la caracterización dieléctrica en altas frecuencias.

2.2.4. Resumen y Comparativa

A continuación se enumeran todos los métodos descritos anteriormente y se resumen sus ventajas e inconvenientes:

MÉTODO	VENTAJAS	INCONVENIENTES
Perturbacional	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Es muy preciso. ✓ Sensible para materiales con bajas pérdidas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Datos para un solo valor de frecuencia. • Requiere formas concretas y muy precisas de las muestras. • El análisis puede resultar complejo. • El tamaño de las muestras debe ser pequeño y sus pérdidas bajas.
Sonda Coaxial	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Fácil de usar. ✓ Requiere poca preparación de la muestra. ✓ No destructivo. ✓ Ideal para líquidos y semisólidos. ✓ Amplio margen de frecuencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere un grosor mínimo de la muestra. • La superficie debe ser plana. • No apropiado para materiales con alta ϵ' y baja ϵ'' y con aquellos que tengan ambas bajas.
Espacio Libre	<ul style="list-style-type: none"> ✓ No destructivo. ✓ Sin contacto. ✓ Ideal para muestras en condiciones de alta temperatura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Suficiente distancia a la antena para que se cumpla la condición de campo lejano. • Tamaño de la muestra mayor que la longitud de onda. • Mediciones en cámara anecoica.
Transmisión/Reflexión	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Calcula tanto ϵ como μ. ✓ Amplio margen de frecuencias. 	<ul style="list-style-type: none"> • Destructivo, requiere formas muy precisas de la muestra. • Requiere estimaciones iniciales de la permitividad. • Sensible a huecos de aire en la interfaz muestra-soporte. • Excitación de modos superiores. • Resolución pobre para bajas pérdidas.

Tabla 1 - Resumen

2.3. CALENTAMIENTO POR MICROONDAS

Una de las aplicaciones industriales más interesantes de la radiación de alta frecuencia como medio de transmisión de energía se encuentra en las técnicas de calentamiento. Los métodos convencionales de calentamiento, el calor se transfiere a la superficie del material por conducción, convección o radiación y al interior por medio de conducción térmica, resultan ineficientes en términos de tiempo y energía. Al utilizar microondas o métodos combinados, la energía se absorbe de forma volumétrica, por lo que el calor se genera dentro del material de una forma distribuida, consiguiendo que el material se caliente más rápido.

2.3.1. Interacción Microondas-Materia

Es fundamental conocer las propiedades dieléctricas del material que se va a procesar en un horno microondas, ya que estas propiedades determinan tanto la propagación de la energía en el cuerpo como la transformación de la energía microondas en calor en el interior del dieléctrico.

La permitividad eléctrica indica si un material es válido para ser tratado con microondas. Así, es necesario caracterizar las propiedades dieléctricas de los materiales a los que se les va a aplicar microondas para calentarlos.

El origen del calentamiento por microondas proviene de la mayor o menor capacidad que tiene el dieléctrico para polarizar sus cargas a lo largo de su volumen frente a un campo eléctrico externo. Las moléculas polares no pueden seguir los cambios rápidos del campo eléctrico, por lo que la energía se disipa en forma de calor.

2.3.2. La Permitividad del Material en el Calentamiento por Microondas

La constante dieléctrica caracteriza la capacidad de polarización y de almacenar energía del dieléctrico ya que la energía almacenada en un campo eléctrico en un volumen V del dieléctrico es:

$$W_e = \int_V \epsilon' |\vec{E}|^2 dV \quad (2.13)$$

donde $|\vec{E}|$ es el módulo del campo eléctrico.

Por otra parte, se sabe que en un punto determinado del material, la potencia volumétrica disipada y convertida en calor es directamente proporcional al factor de pérdidas del material:

$$Q_{gen} = 2\pi f \epsilon_0 \epsilon'' |\vec{E}|^2 \quad (2.14)$$

donde Q_{gen} representa el valor volumétrico generado por la energía de microondas.

Es decir, la parte real de la permitividad representa el mecanismo de polarización más el posible almacenamiento de energía y la parte imaginaria incluye todos los procesos de pérdida de energía existentes.

2.3.3. Adaptación

Para conseguir una mayor eficiencia en el proceso de calentamiento y evitar reflexiones no deseadas hacia el generador, es necesaria una correcta adaptación de la fuente con la cavidad. La distribución del campo en la muestra que se va a calentar depende fuertemente de la permitividad de los materiales que puedan encontrarse dentro de la cavidad.

Una buena forma de conseguir una mayor eficiencia consiste en rodear la muestra con materiales dieléctricos. Así, se consiguen reducir las diferencias entre el aire y la constante dieléctrica de la muestra, consiguiendo mayor absorción de potencia y menos reflexiones.

Otro método para conseguir adaptación es utilizando stubs. Modificando el número de stubs utilizados, su posición y su longitud, permite adaptar la carga a la fuente. También es posible emplear aperturas de tipo capacitivo, inductivo o resonante (iris) sobre las guías que comunican el generador con la cavidad.

Actualmente existen unidades inteligentes de adaptación que, de una manera rápida y eficaz, adaptan automáticamente por medio de stubs controlados por un microprocesador, aunque son muy costosos económicamente.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS EMPLEADOS

Se utilizan distintos instrumentos de medición: La sonda DAK, el analizador de redes vectoriales (VNA) y el dielectrómetro.

A continuación se explica el funcionamiento y características de cada uno de ellos.

3.1. SONDA DAK (Dielectric Assessment Kit)



Figura 5. Dielectric Assessment Kit (DAK)

3.1.1. Partes

El DAK se compone de distintas partes, que se muestran en la Figura 5 y cuya descripción se muestra en la Tabla 2.

Item	Description
Dielectric probe	DAK-1.2 Probe DAK-3.5 Probe DAK-12 Probe
Shorting block	DAK-3.5/1.2 Short and/or DAK-12 Short
Coaxial cable	1-meter length with PC-3.5 connectors 0.5-meter length with PC-2.4 connectors 0.5-meter length with PC-1.85 connectors
Software	Software and license file
Software License Dongle	
Calibration certificate	

Tabla 2– Partes del DAK

3.1.2. Especificaciones

Se pueden observar las especificaciones del DAK en la Tabla 3. Las especificaciones de las distintas sondas (DAK-1.2, DAK-3.5, DAK-12) se muestran en la Tabla 4, Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Item	Specification
Connector type	PC-3.5 male (DAK-3.5 and DAK-12), PC-2.4 male (DAK-1.2), PC-1.85 male (DAK-1.2E)
Immersible length of probe	50mm (DAK-3.5 and DAK-12), 30mm (DAK-1.2 and DAK-1.2E)
Robustness	High resistance to corrosive materials
Dielectric parameters of material under test	ϵ_r : 1-200 $\tan(\delta)$ minimum: $<10^{-5}$ $\tan(\delta)$ maximum: >10
Measurement accuracy	Certificado de Calibración

Tabla 3 – Especificaciones generales del DAK

Item	Specification
Frequency range	5 GHz – 50 GHz/67 GHz
Dielectric bead range	EPO-TEK OG142 ($\epsilon' = 3.08$)
Diameter of dielectric bead	1.2 mm
Diameter of flange	19 mm
Impedance	50 Ω

Tabla 4 – Especificaciones de la sonda DAK-1.2/1.2E

Item	Specification
Frequency range	200 MHz – 20 GHz
Dielectric bead range	Stycast ($\epsilon' = 2.538$)
Diameter of dielectric bead	3.5 mm
Diameter of flange	19 mm
Impedance	50 Ω

Tabla 5 – Especificaciones de la sonda DAK-3.5

Item	Specification
Frequency range	10 MHz – 3 GHz
Dielectric bead range	Stycast ($\epsilon' = 2.538$)
Diameter of dielectric bead	12 mm
Diameter of flange	48 mm
Impedance	50 Ω

Tabla 6 – Especificaciones de la sonda DAK-12

3.1.3. Instalación del Hardware DAK

Lo primero que es necesario montar es el soporte de la sonda, el cual podemos ver en la Figura 6(a). Se ajusta la posición de los brazos, aflojando el tornillo negro del codo del brazo. Se ajusta el soporte hasta que la parte inferior del brazo quede aproximadamente vertical y la parte superior horizontal. Una vez que el brazo se encuentra en la posición deseada, se aprieta de nuevo el tornillo para fijar la posición del soporte (Figura 6(b)).

Por último, se coloca el soporte en frente del analizador de redes (VNA), para que cuando se conecte la sonda con éste, el cable no sufra excesivas curvaturas.

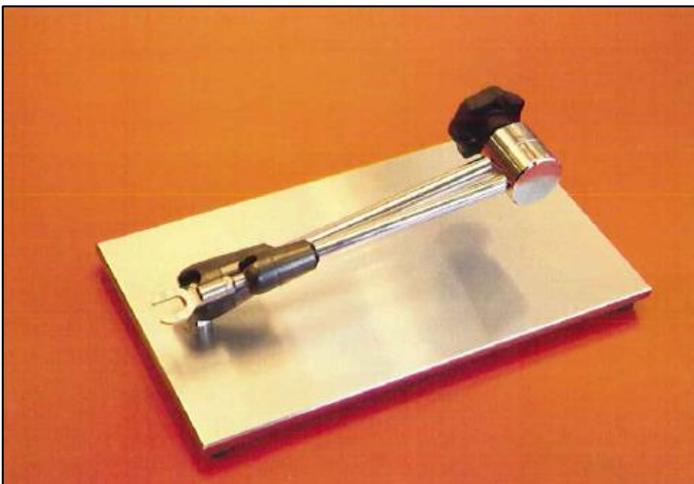


Figura 6(a). Soporte de la sonda

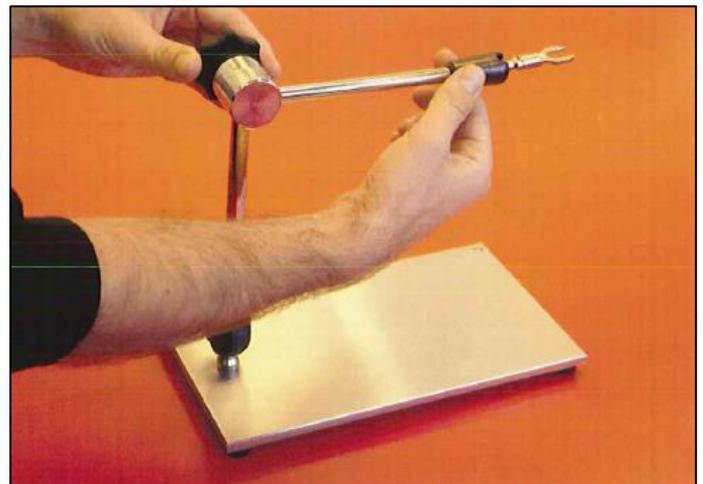


Figura 6(b). Ajuste del soporte

Seguidamente se instala la sonda sobre el soporte. La base de la sonda se ajusta fácilmente en el extremo del brazo superior del soporte, fijándola con una tuerca.

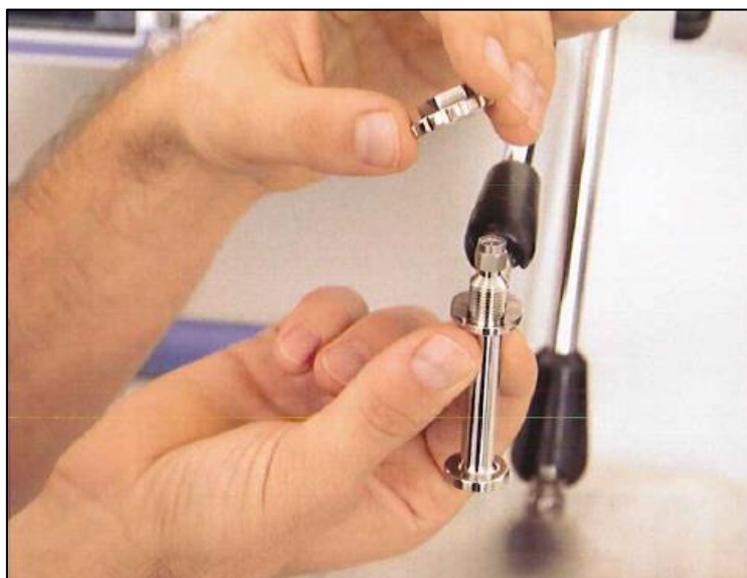


Figura 7. Instalación de la sonda en el soporte

Por último, se conecta la sonda con el analizador de redes. Se conecta un extremo del cable coaxial al VNA, con el adaptador adecuado. Este dependerá del tipo de VNA. El otro extremo del cable coaxial se conecta a la sonda. Para ambas uniones se utiliza una llave inglesa incluida en el DAK, para asegurar que la conexión es correcta.

Se ajusta el soporte de la sonda a la altura correcta para poder realizar las medidas oportunas sin necesidad de mover ni la sonda ni el cable. Las propiedades dieléctricas son sensibles a la fase y la amplitud de la señal reflejada a lo largo del cable, y estos son, en general, perturbados por el movimiento o la curvatura del cable. Así, el material que se mide será el que se desplace hasta la sonda, y no se moverá la sonda hacia el material, ya que si esto sucede podría ser necesaria una re-calibración. Las conexiones se realizan como se muestra en las figuras 7 y 8.



Figura 8(a). Conexión del cable con el VNA



Figura 8(b). Conexión del cable con la sonda

3.1.4. Instalación del Software

Se instala el software de la sonda desde el CD que incluye el DAK, siguiendo las instrucciones que se muestran en la pantalla del ordenador.

Por último, para poder utilizar el software, es necesario instalar la licencia de software DAK. Dicha licencia se encuentra en un *dongle*, que se incluye en el DAK. Es necesario tener conectado este *dongle* (figura 9) al ordenador para poder usar el software de la sonda, ya software del DAK genera una ID común entre el archivo “license.dat”, que se encuentra en el CD de instalación y deberemos copiar y pegar en el ordenador, y el *dongle*.



Figura 9. Dongle de licencia para el software DAK

3.2. ANALIZADOR DE REDES VECTORIALES (VNA)

El analizador de redes vectoriales se usa para analizar las propiedades de las redes eléctricas, especialmente aquellas propiedades asociadas para la reflexión y la transmisión de señales eléctricas, conocidas como parámetros de dispersión (Parámetros-S).

3.2.1. Configuración del VNA

Se conecta el cable entre el PC y el VNA (GPIB (figura 10), USB (figura 11) o mediante cable Ethernet). En nuestro caso se utilizará la conexión mediante cable Ethernet. Posteriormente es necesario descargar e instalar en el PC el Agilent IO Libraries Suite. Una vez instalado se siguen las instrucciones que indica el *Professional Handbook* para la correcta configuración.

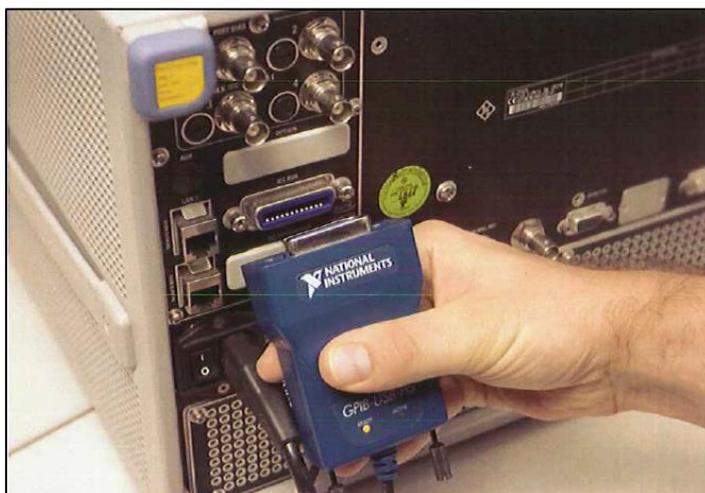
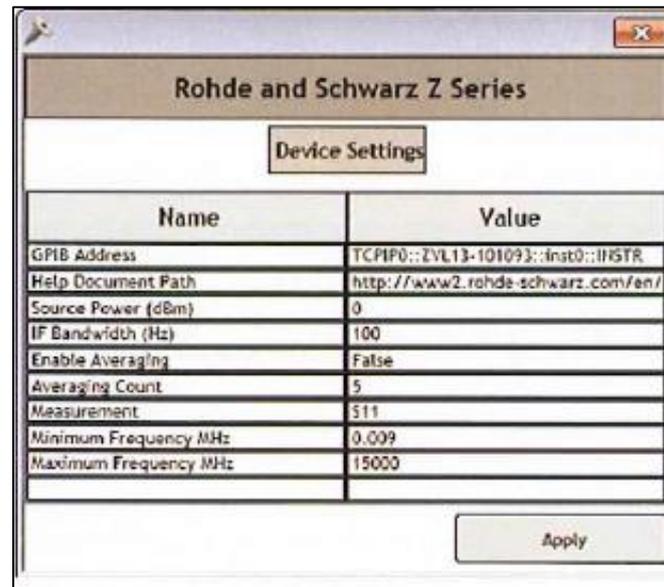


Figura 10. Conexión del VNA y el PC mediante conexión GPIB



Figura 11. Comunicación entre VNA y PC via USB-to-GPIB, con *Agilent IO Libraries Suite*

Una vez la conexión es correcta, se corre el software del DAK y se hace click sobre el panel “Setup”. Se abre una ventana, en la que los diferentes datos se completan siguiendo el *Professional Handbook* (figura 12).



Name	Value
GPIB Address	TCP/IP0::ZVL13-101093::inst0::115TR
Help Document Path	http://www2.rohde-schwarz.com/en/
Source Power (dBm)	0
IF Bandwidth (Hz)	100
Enable Averaging	False
Averaging Count	5
Measurement	S11
Minimum Frequency MHz	0.009
Maximum Frequency MHz	15000

Figura 12. Cuadro de diálogo para la configuración del VNA

3.3. DIELECTRÓMETRO



Figura 13. Dielectrómetro

El kit de medida de propiedades dieléctricas (figura 13) permite medir de una manera sencilla y rápida la permitividad dieléctrica a frecuencias cercanas a 2.45GHz (constante dieléctrica y factor de pérdidas) de un amplio rango de materiales en diferentes estados: Líquidos, en polvo o granulados. En el caso de este estudio se utilizará para medir los distintos batidos en estado líquido.

Las ventajas fundamentales de este método de medida respecto de otros disponibles son su rapidez y sencillez, ya que no requiere medida previa de otros materiales patrón para la puesta a cero del equipo.

3.3.1. Conexión del equipo

Utilizando el cable provisto con el equipo (USB a USB-mini) se conecta el equipo al PC de medida, conectando el extremo USB-mini a la parte trasera del dielectrómetro y el extremo USB a cualquier puerto USB del PC de medida.

3.3.2. Preparación inicial del equipo

Antes de comenzar, se debe realizar la puesta a cero inicial del equipo, para lo cual, sin colocar vial alguno en la cavidad, se realizarán las siguientes acciones:

- Pulsar el botón “Start” de la pestaña “Dielectrometer”.
- Una vez aparezca la gráfica en pantalla, pulsar el botón “CHARACTERIZATION” en la pestaña “Configuration”. Si la calibración se realiza correctamente, el programa debe lanzar el siguiente pop up (figura 14):

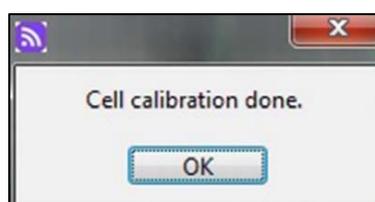


Figura 14. Calibración realizada correctamente

3.3.2. Realización de la medida

En este punto el equipo está listo para su uso normal y podrá realizar tantas medidas como se quiera sin necesidad de realizar sucesivas puestas a cero.

Una vez colocada la muestra a analizar dentro del vial y éste a su vez dentro de la cavidad (presionando el vial hasta que llegue al fondo del orificio), simplemente se debe pulsar el botón “Start” de la pestaña “Dielectrometer”, y el resultado estará listo tan pronto como se complete un barrido completo en frecuencia.

Es extremadamente importante el modo en que se coloca la muestra dentro del vial para la precisión de los resultados. Es indispensable que los viales estén completamente llenos de la muestra a evaluar, de manera que el llenado llegue hasta el límite que marca el tapón del mismo.

3.3.3. Presentación de resultados

Una vez presionado el botón “Start” y siempre que haya concluido un barrido completo en frecuencia, los resultados del análisis están listos para su consulta. Se pueden visualizar de diferentes formas:

a. Visualización numérica.

Se puede ver directamente el resultado en pantalla, en la pestaña “Dielectrometer”, donde se muestra en el siguiente formato (figura 15):

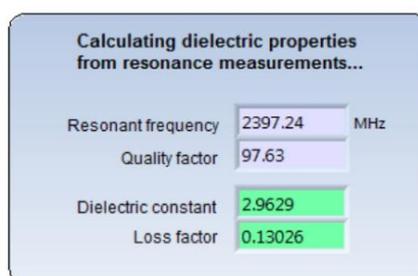


Figura 15. Visualización Numérica

b. Visualización gráfica.

También se puede ver el resultado en pantalla de tres diferentes modos mediante representación gráfica. La visualización gráfica también se realiza en la pestaña “Dielectrometer” y se seleccionan los diferentes modos, como se verá a continuación, mediante los siguientes controles ubicados en la parte inferior de dicha pestaña (figura 16):



Figura 16. Controles para visualización gráfica

- **Magnitude:** Representa el valor absoluto del parámetro S_{11} en escala logarítmica (dB) (figura 17). Esta representación permite dos variantes, mediante la selección o no selección del botón “Spectroscopy-style magnitude visualization”:

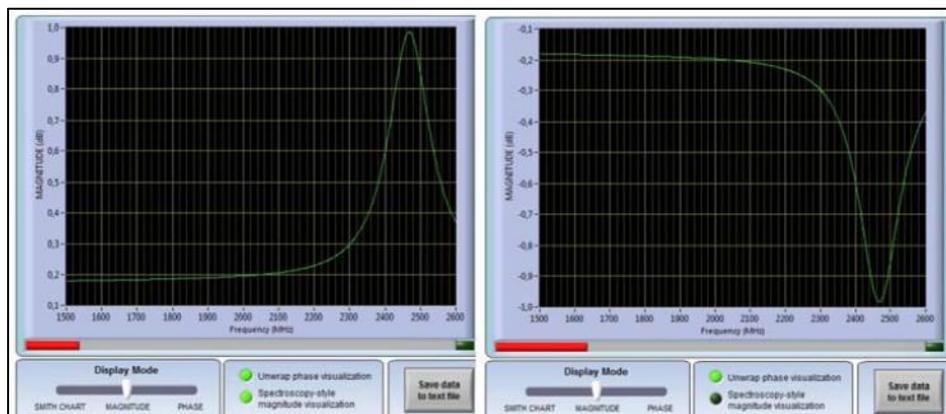


Figura 17. Magnitude

- **Phase:** Representa la fase del parámetro complejo S_{11} (figura 18). También esta representación permite dos variantes, según si se quiere o no eliminar discontinuidades en la representación, mediante la selección o no selección del botón “Unwrap phase visualization”:

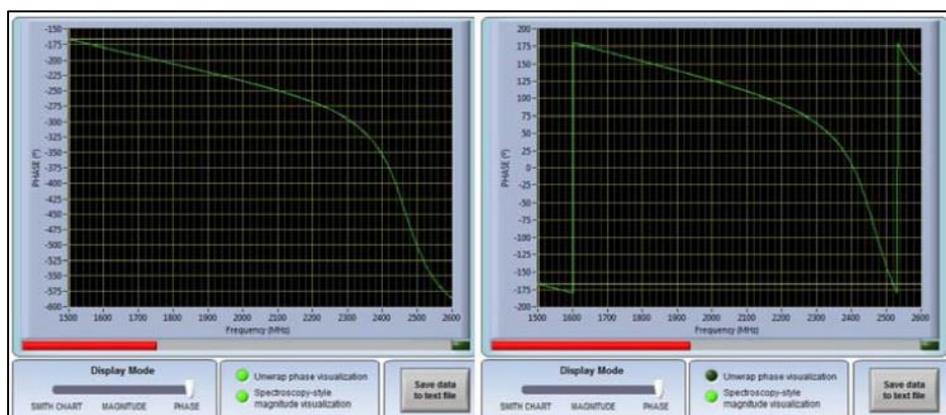


Figura 18. Phase

- **Smith Chart:** Representa el parámetro S_{11} complejo sobre la carta de Smith (figura 19):

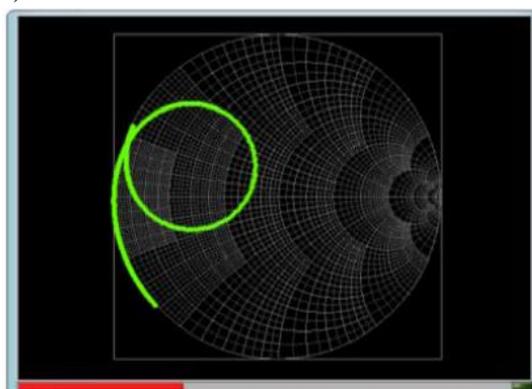


Figura 19. Smith Chart

3.3.4. Cargar datos

El programa permite asimismo cargar una medida anterior para representarla simultáneamente con la medida que se está realizando en el momento, para que sirva como referencia. Para conseguirlo se debe seguir los siguientes pasos (figura 20):

- Cambiar la extensión del fichero que contiene la medida que queremos incluir como referencia para darle la extensión *.txt.
- Pulsar el botón “Start” de la pestaña “Dielectrometer”.
- Activar el botón “Plot ON/OFF” en la pestaña “Dielectrometer”:

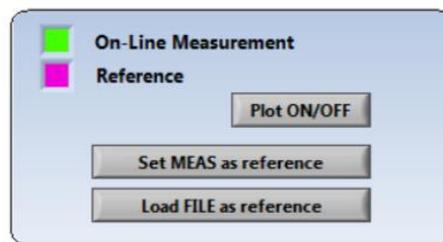


Figura 20. Pestaña "Dielectrometer"

- Pulsar el botón “Load FILE as reference”. En ese momento, deberá aparecer en color púrpura la medida cargada y en color verde la medida que se está realizando en ese momento.

3.3.5. Calibración

El equipo no requiere calibración periódica, sino tan sólo una comprobación técnica que permita verificar su buen funcionamiento de forma periódica. Tampoco requiere calibración externa, tan sólo en el caso de que se detecte un mal funcionamiento del equipo.

Cada seis meses se realiza una comprobación del correcto funcionamiento del equipo. En caso que el equipo no pase la prueba, deberá ser enviado al fabricante para su reparación o calibración externa, según proceda.

Capítulo 4

REALIZACIÓN

Este proyecto se ha dividido en tres grandes líneas de trabajo:

- La medida de las propiedades dieléctricas de distintos batidos de hortalizas, utilizando la instrumentación mencionada en el capítulo anterior.
- El post-procesado con Matlab de los datos obtenidos.
- La medición de las propiedades dieléctricas de batidos comerciales en el rango de 10MHz a 20GHz y la implementación de los métodos teóricos de Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami, vistos en el *Capítulo 2*, mediante algoritmos genéticos para comprobar la fiabilidad de los resultados obtenidos.

4.1. MEDIDAS DE LAS PROPIEDADES DIELECTRICAS

Como se ha mencionado, para medir las propiedades dieléctricas de los batidos se han utilizado los instrumentos descritos en el *Capítulo 3*, haciendo uso del método de líneas de transmisión en configuración de reflexión (sonda dieléctrica) visto anteriormente.

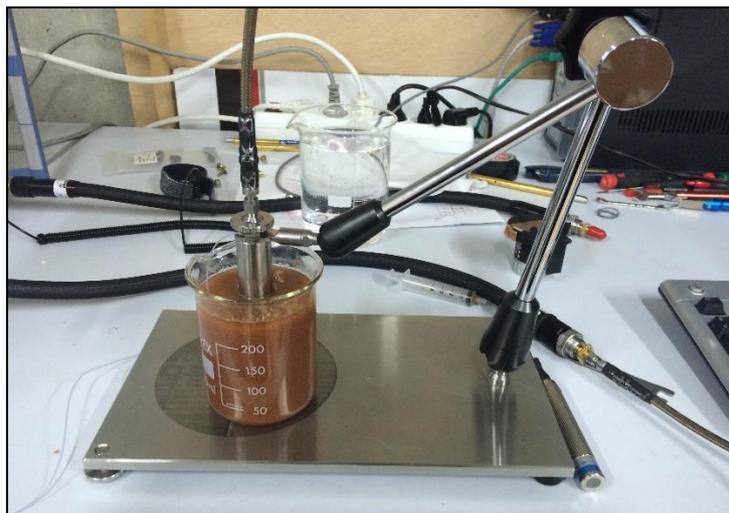


Figura 21. Montaje de medida de los batidos con la sonda DAK-12.

Se miden varias muestras de batidos de distintas hortalizas, clasificados según su color: Rojo, Morado, Naranja y Verde como se muestra en la figura 21. Cada uno de ellos es sometido al mismo proceso.

Se calienta la muestra de batido en un horno microondas hasta su temperatura de ebullición. Desde este momento, se toman muestras conforme la temperatura descende y hasta llegar a la temperatura ambiente, se miden sus propiedades dieléctricas desde 10MHz hasta 3GHz, con la sonda DAK-12. Simultáneamente, se miden dichas propiedades a 2.45GHz con el dielectrómetro, para posteriormente comparar ambas medidas y poder comprobar la correcta medición.

Se obtienen así los distintos valores que toman la constante dieléctrica y la constante de pérdidas para las diferentes temperaturas. Dichos valores son representados respecto a la frecuencia, obteniendo las gráficas mostradas en el apartado 5.1. *Datos Obtenidos*.

4.2. POST-PROCESADO DE LOS DATOS OBTENIDOS: Valores significativos, Análisis estadístico y Métodos Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami.

Una vez obtenidos los datos de todos los batidos bajo estudio, se inicia el post-procesado de éstos. Para ello, inicialmente se calculan los valores más significativos de cada uno de los batidos estudiados. Éstos se pueden observar en el apartado 5.2. *Valores significativos*.

Seguidamente, se realiza un análisis estadístico del batido rojo, dónde se calculan la media y la desviación típica de todas las muestras. Se escoge este batido porque es del que más muestras se disponen. El resultado de dicho análisis se puede observar en el apartado 5.3. *Análisis Estadístico*.

Por último, se escogen ciertos batidos de hortalizas comerciales, como son el gazpacho, salmorejo, zumo de tomate y zumo de naranja. Se miden sus propiedades dieléctricas a temperatura ambiente, en un rango de frecuencias de 10MHz a 20GHz. Para ello, se utilizan dos sondas, la DAK 12 para medir de 10MHz a 3GHz, y la DAK 3.5 para medir de 3GHz a 20GHz. Posteriormente se unen ambas medidas, obteniéndose así una única representación lineal de 10MHz a 20GHz.

Con los datos obtenidos para este tipo de batidos, se lleva a cabo la implementación del código genético de los métodos de Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami, que permite obtener la solución óptima y comprobar el error obtenido en la medición. Estos resultados se encuentran en el apartado 5.4. *Métodos Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami*.

Capítulo 5

RESULTADOS

5.1. DATOS OBTENIDOS

A continuación se muestra la variación de la constante dieléctrica (ϵ_r') y el factor de pérdidas (ϵ_r''), representados por curvas de distintos colores, correspondientes a las distintas temperaturas medidas, junto con la medida tomada con el dielectrómetro a una frecuencia cercana a 2.45GHz, representada con un círculo del color correspondiente a cada temperatura.

Se puede observar que en la mayoría de los casos no coinciden ambas medidas exactamente, pero sí se encuentran muy cercanas, con un valor de error mínimo entre ambas.

Una pequeña dificultad que se presentó en la realización de dicho proyecto, fue poder controlar de manera precisa cuando el batido estudiado llegaba a su punto de ebullición. Es por esto que en algunas ocasiones el punto de ebullición llegaba antes de lo esperado y se producía un pequeño derrame o evaporación del batido. Estas ocasiones fueron mínimas, aunque cabe la posibilidad que algunos datos difieran debido a esto.

Además, como se verá a continuación, hay ocasiones que a ciertas temperaturas no existe la medida del dielectrómetro. Esto es debido a la dificultad de medir simultáneamente con la sonda y el dielectrómetro, ya que la temperatura de las muestras de batido desciende rápidamente.

El programa empleado para realizar dichas representaciones se puede encontrar en el *ANEXO I*.

a. Batido Rojo:

- MUESTRA 1:

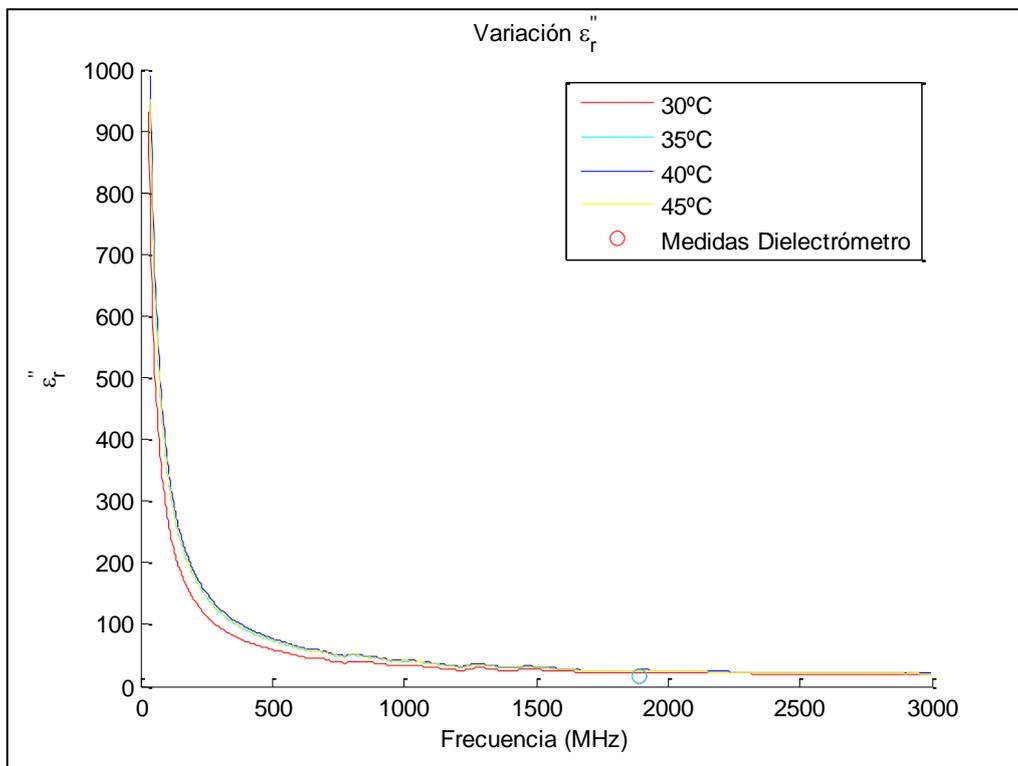


Figura 22. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 1 de batido rojo

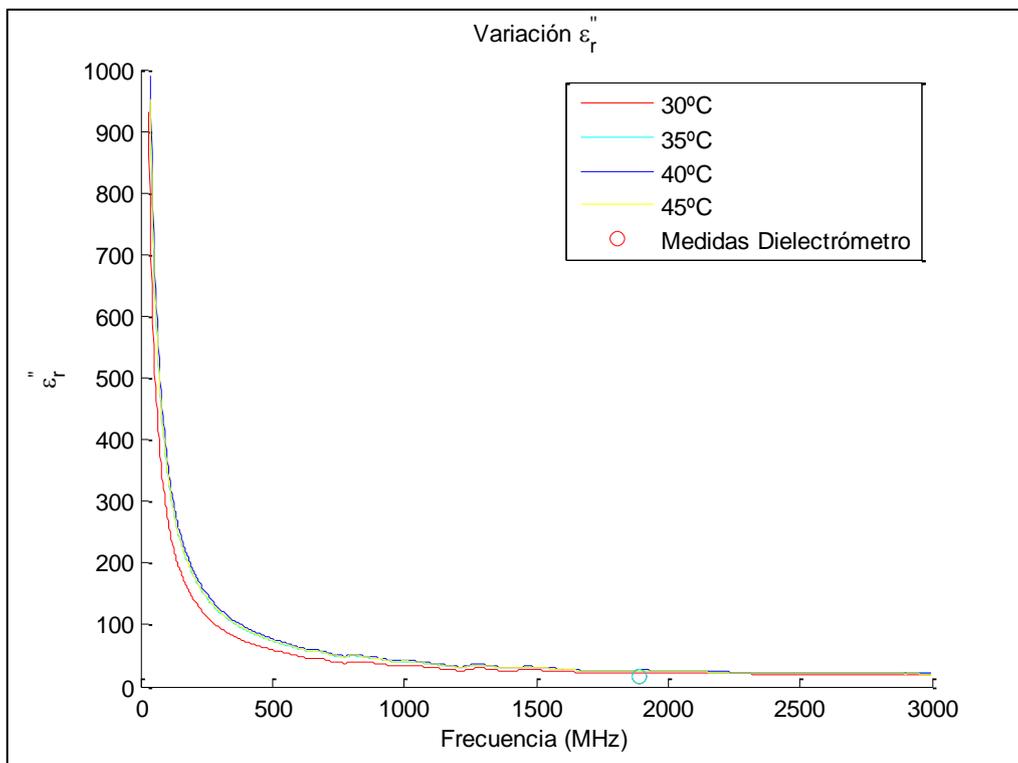


Figura 23. Variación del factor de pérdidas de la muestra 1 de batido rojo

- MUESTRA 2:

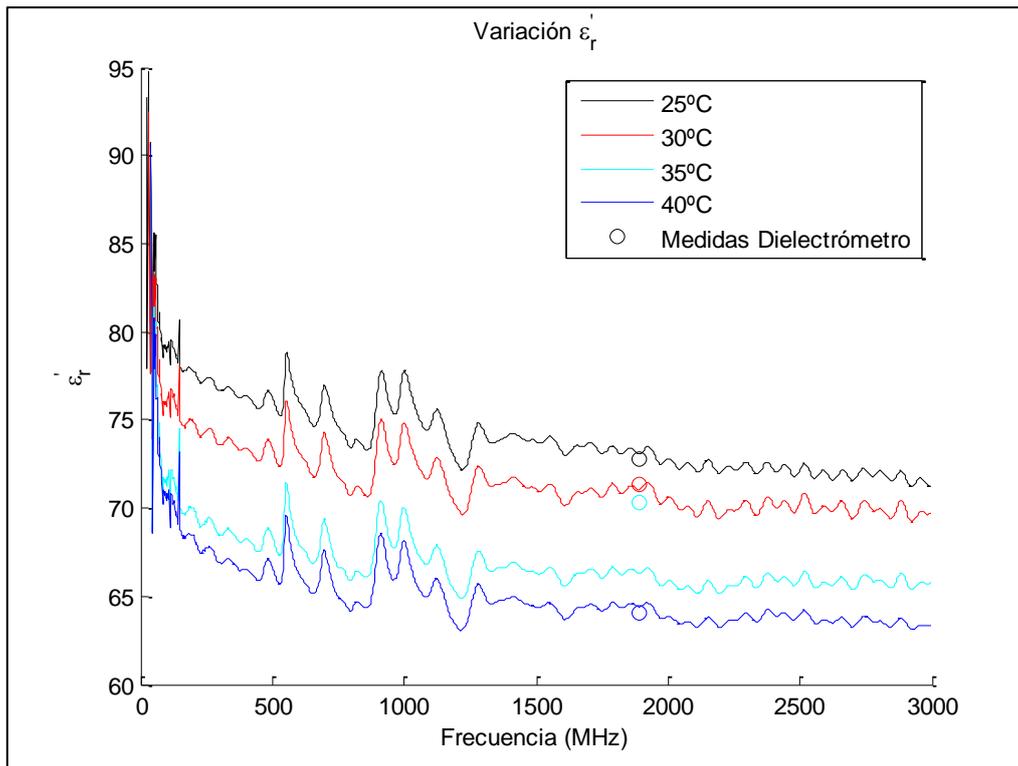


Figura 24. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 2 de batido rojo

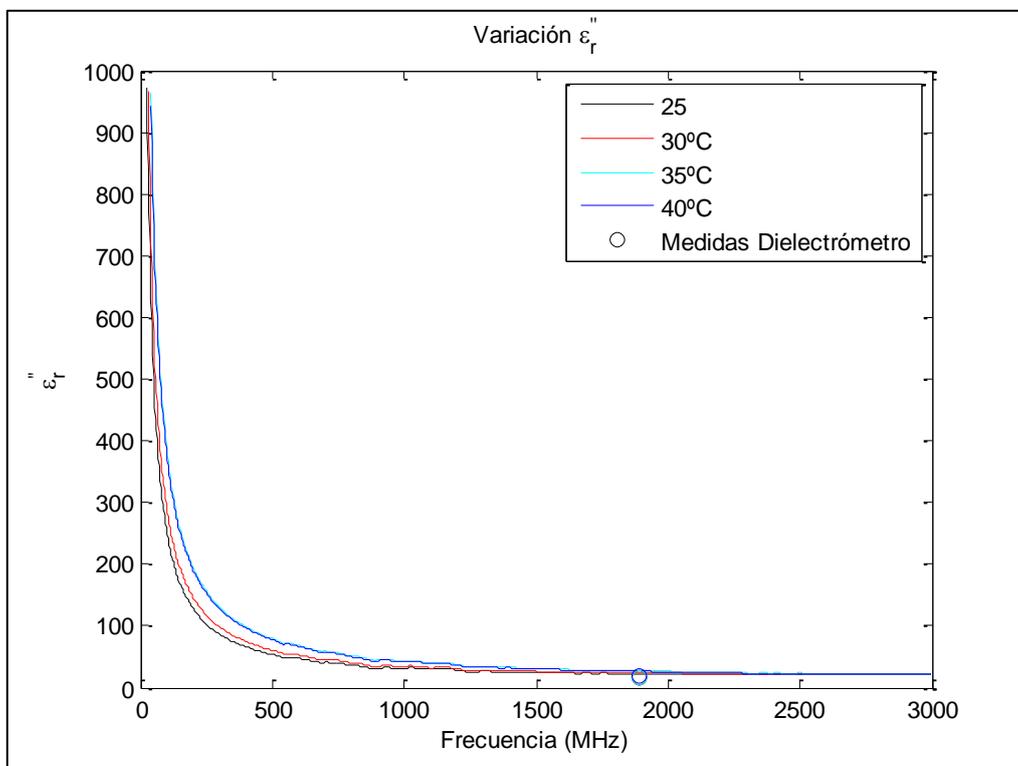


Figura 25. Variación del factor de pérdidas de la muestra 2 de batido rojo

- MUESTRA 3:

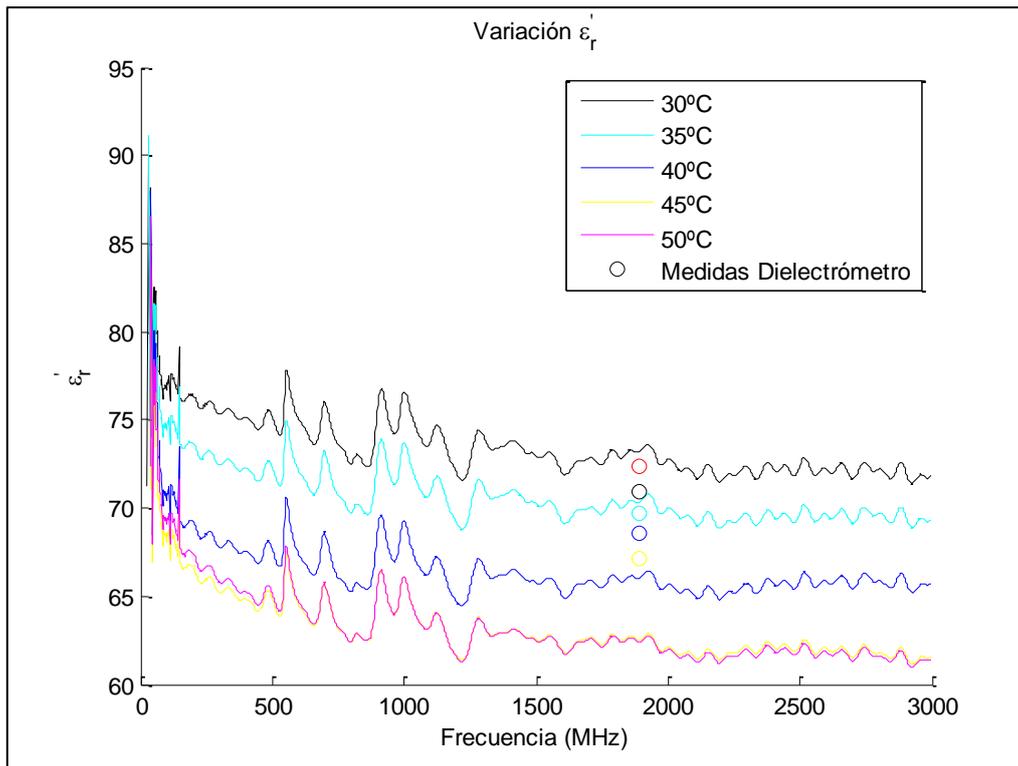


Figura 26. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 3 de batido rojo

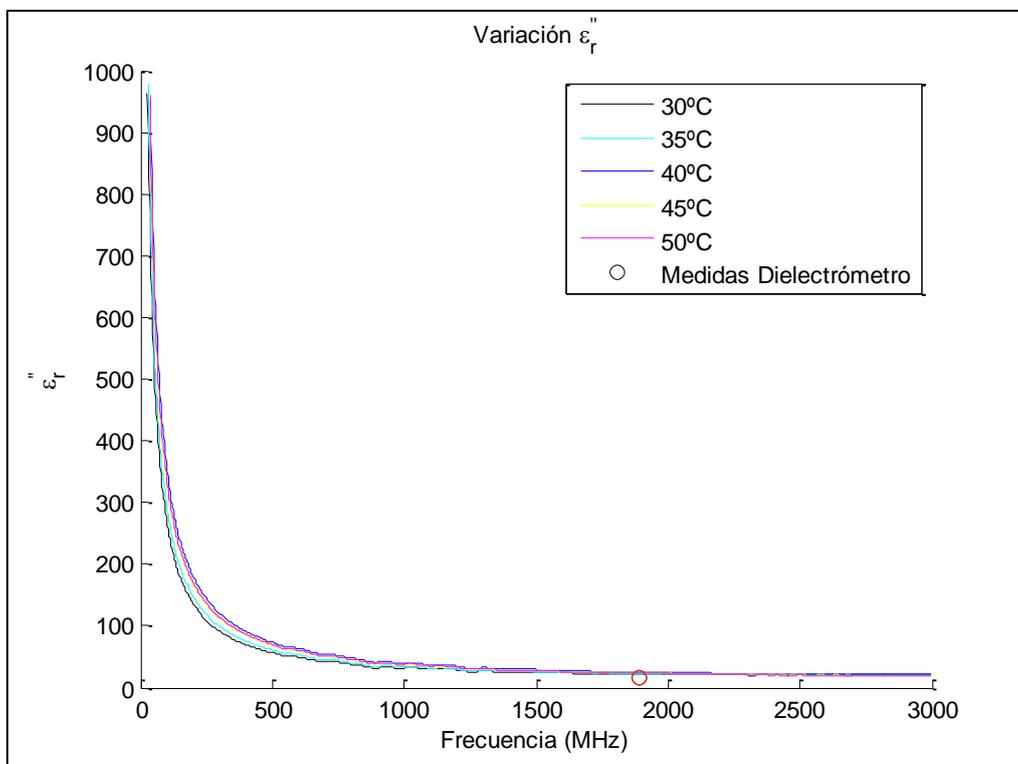


Figura 27. Variación del factor de pérdidas de la muestra 3 de batido rojo

- MUESTRA 4:

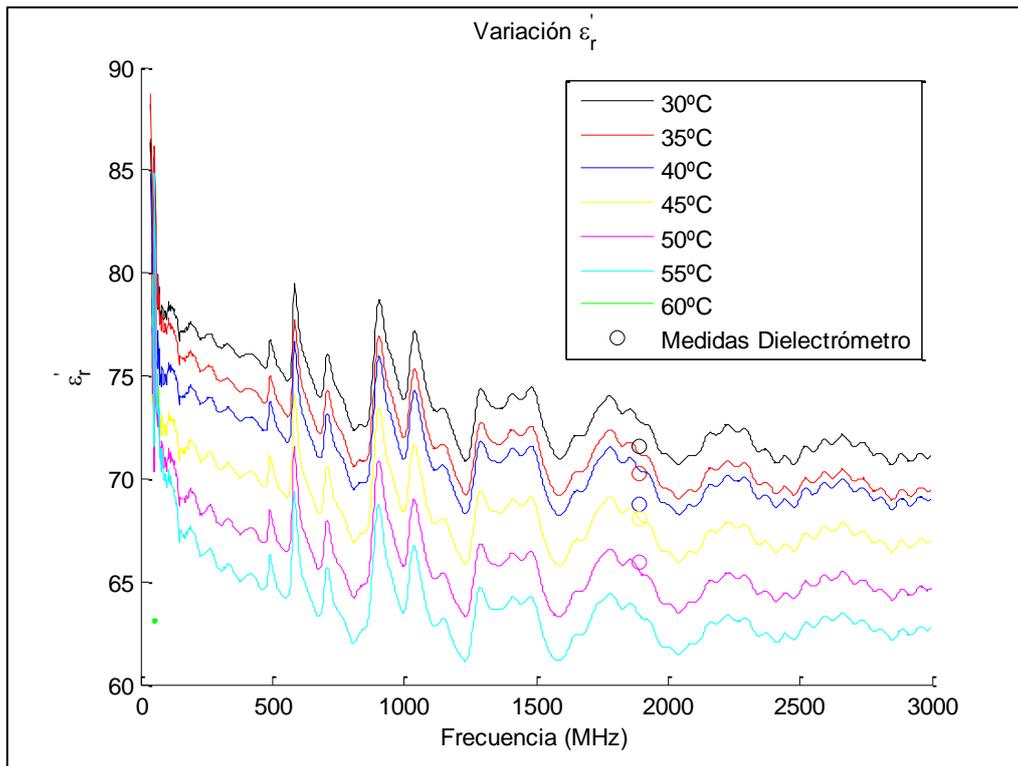


Figura 28. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 4 de batido rojo

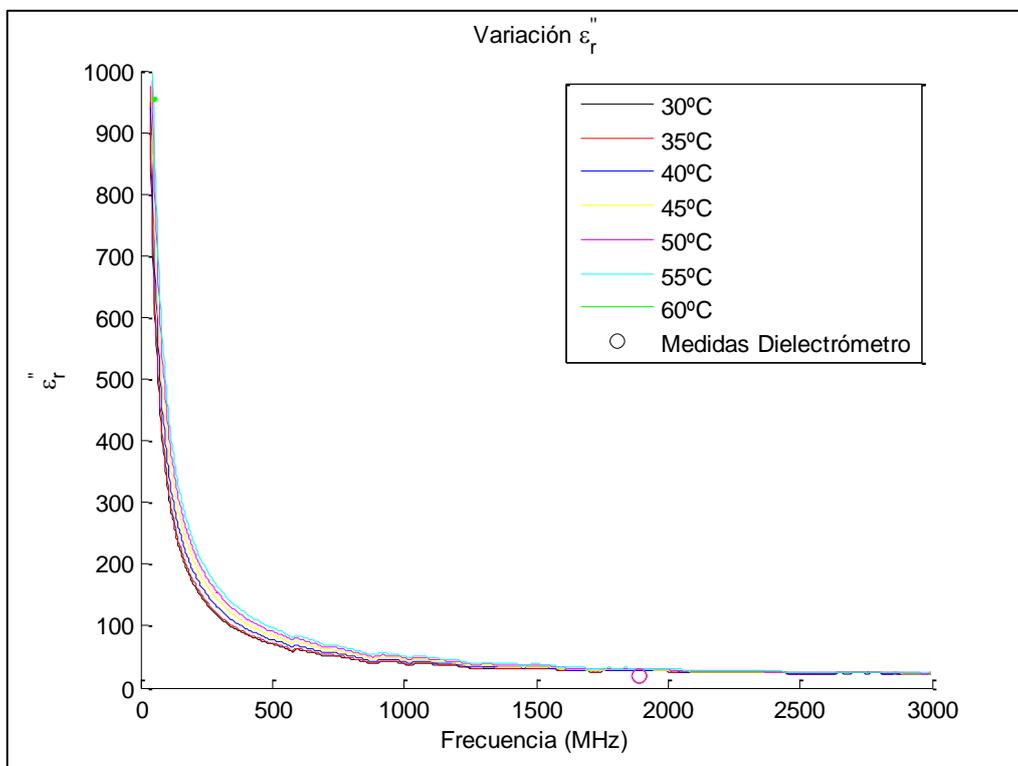


Figura 29. Variación del factor de pérdidas de la muestra 4 de batido rojo

- MUESTRA 5:

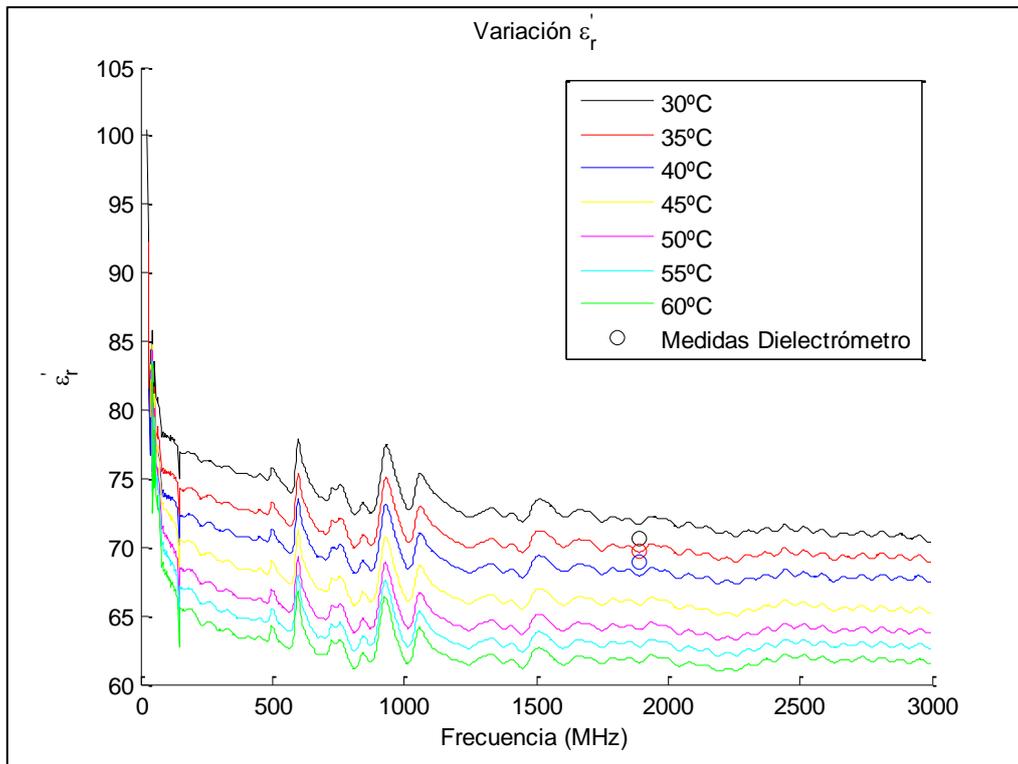


Figura 30. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 5 de batido rojo

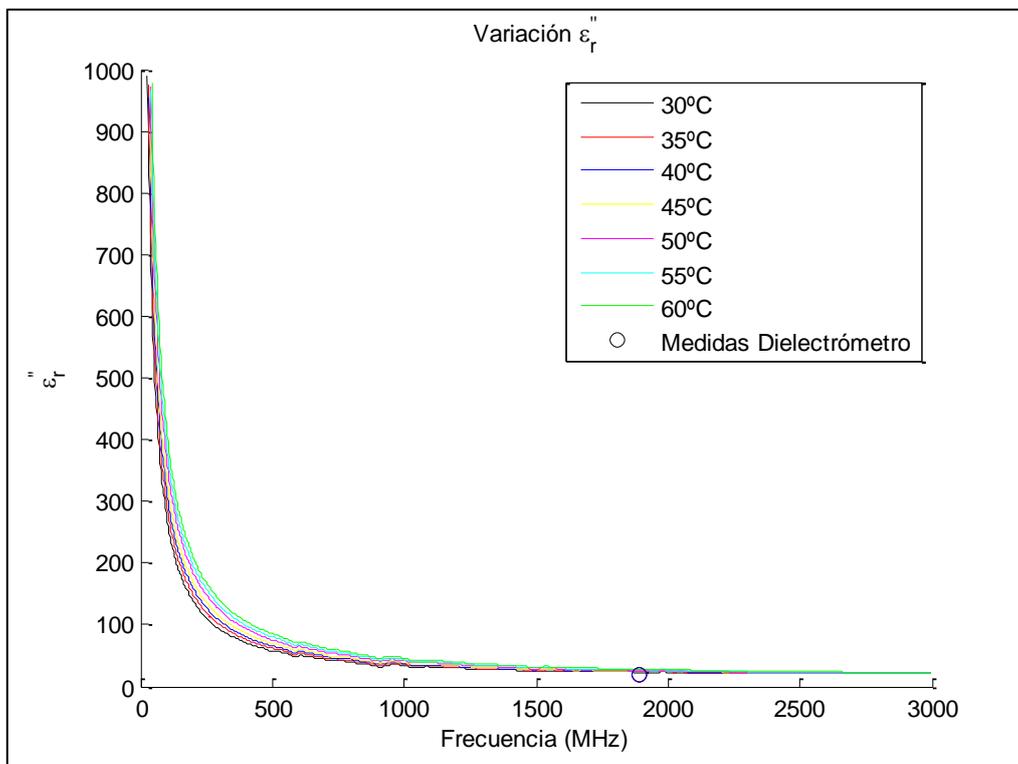


Figura 31. Variación del factor de pérdidas de la muestra 5 de batido rojo

- MUESTRA 6:

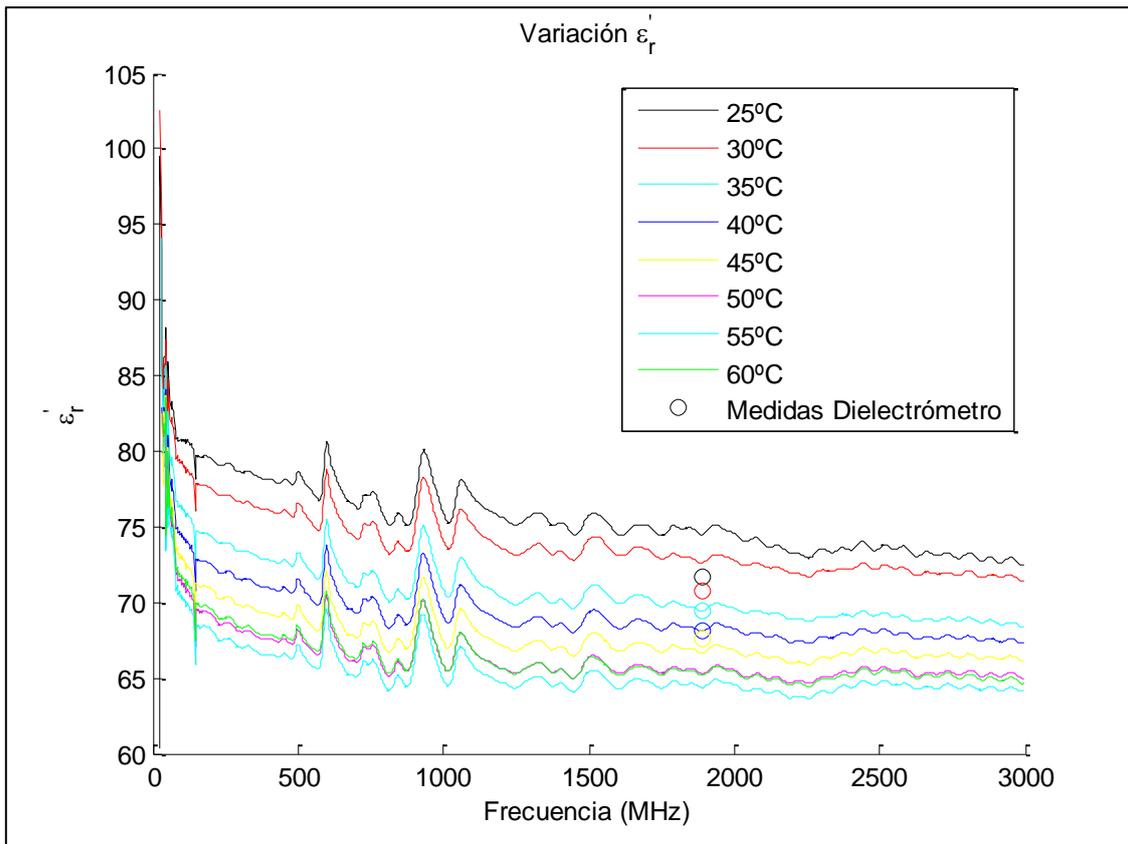


Figura 32. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 6 de batido rojo

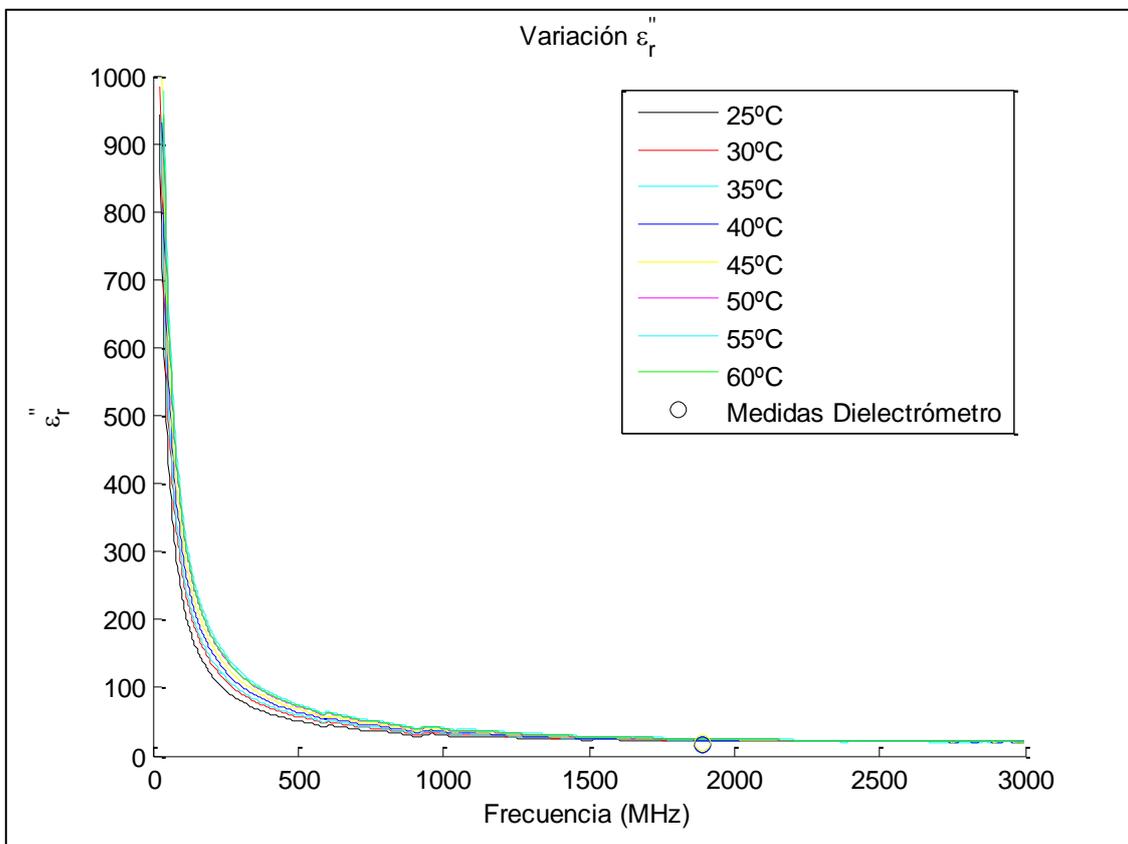


Figura 33. Variación del factor de pérdidas de la muestra 6 de batido rojo

- MUESTRA 7:

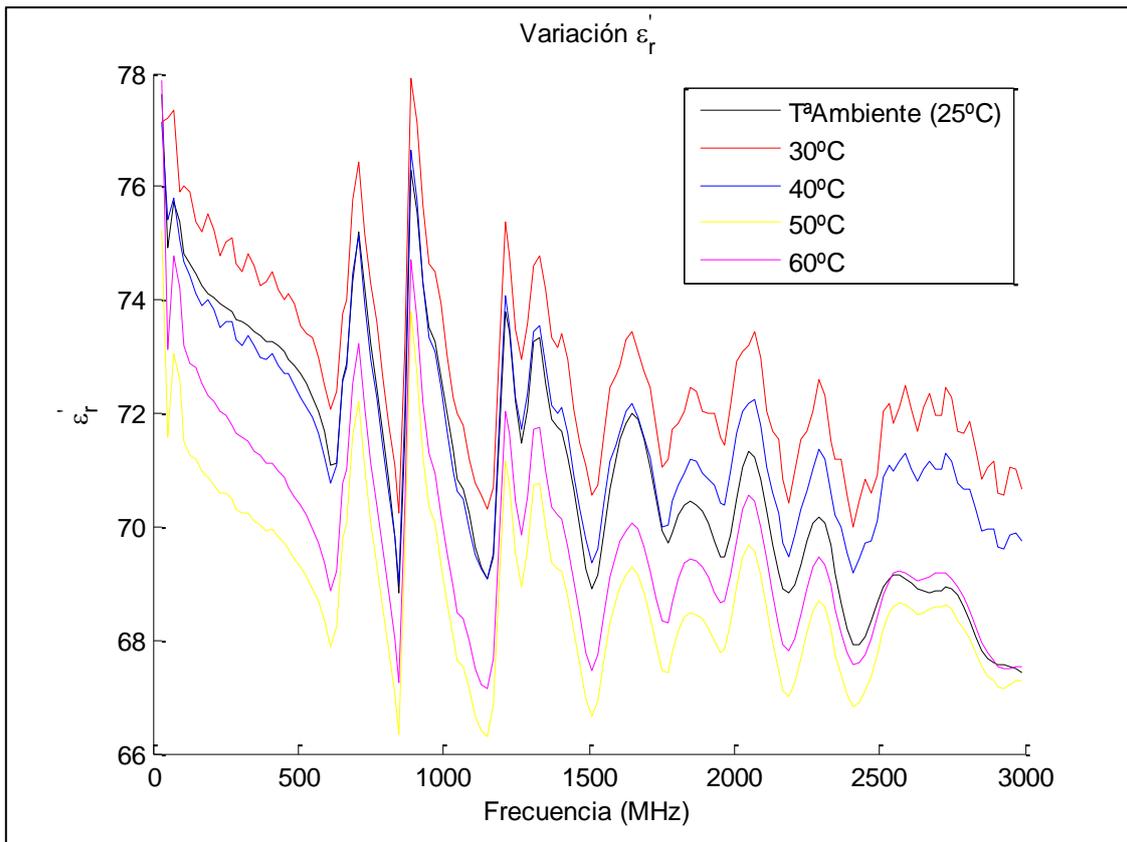


Figura 34. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 7 de batido rojo

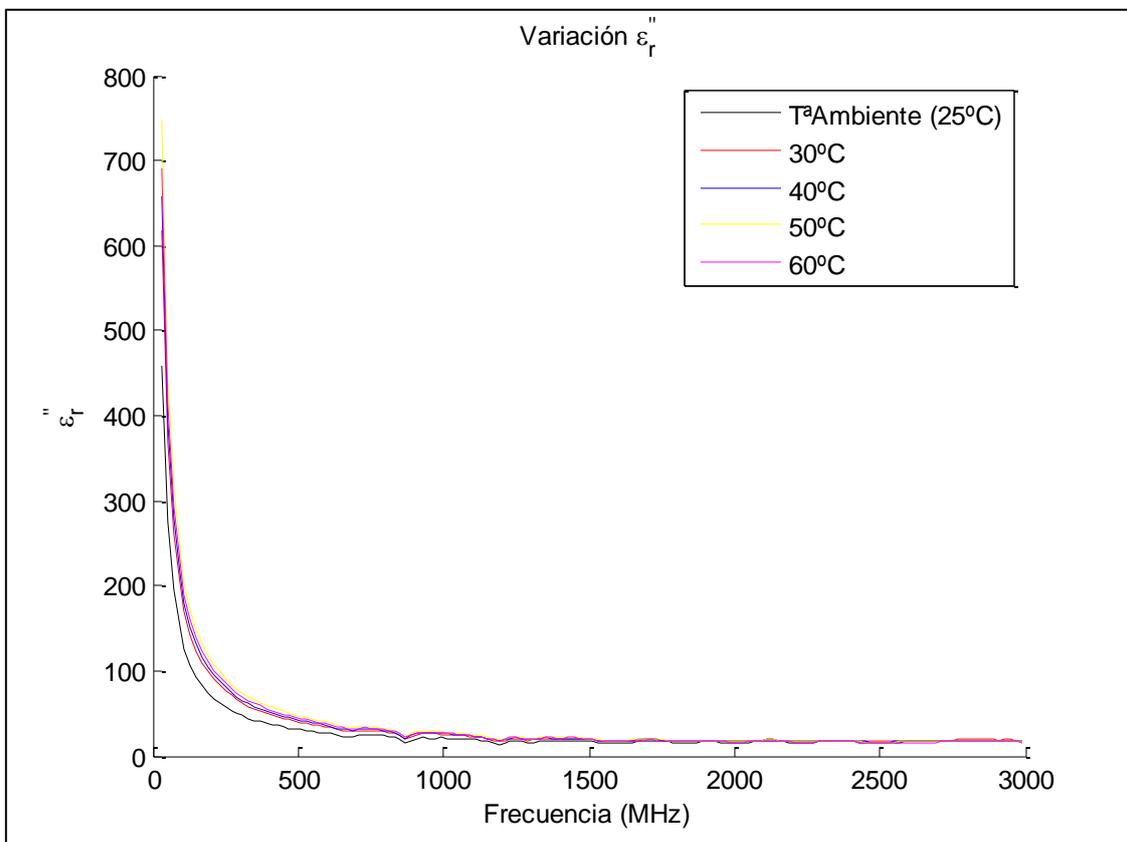


Figura 35. Variación del factor de pérdidas de la muestra 7 de batido rojo

- MUESTRA 8:

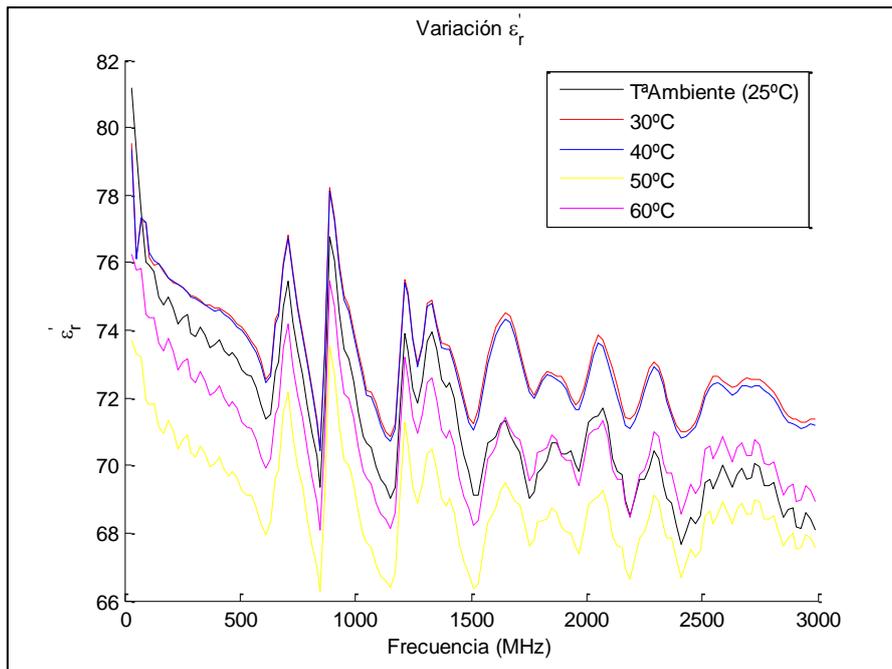


Figura 36. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 8 de batido rojo

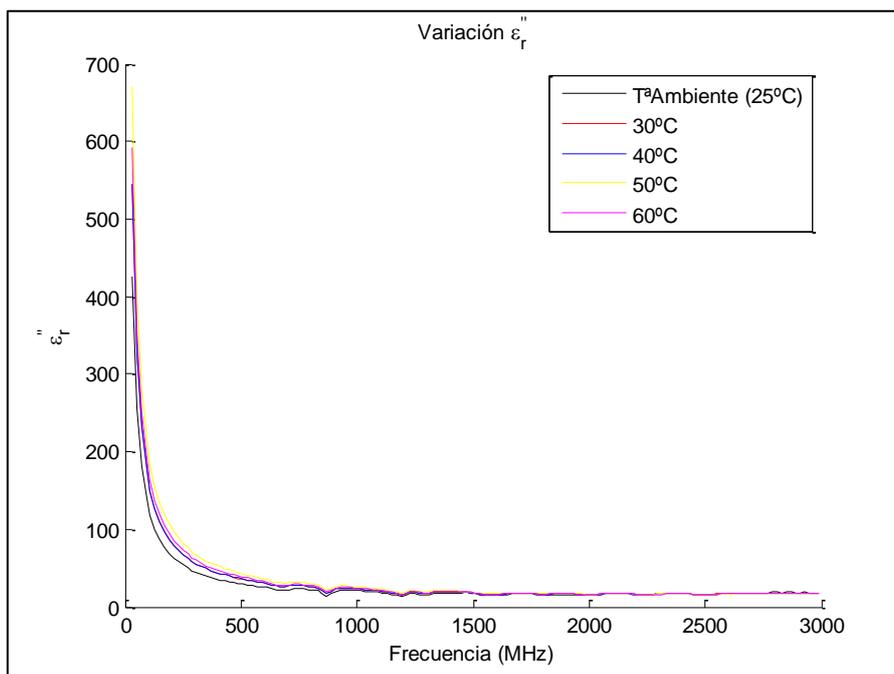


Figura 37. Variación del factor de pérdidas de la muestra 8 de batido rojo

Del batido rojo se obtienen ocho muestras, que van de la figura 22 a la 37. Como se puede observar, los resultados son repetitivos con lo que podemos obtener datos fiables. La parte real (ϵ') oscila entre 62 y 75, y la imaginaria (ϵ'') va decayendo desde 1000, para la mayoría de las muestras. Únicamente se observan datos anómalos de las figuras 32 a la 35, correspondientes con las muestras 6 y 7, dónde existen picos pronunciados a ciertas frecuencias. Esto puede ser debido al problema presentado anteriormente, y que parte de dichas muestras se derramaron o evaporaron por un exceso de calentamiento inicial.

b. Batido Naranja:

- MUESTRA 1:

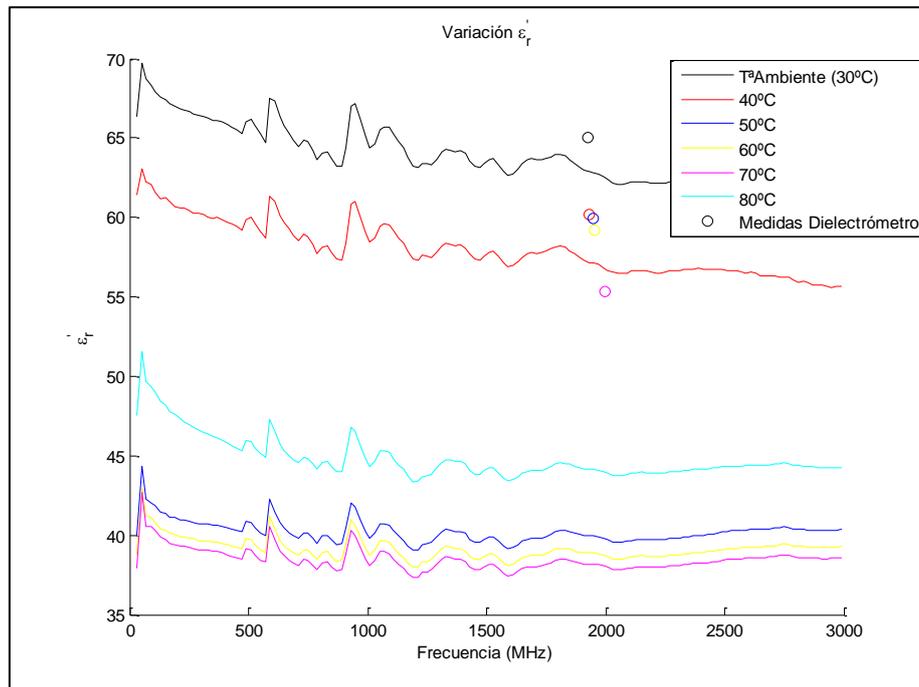


Figura 38. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 1 de batido naranja

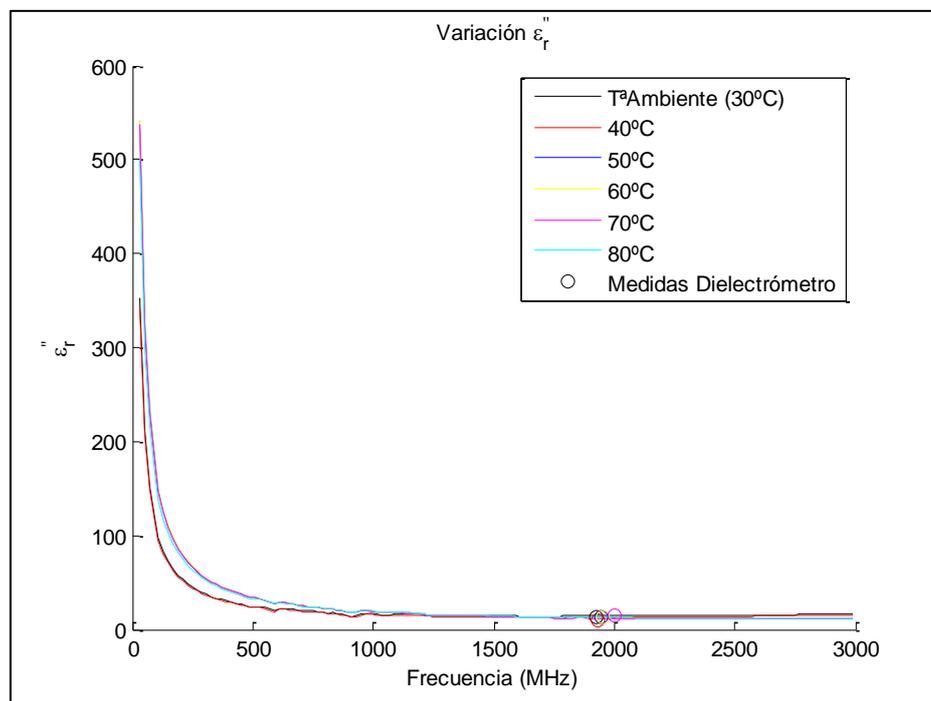


Figura 39. Variación del factor de pérdidas de la muestra 1 de batido naranja

Las figuras 38 y 39 corresponden al batido naranja. En este caso únicamente se tiene una muestra. Se observa que la parte real (ϵ') oscila entre 35 y 70, y la imaginaria (ϵ'') va decayendo desde 550.

c. Batido Verde:

- MUESTRA 1:

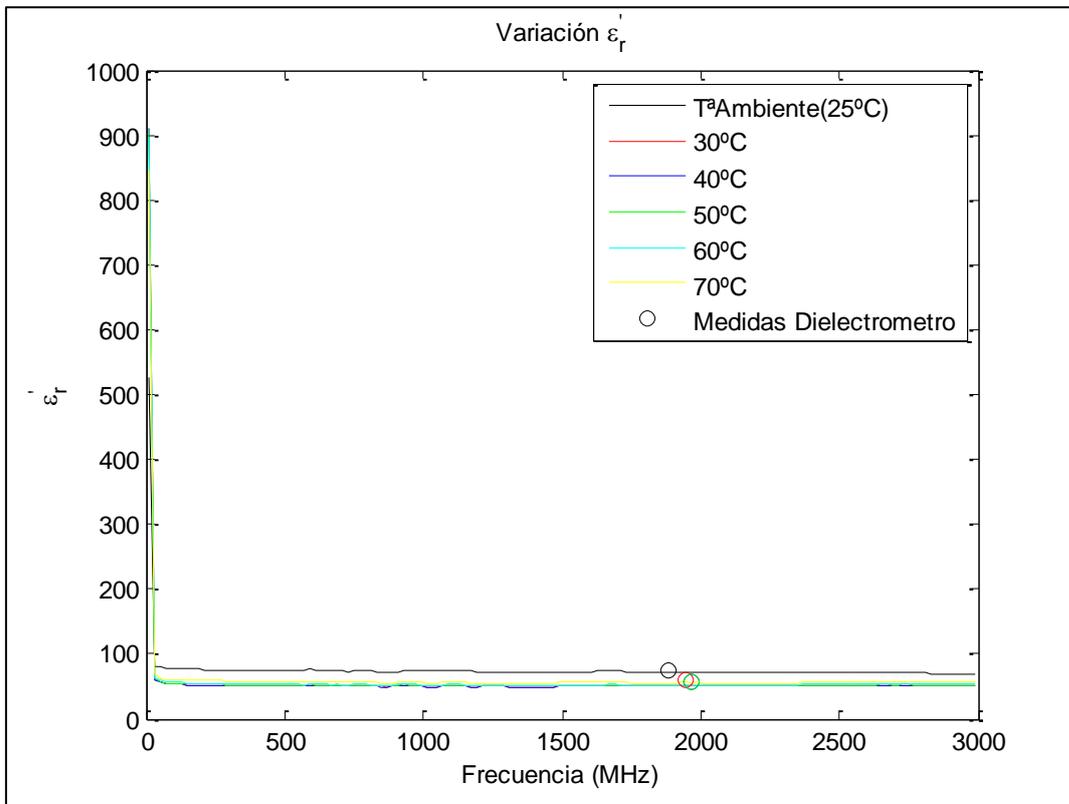


Figura 40. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 1 de batido verde

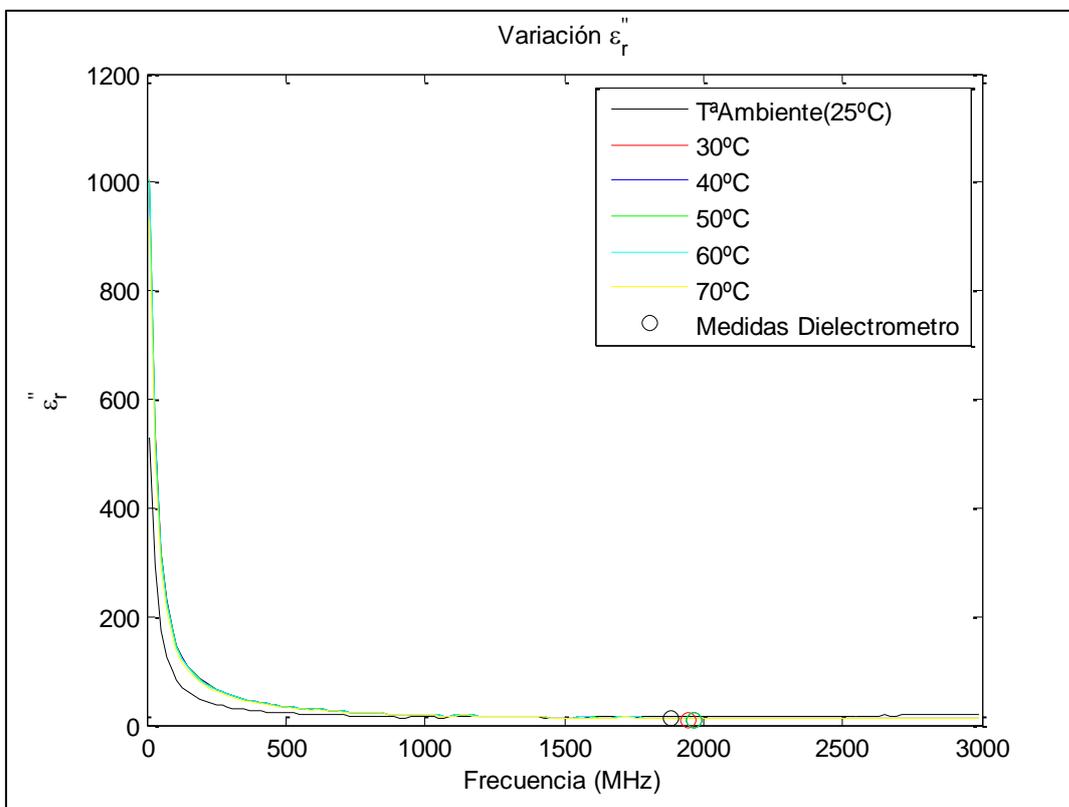


Figura 41. Variación del factor de pérdidas de la muestra 1 de batido verde

- MUESTRA 2:

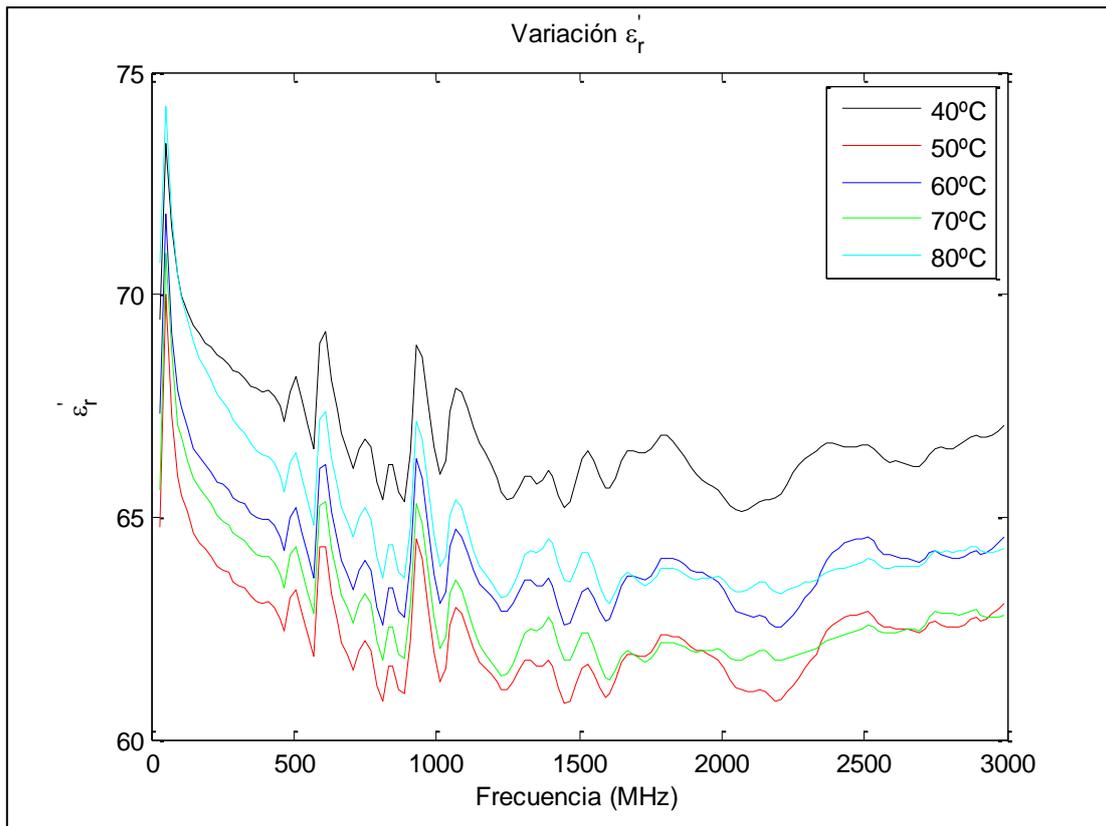


Figura 42. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 2 de batido verde

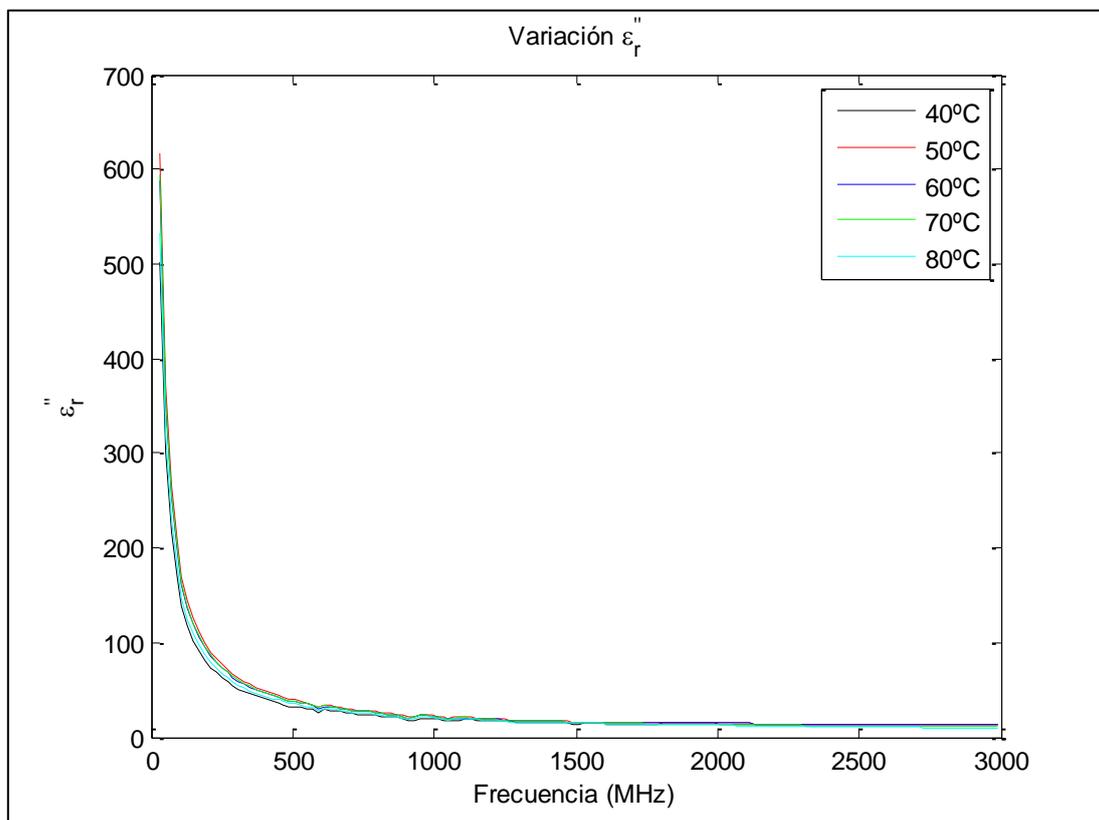


Figura 43. Variación del factor de pérdidas de la muestra 2 de batido verde

- MUESTRA 3:

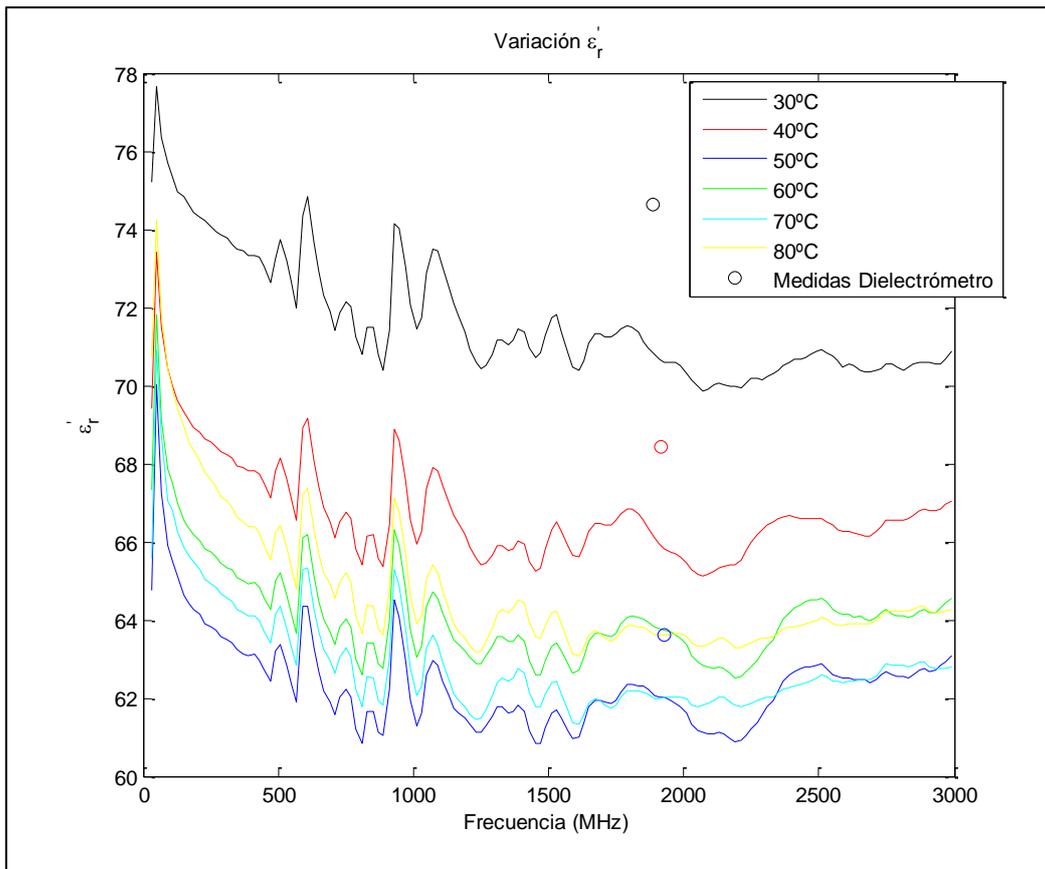


Figura 44. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 3 de batido verde

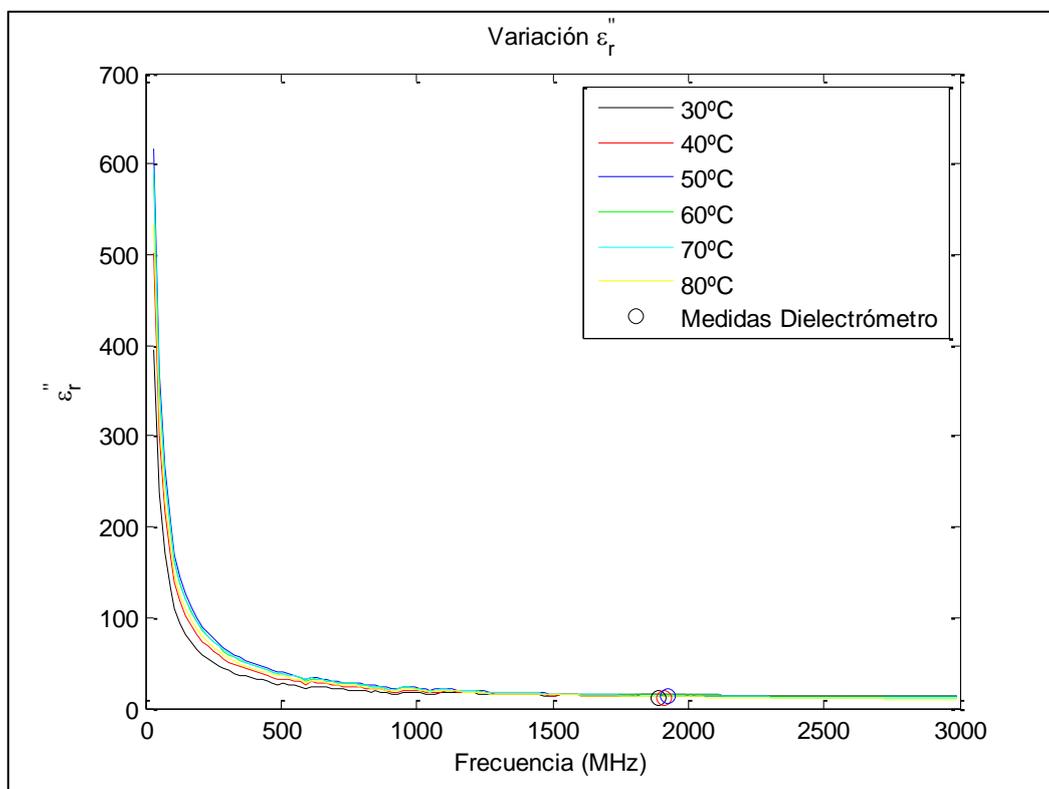


Figura 45. Variación del factor de pérdidas de la muestra 3 de batido verde

- MUESTRA 4:

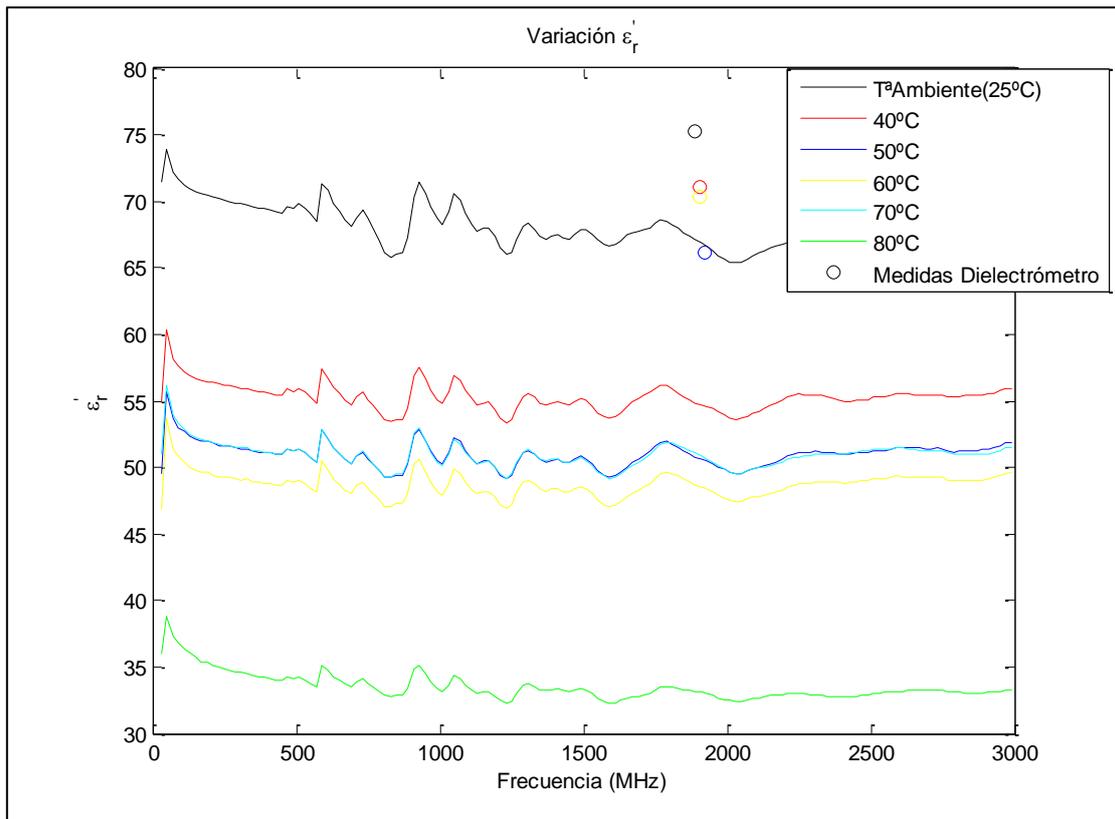


Figura 46. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 4 de batido verde

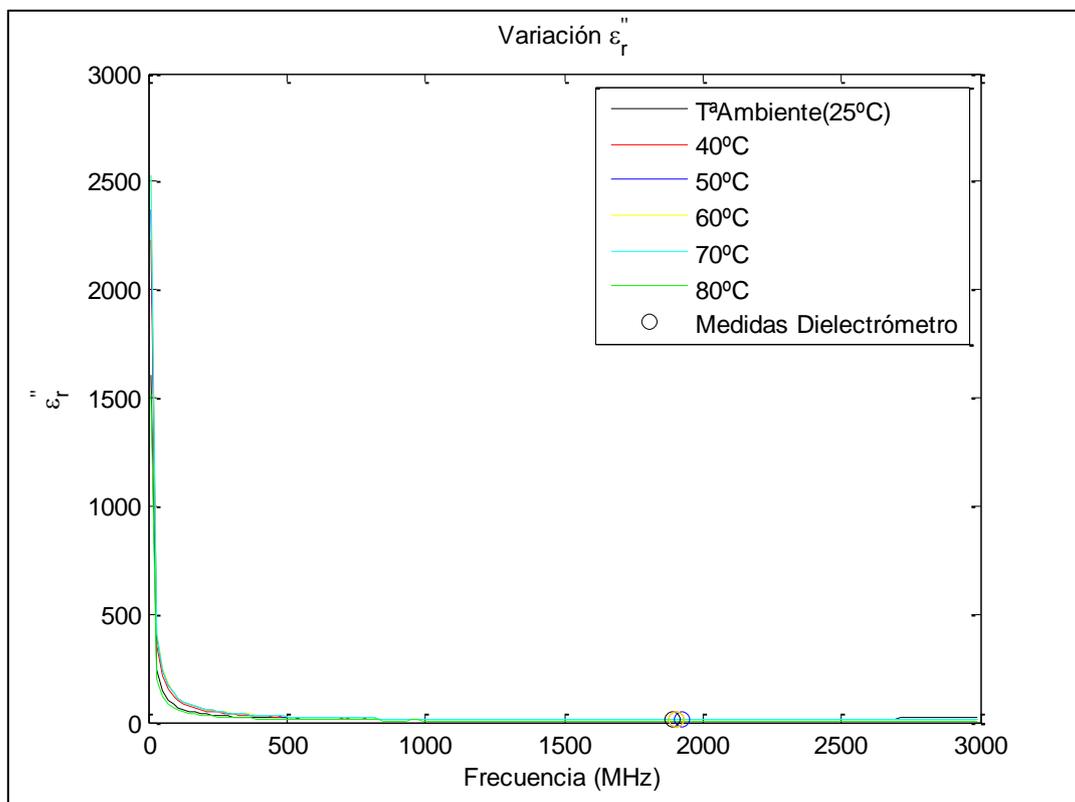


Figura 47. Variación del factor de pérdidas de la muestra 4 de batido verde

- MUESTRA 5:

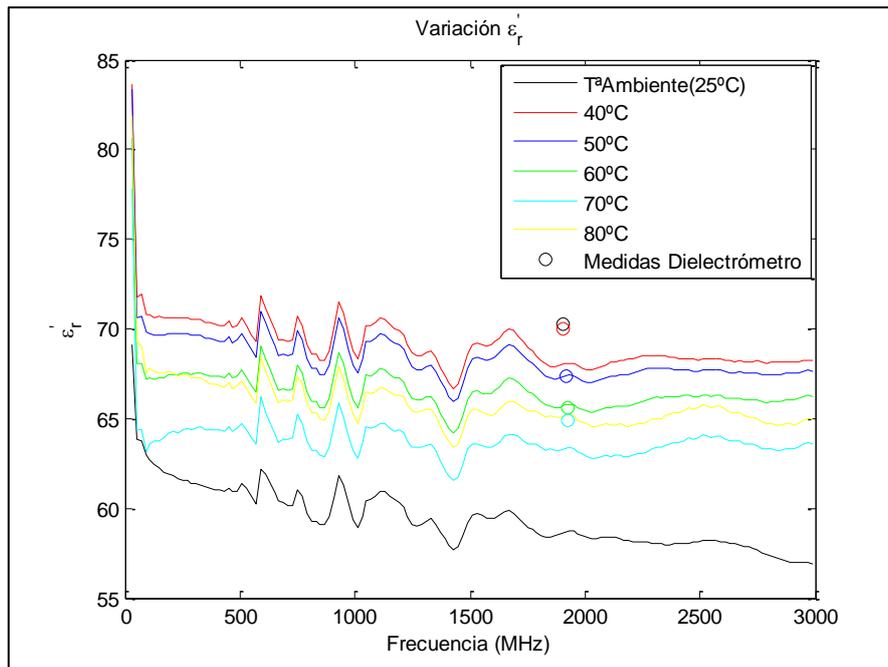


Figura 48. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 5 de batido verde

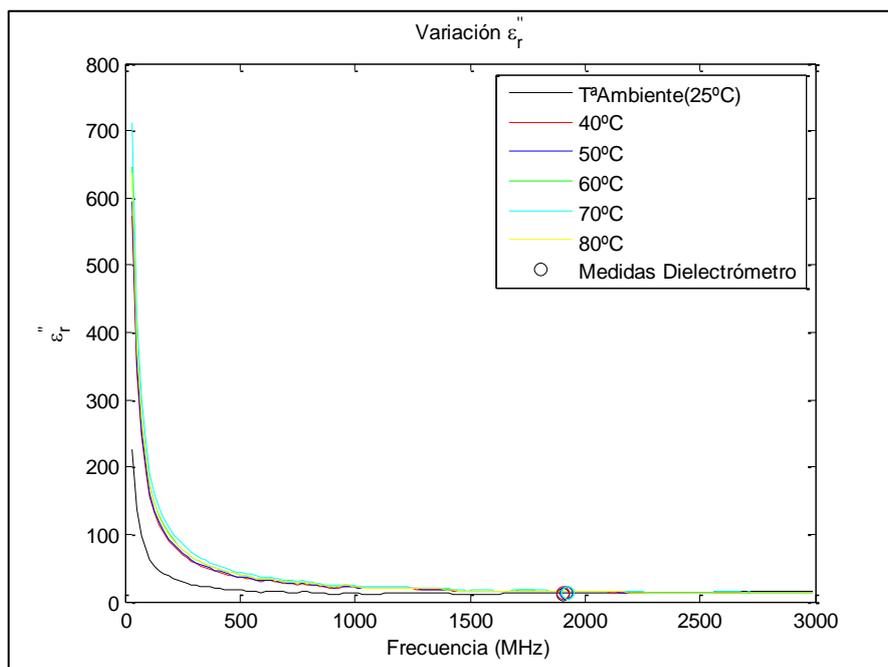


Figura 49. Variación del factor de pérdidas de la muestra 5 de batido verde

Del batido verde se obtienen cinco muestras, que van de la figura 40 a la 49. En este caso se han despreciado las medidas a 10MHz, ya que se obtenían datos anómalos que interferían en la correcta medición.

De nuevo, como ocurría con el batido rojo, se observa que los resultados son repetitivos, por lo que se puede considerar que los datos obtenidos son fiables. La parte real (ϵ') oscila entre 78 y 35, y la imaginara (ϵ'') va decayendo desde 700, para la mayoría de las muestras.

d. Batido Morado:

- MUESTRA 1:

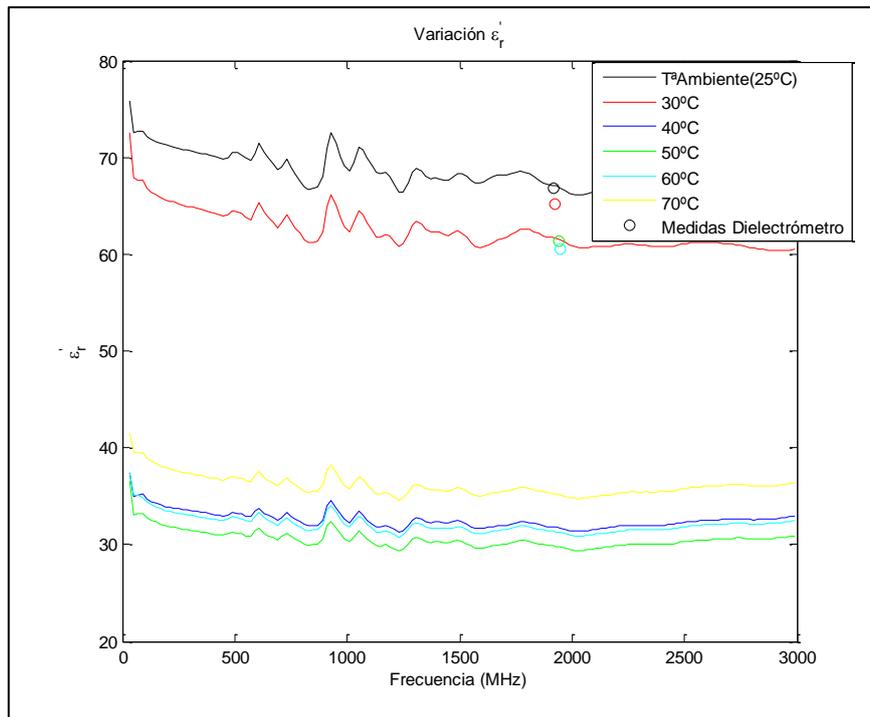


Figura 50. Variación de la constante dieléctrica de la muestra 1 de batido morado

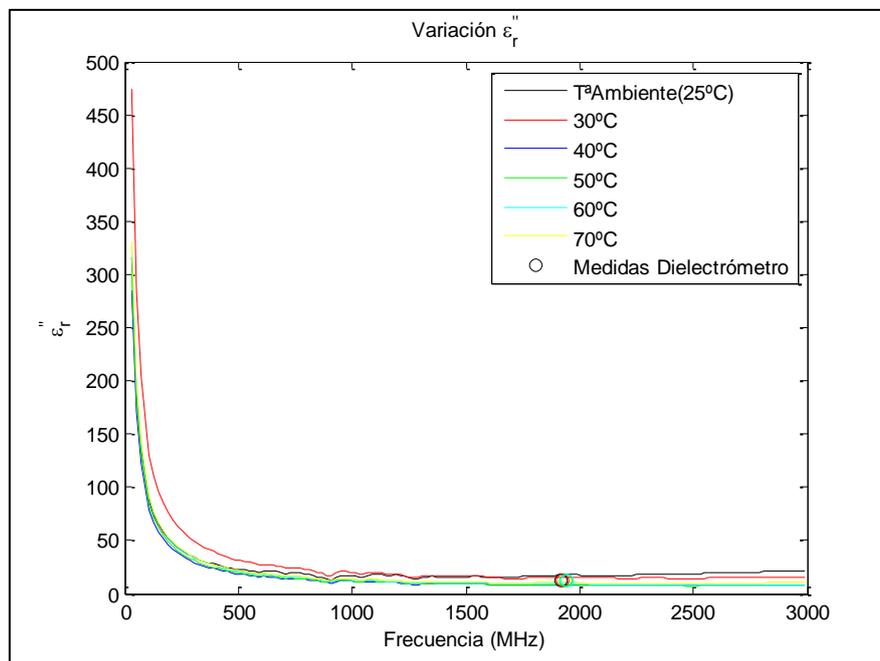


Figura 51. Variación del factor de pérdidas de la muestra 1 de batido morado

Las figuras 50 y 51 corresponden al batido morado. En este caso únicamente se tiene una muestra. Además, como ocurría con el batido verde, se han despreciado las medidas a 10MHz, ya que se obtienen datos anómalos.

Se observa que la parte real (ϵ') oscila entre 35 y 75, y la imaginaria (ϵ'') va decayendo desde 500.

5.2. VALORES SIGNIFICATIVOS

Se realiza un estudio para obtener los valores significativos de cada batido en la banda de radiofrecuencia (a 27.12MHz) y en la de microondas (a 2.45GHz). Para ello se calcula la media de cada muestra de batidos, creando un vector de medias para cada tipo de batido. Por último, se calcula la media de dicho vector, obteniendo así un único valor que se tomará como el valor significativo de cada batido.

Esto se repite para la constante dieléctrica y la constante de pérdidas, en ambas frecuencias mencionadas anteriormente.

Tras este proceso, los datos obtenidos para cada batido son:

<i>Frecuencias Batidos</i>	<i>27.12 MHz</i>		<i>2.45 GHz</i>	
	ϵ_r	ϵ_r	ϵ_r	ϵ_r
<i>Naranja</i>	80.8294	1.12105e3	64.7284	21.0814
<i>Verde</i>	194.8798	774.4487	59.7053	12.9920
<i>Morado</i>	198.4392	888.2078	54.5322	13.3910
<i>Rojo</i>	195.4249	907.8857	57.9744	13.8558

Tabla 7. Valores significativos

El programa empleado para dichos cálculos se encuentra en el *ANEXO I*.

5.3. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realiza un análisis estadístico de seis muestras de batido rojo, ya que es uno de los que más muestras se disponen. Se busca que la medida sea repetible, por lo que en dicho análisis se calculan la media y la desviación típica de los valores de permitividad obtenidos para las distintas temperaturas. Así será posible determinar la incertidumbre del método.

El resultado obtenido se muestra a continuación.

- MUESTRAS MEDIDAS A 30°C:

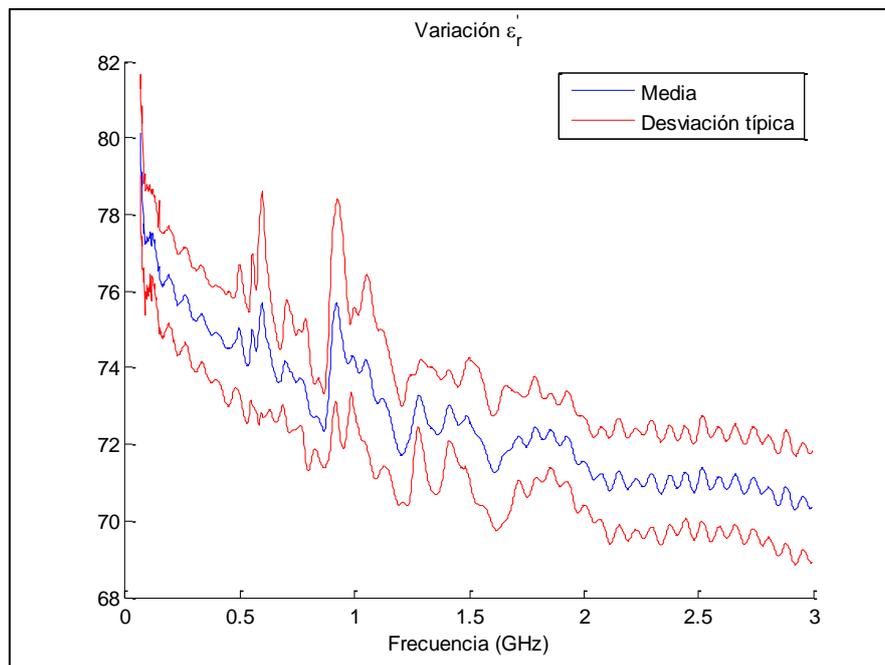


Figura 52. Variación de la constante dieléctrica

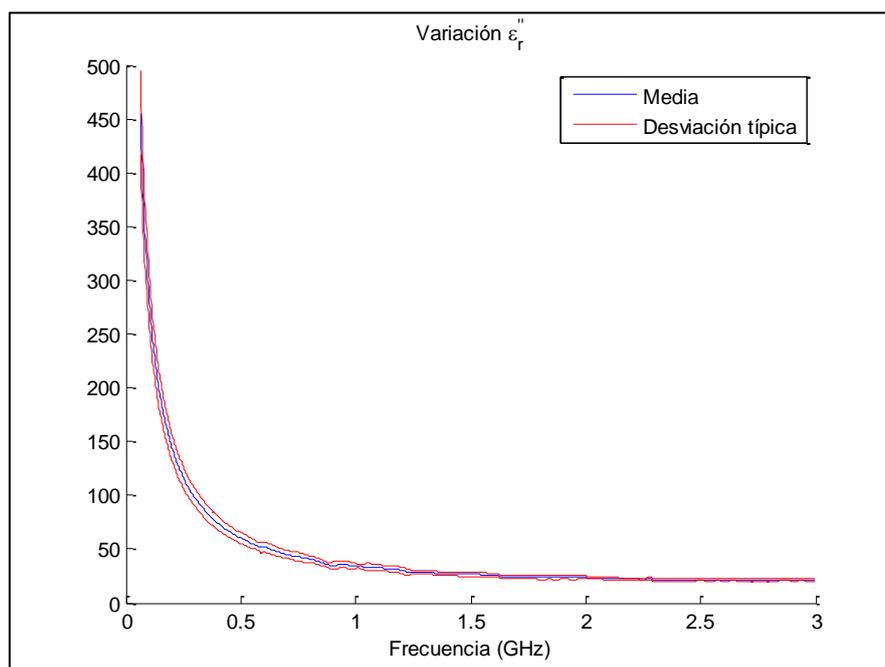


Figura 53. Variación del factor de pérdidas

- MUESTRAS MEDIDAS A 35°C:

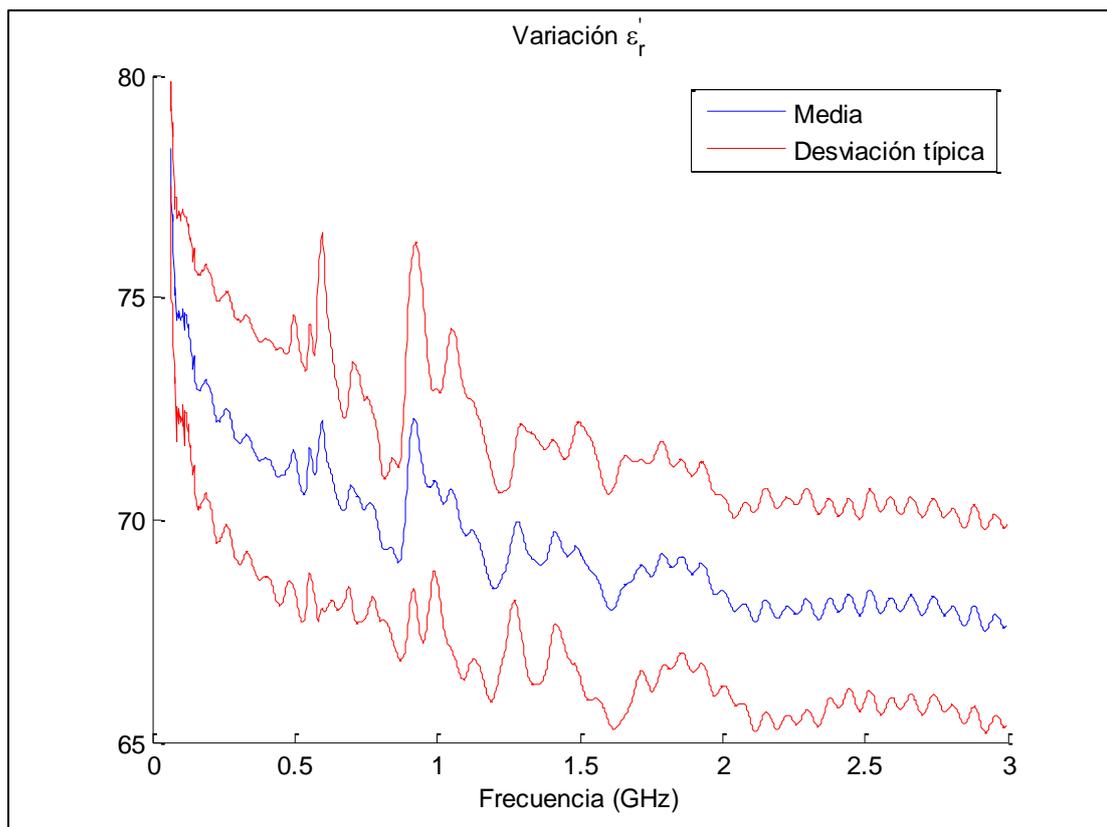


Figura 54. Variación de la constante dieléctrica

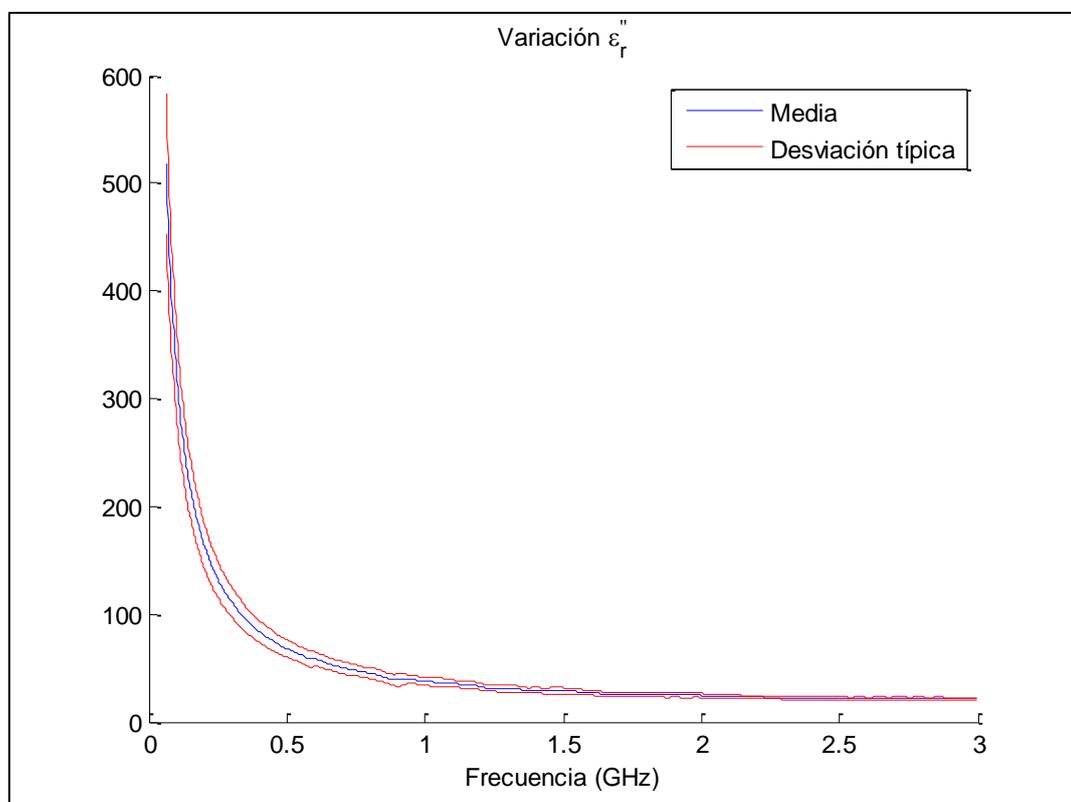


Figura 55. Variación del factor de pérdidas

- MUESTRAS MEDIDAS A 40°C:

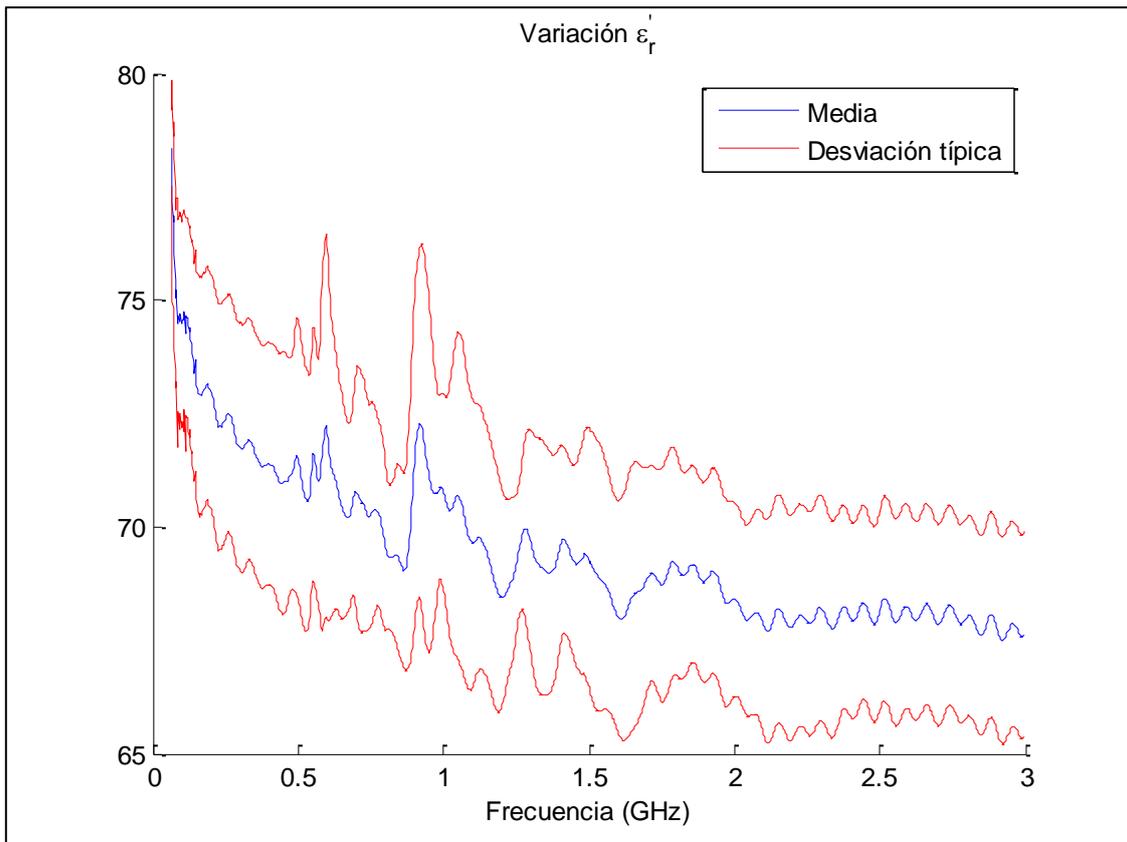


Figura 56. Variación de la constante dieléctrica

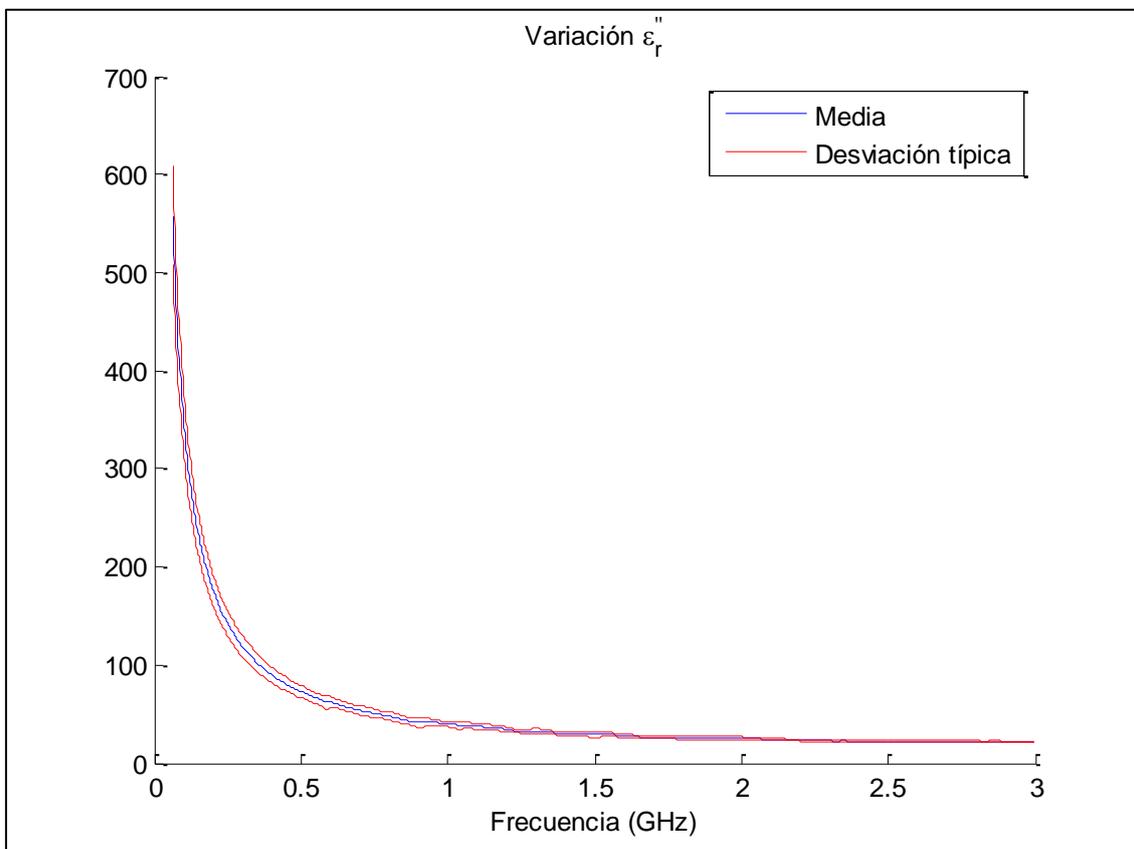


Figura 57. Variación del factor de pérdidas

- MUESTRAS MEDIDAS A 45°C:

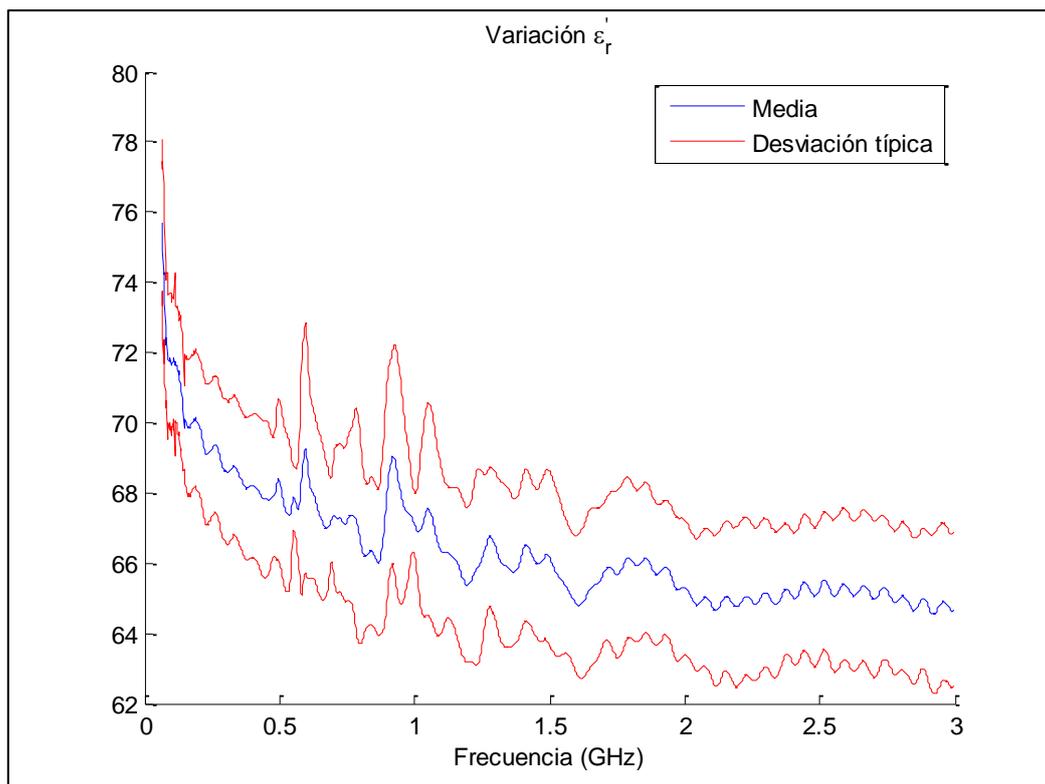


Figura 58. Variación de la constante dieléctrica

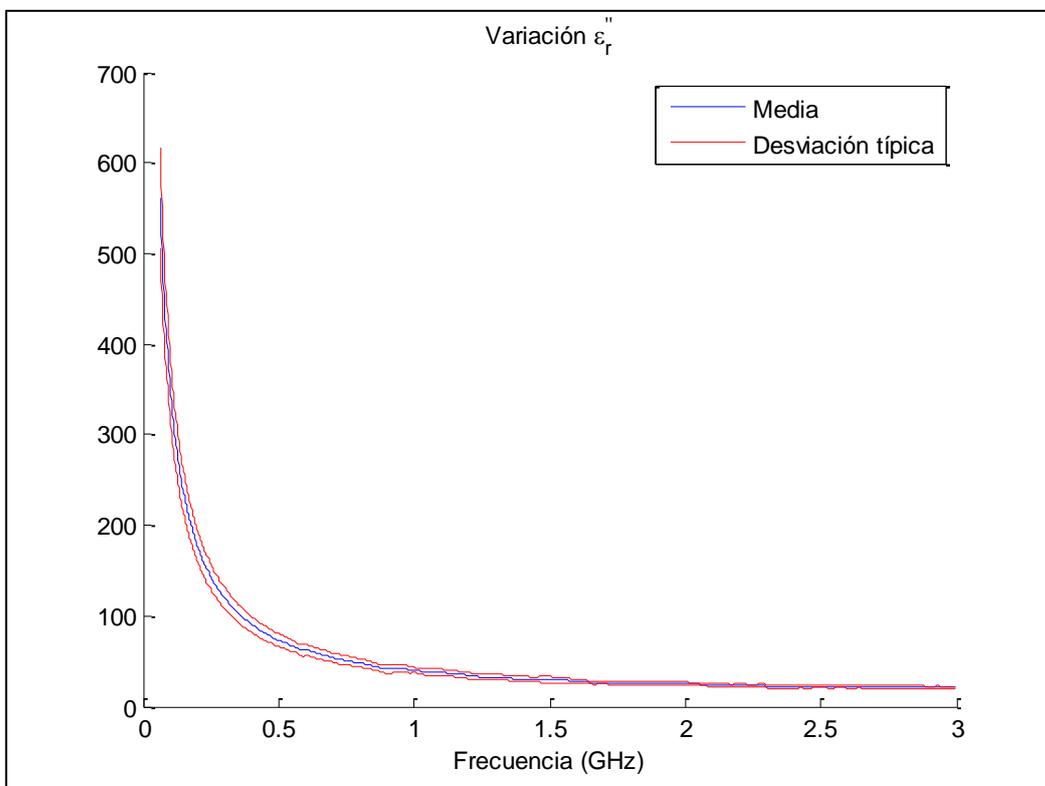


Figura 59. Variación del factor de pérdidas

A esta temperatura únicamente se tienen medidas de cinco muestras de batido rojo, por lo que el análisis se realiza sobre dichas muestras.

- MUESTRAS MEDIDAS A 50°C:

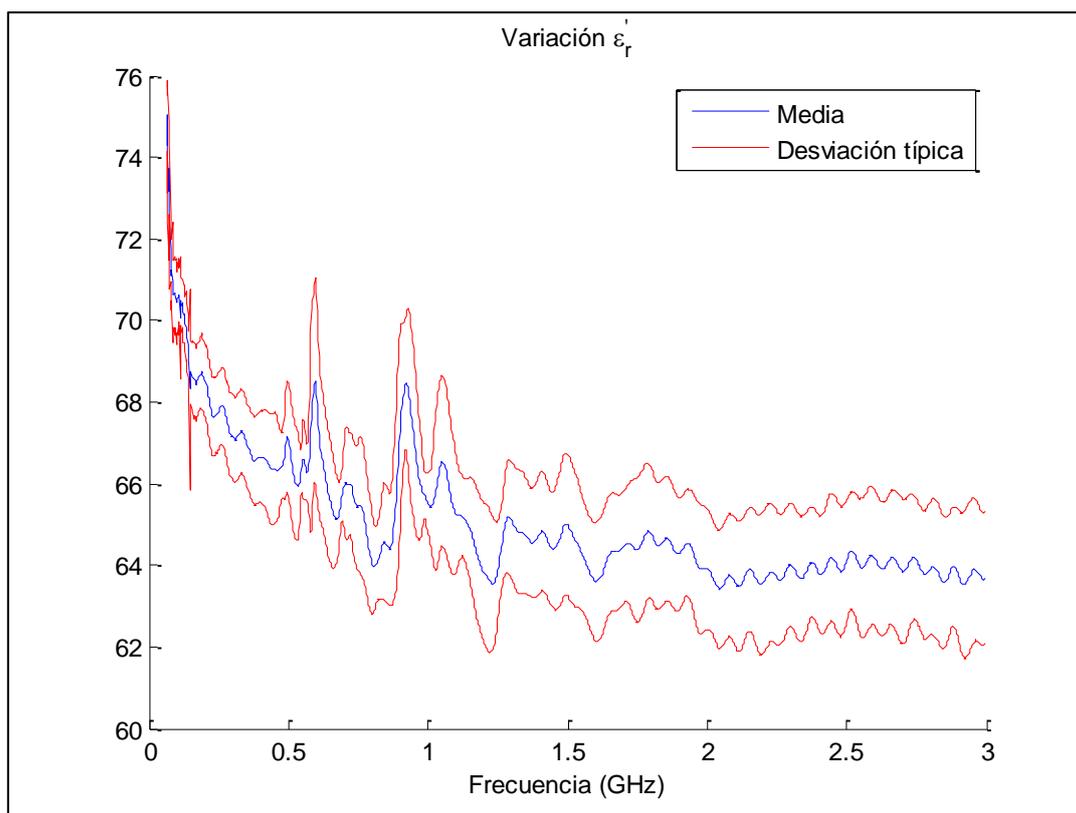


Figura 60. Variación de la constante dieléctrica

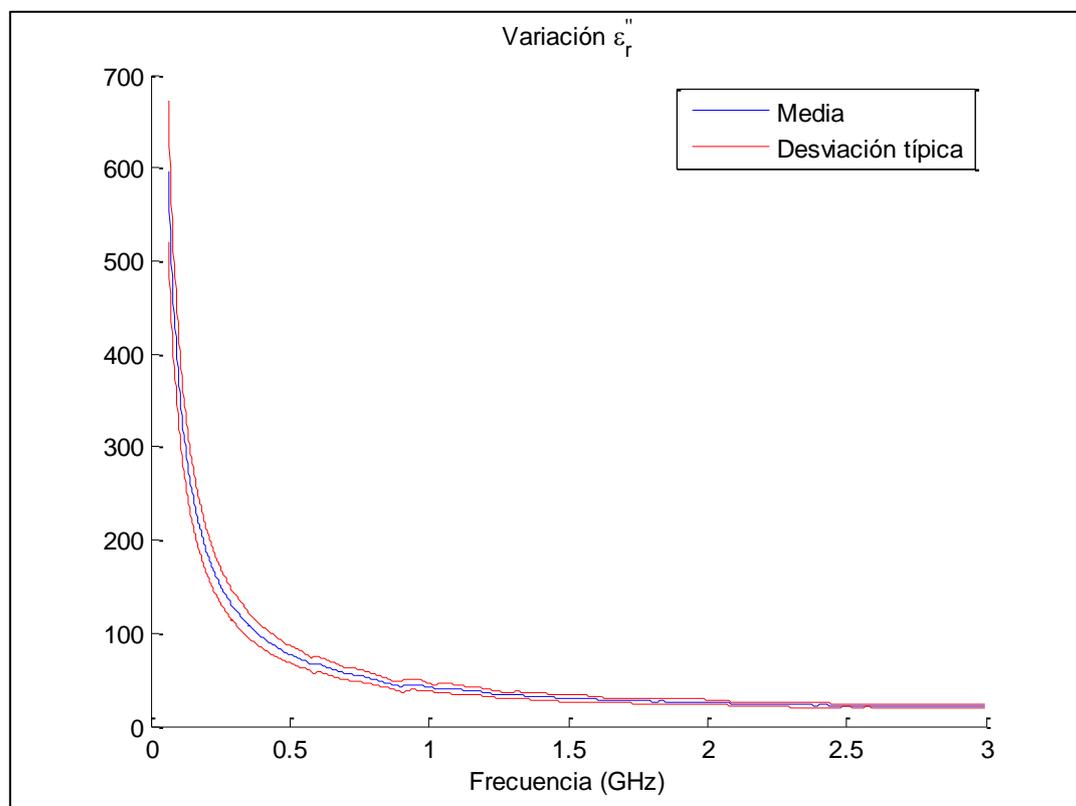


Figura 61. Variación del factor de pérdidas

A esta temperatura únicamente se tienen medidas de cuatro muestras de batido rojo, por lo que el análisis se realiza sobre dichas muestras.

- MUESTRAS MEDIDAS A 55°C:

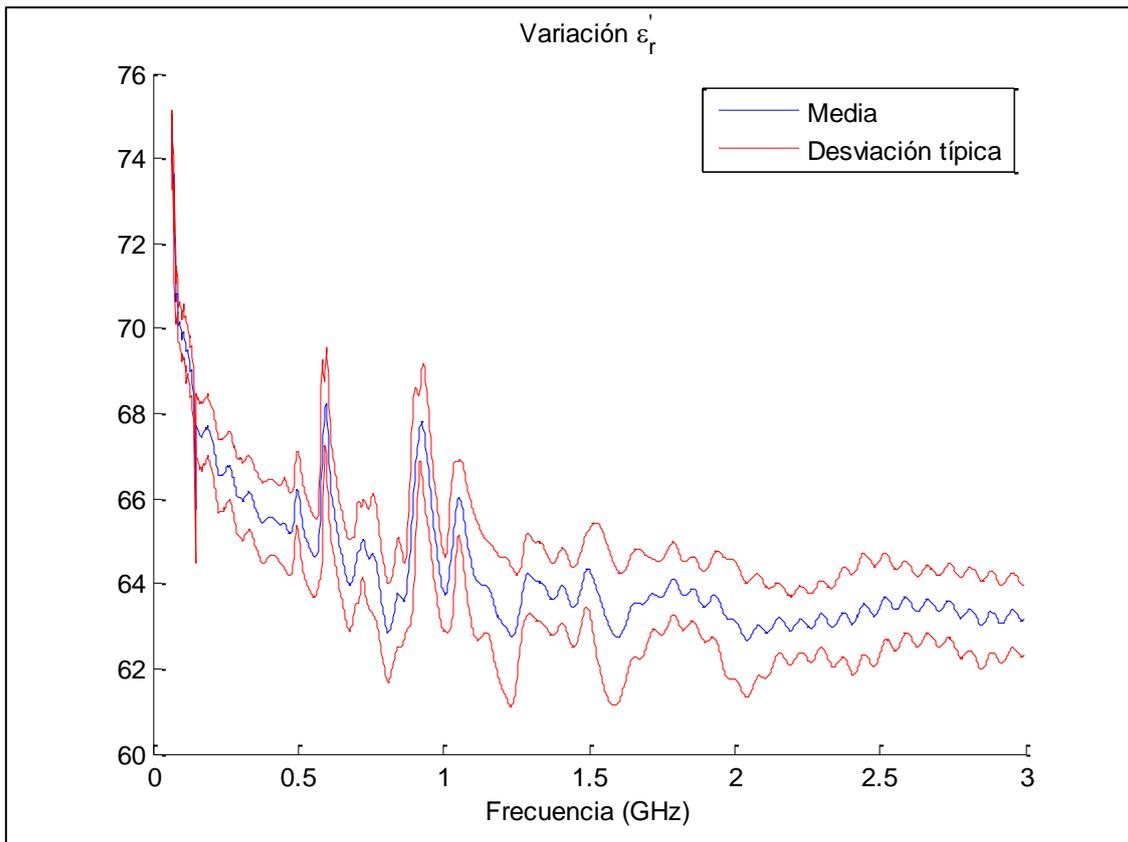


Figura 62. Variación de la constante dieléctrica

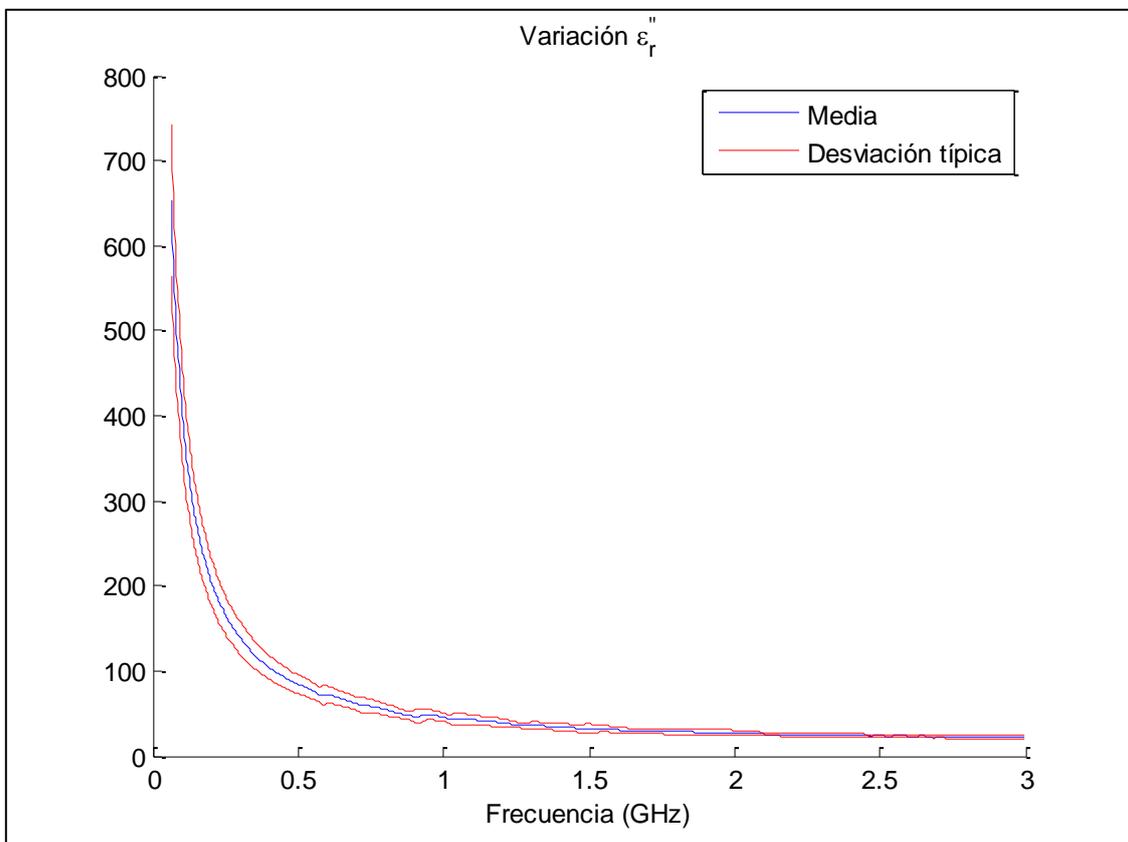


Figura 63. Variación del factor de pérdidas

- MUESTRAS MEDIDAS A 60°C:

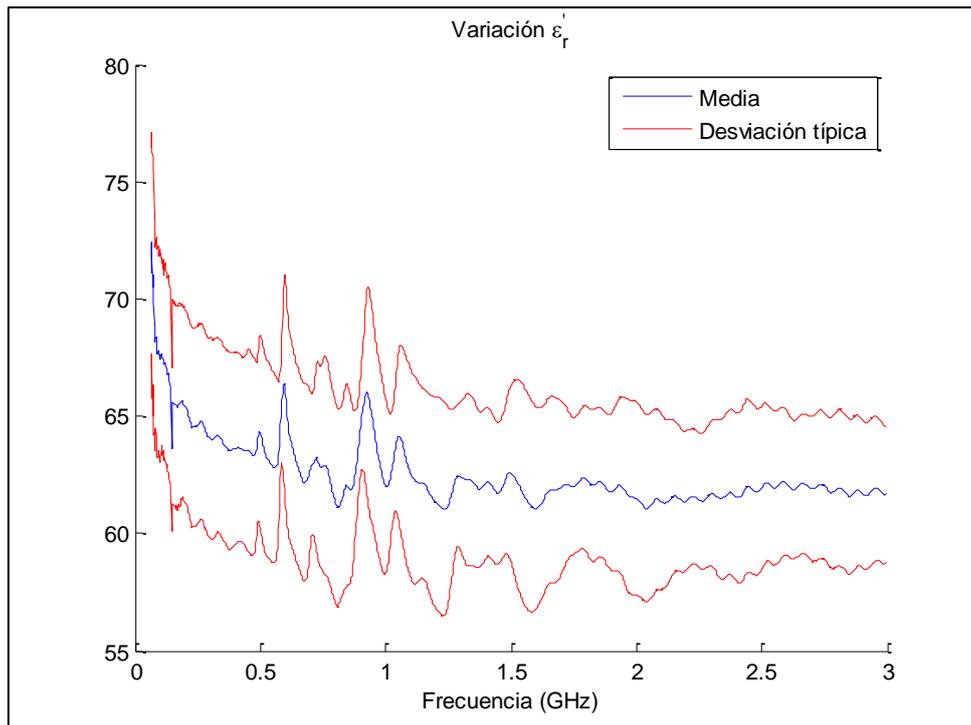


Figura 64. Variación de la constante dieléctrica

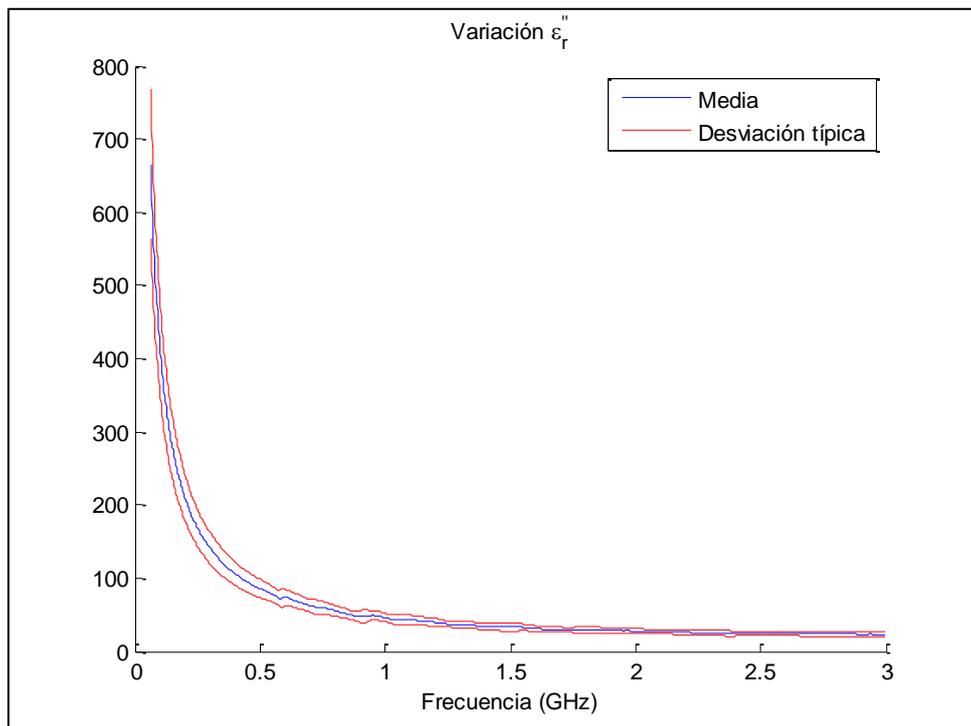


Figura 65. Variación del factor de pérdidas

Para las dos últimas temperaturas, 55°C y 60°C, únicamente se tienen medidas de tres muestras de batido rojo, por lo que el análisis se realiza sobre dichas muestras.

El código del programa empleado para realizar dichos cálculos se encuentra en el *ANEXO I*.

Los resultados obtenidos para todas las temperaturas se han realizado eliminando datos anómalos, que generalmente son a frecuencias de 10MHz.

Se puede observar en las figuras de la 52 a la 65 cómo la desviación típica de la parte real oscila entre ± 2 el valor de la media, para todas las temperaturas. En la parte imaginaria, se aprecia que existe una mayor desviación típica sobre los 300MHz, con un valor a aproximado de ± 10 el valor de la media.

5.4. MÉTODOS DEBYE, COLE-COLE Y HAVRILIAK-NEGAMI.

Por último, como ya se ha mencionado, se miden las propiedades dieléctricas de batidos comerciales en el rango de frecuencias de 10MHz a 20GHz y a temperatura ambiente.

Se obtienen las siguientes gráficas (figuras 66 a 73):

- GAZPACHO:

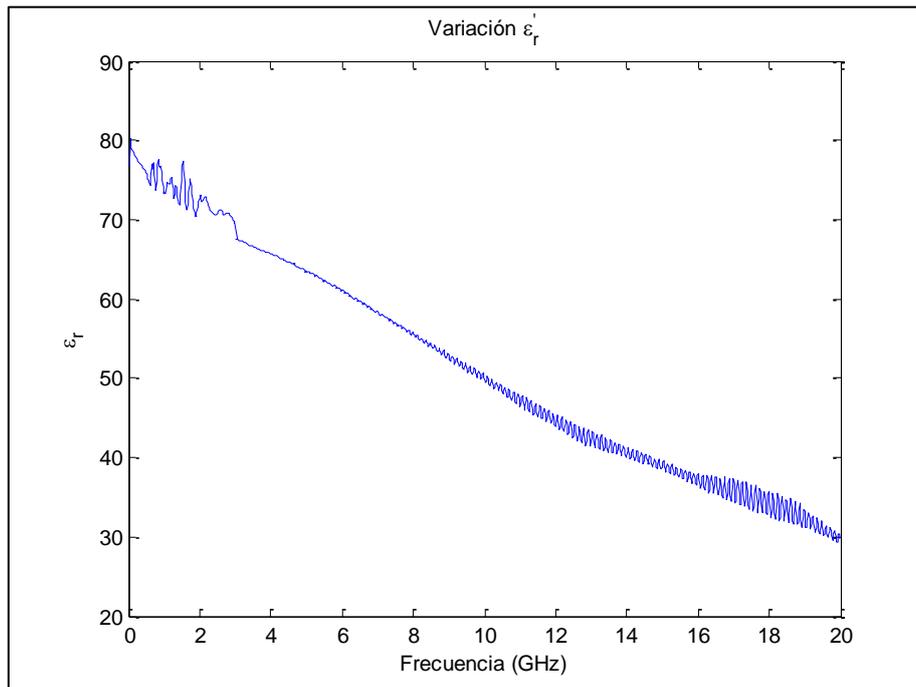


Figura 66. Variación de la constante dieléctrica

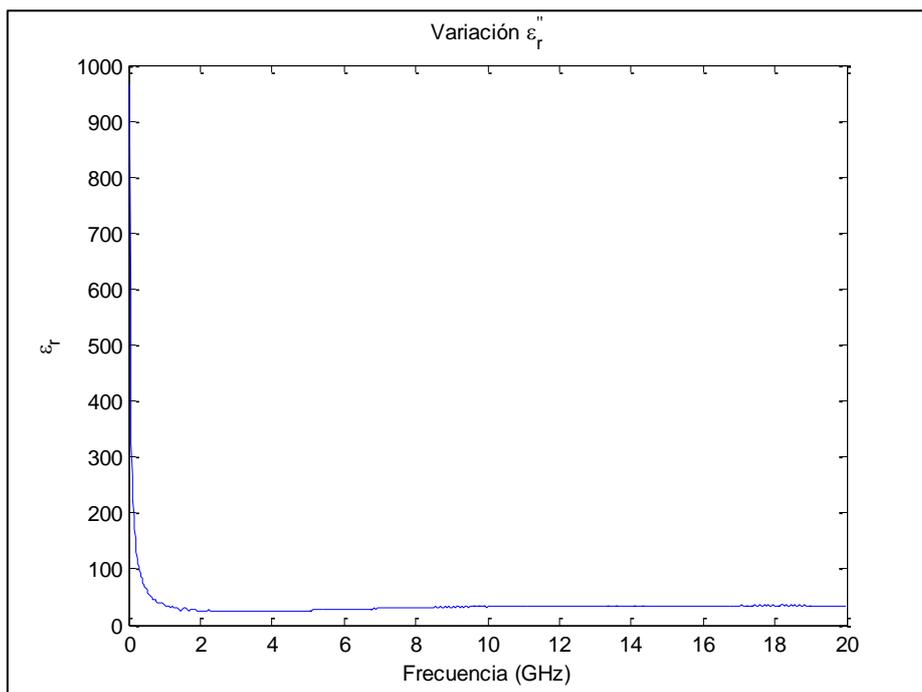


Figura 67. Variación del factor de pérdidas

- SALMOREJO:

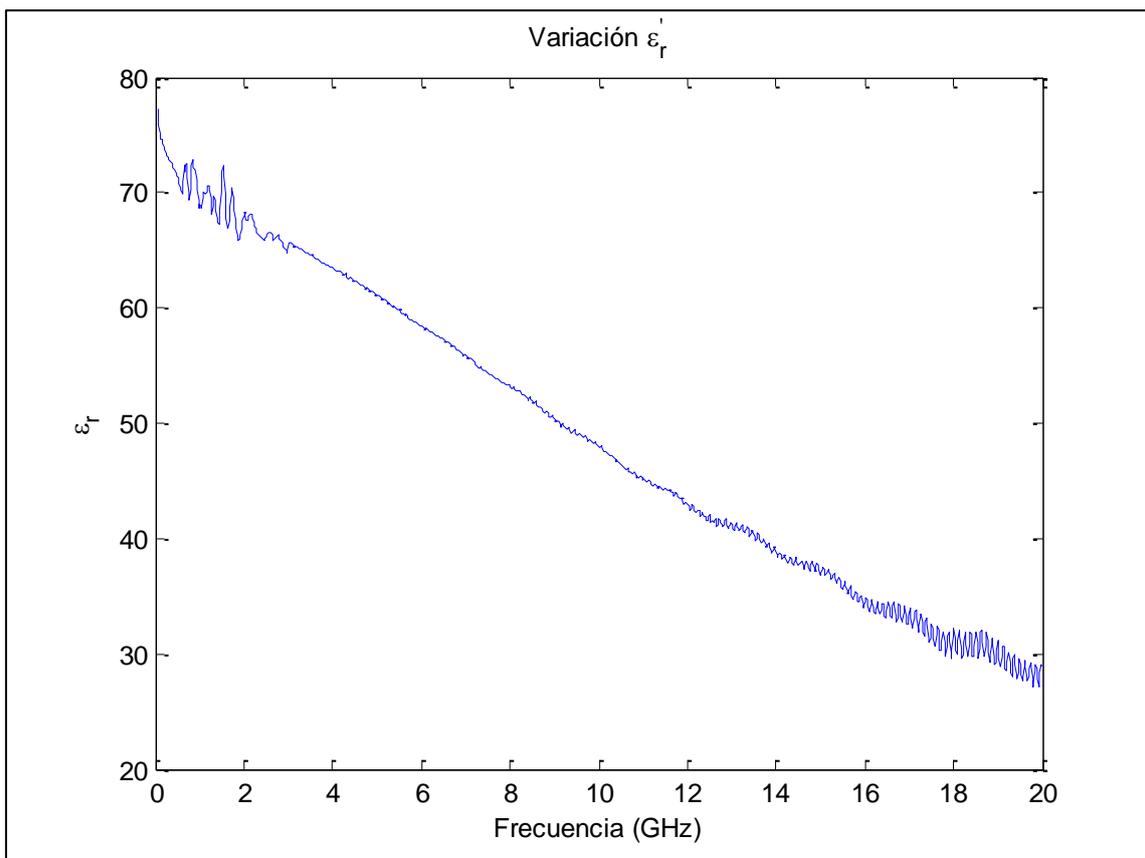


Figura 68. Variación de la constante dieléctrica

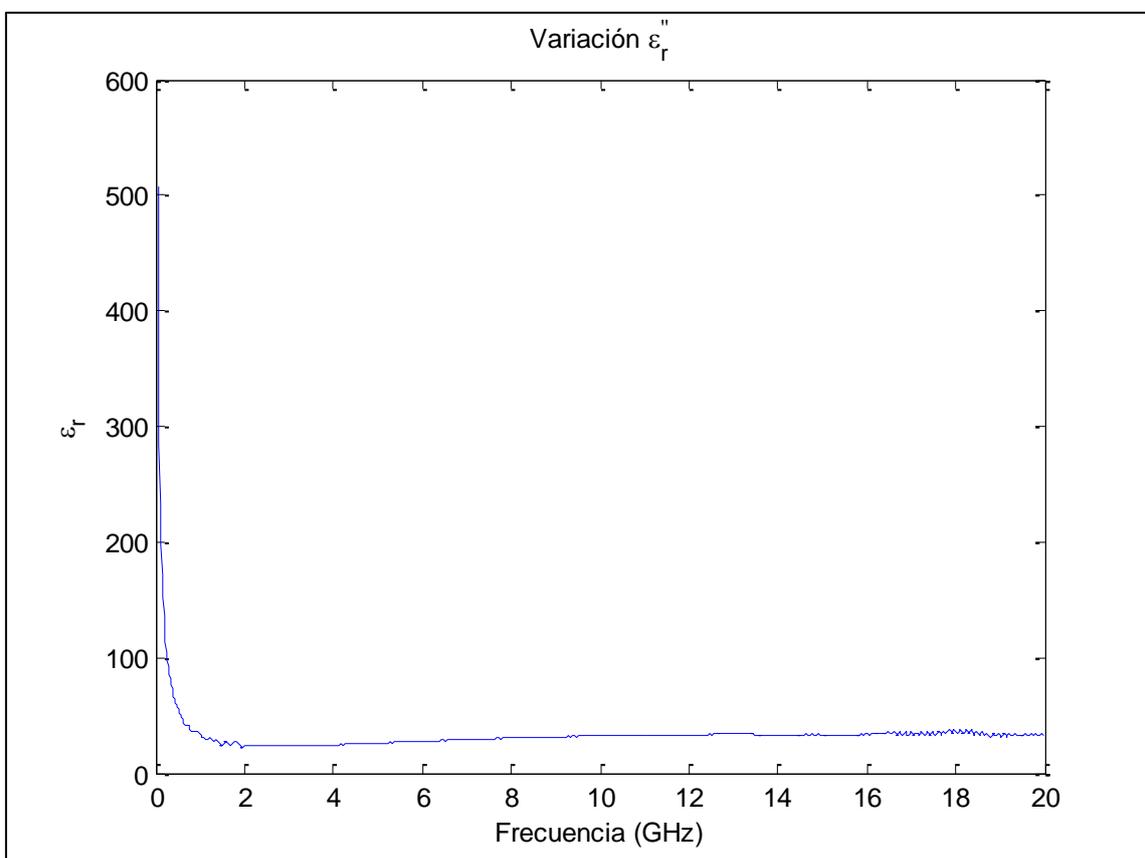


Figura 69. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE TOMATE:

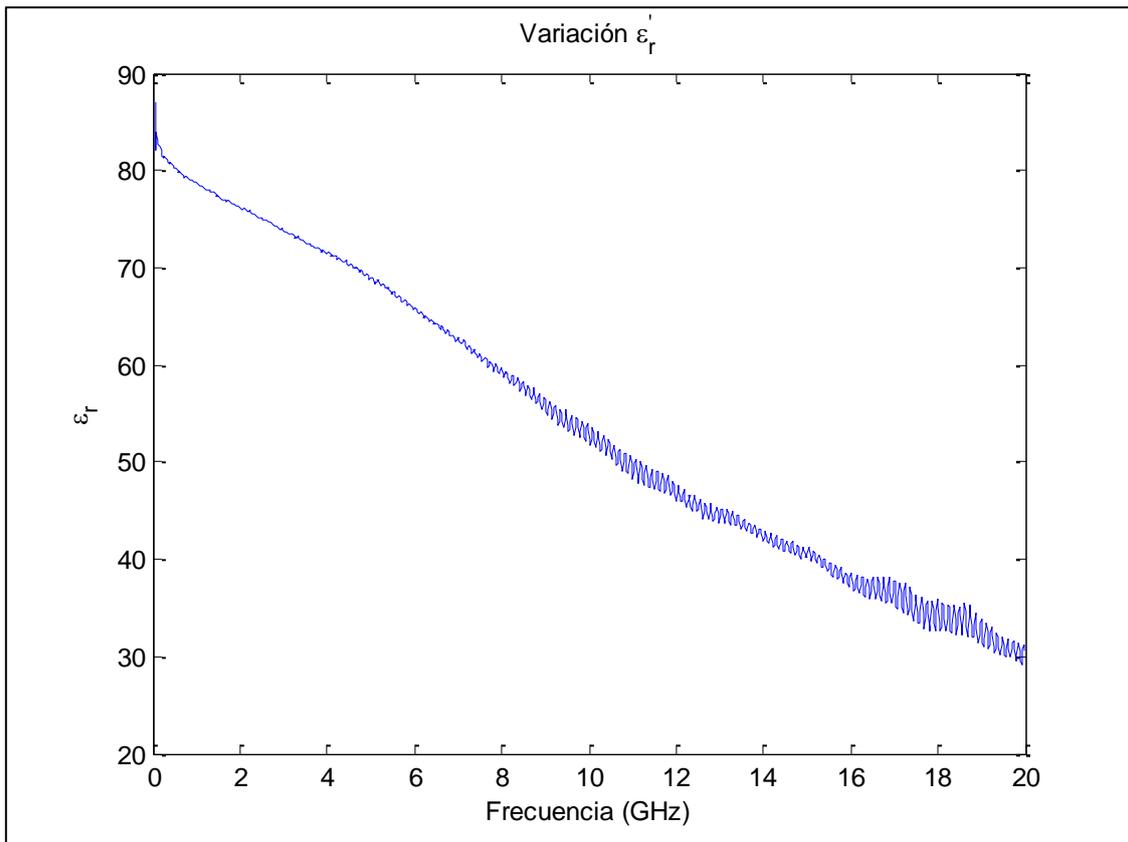


Figura 70. Variación de la constante dieléctrica

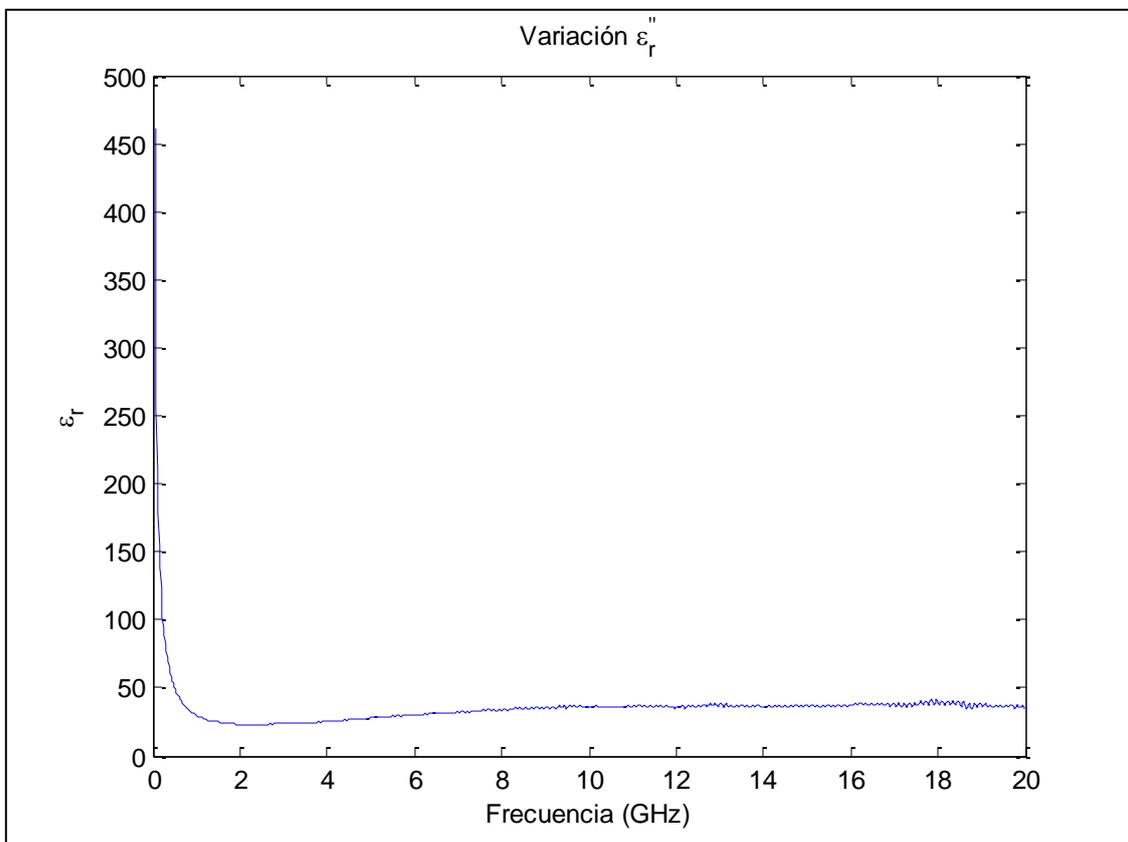


Figura 71. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE NARANJA:

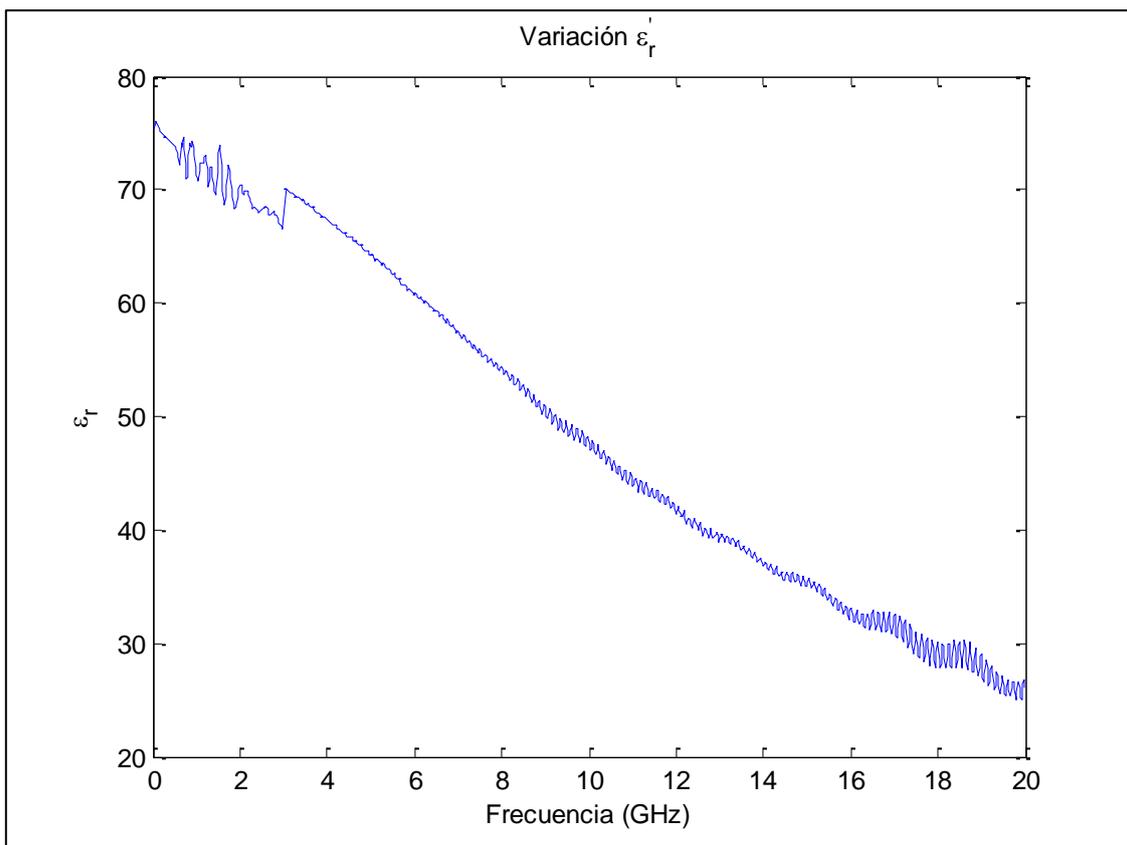


Figura 72. Variación de la constante dieléctrica

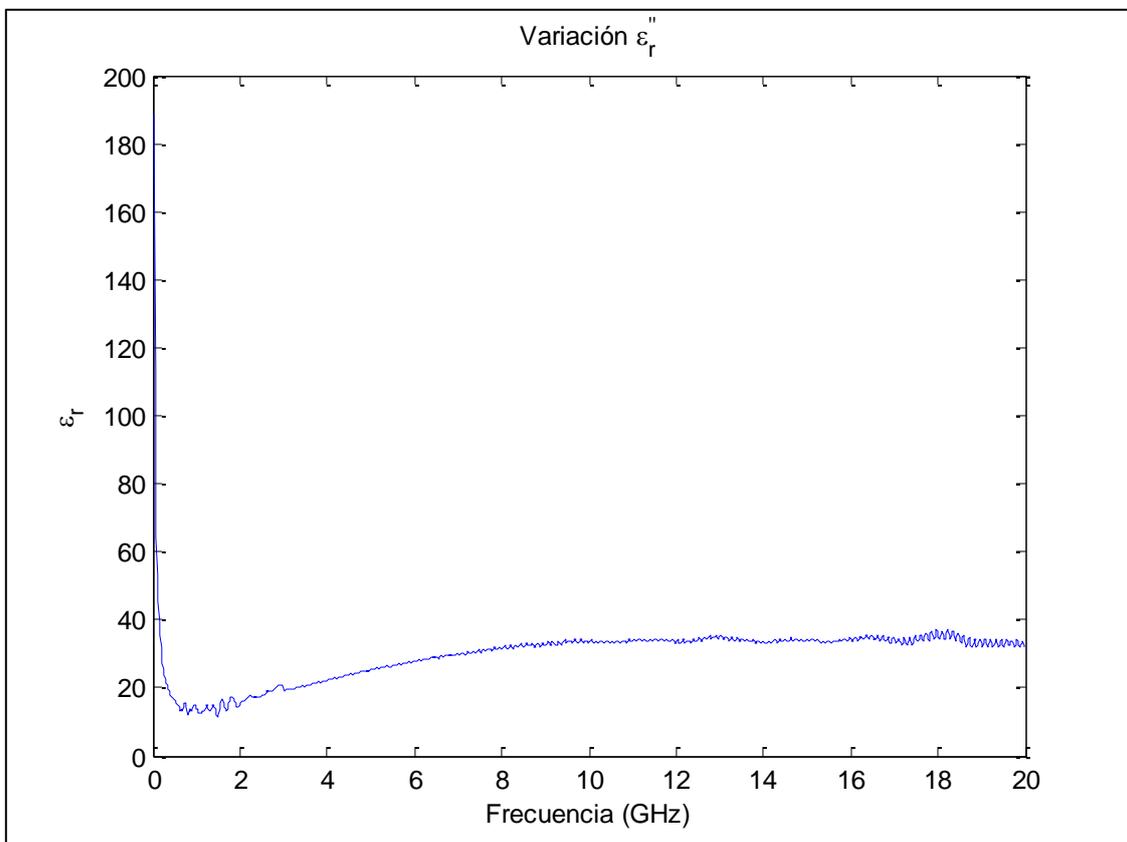


Figura 73. Variación del factor de pérdidas

A continuación se implementan los métodos de Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami, vistos en el *Capítulo 2*, para comprobar si los distintos batidos siguen el comportamiento que se espera.

Para ello, se realiza en Matlab un programa que, mediante algoritmos genéticos, debe ser capaz de estimar los parámetros del método que se esté estudiando en cada caso, a partir de los valores medidos que se tienen de los distintos batidos.

La función de evaluación que se ha empleado es la media del valor absoluto al cuadrado de la diferencia entre el valor medido y el valor estimado. Los algoritmos genéticos han empleado alrededor de 200 generaciones y una población alrededor de 1000.

Los límites han oscilado entre: para la constante dieléctrica entre 1-100, para el factor de pérdidas entre 0-100, para la constante de tiempo entre 10^{-14} - 10^{-10} (s), la conductividad entre 0-10(S/m) y las constantes de Cole-Cole y Havriliak-Negami entre 0-1.5.

Dicho programa inicialmente se prueba con agua destilada y para el modelo de Debye, ya que se conocen los datos teóricos del modelo de Debye para el agua destilada, y el resto de modelos son creados a partir de éste. Así, se mide con ambas sondas una muestra de agua destilada, para obtener las propiedades dieléctricas de 10MHz a 20GHz, y se comprueba que el programa es capaz de calcular los valores correctos del modelo únicamente con una muestra hasta 20GHz.

Los resultados que se obtienen son los siguientes:

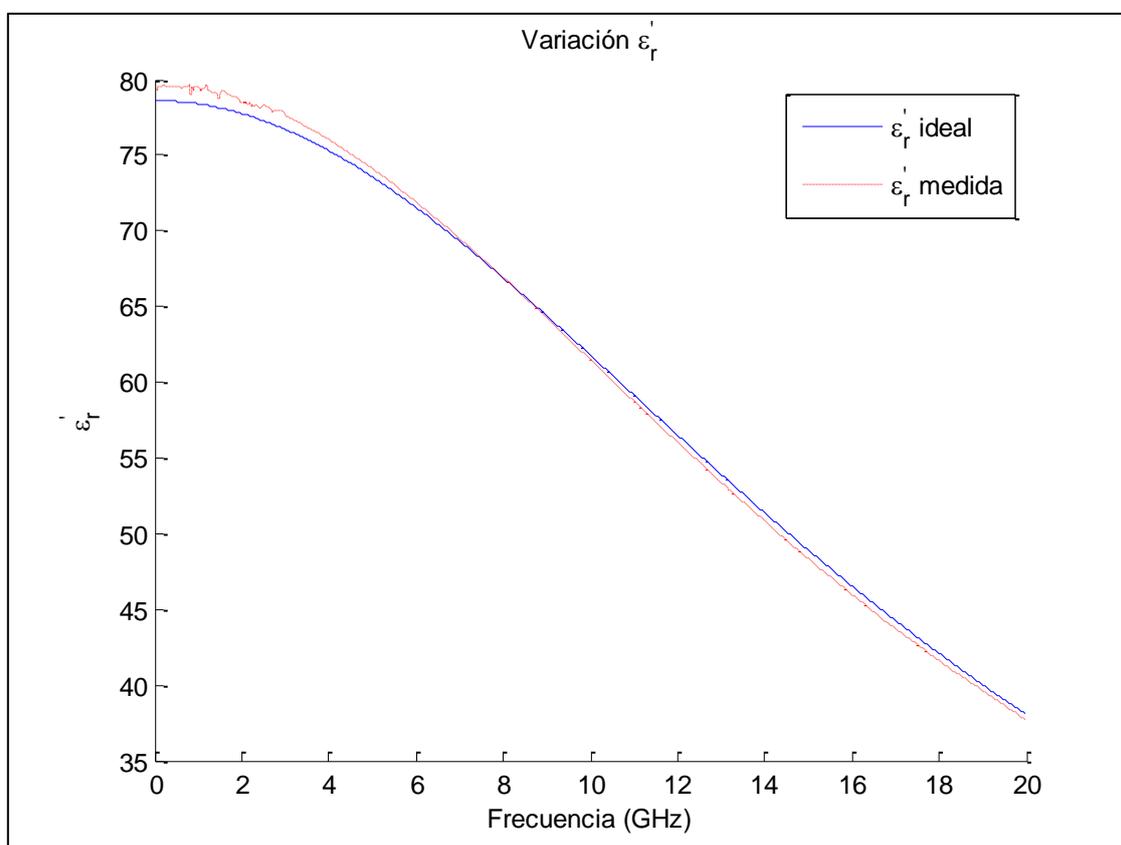


Figura 74. Variación de la constante dieléctrica

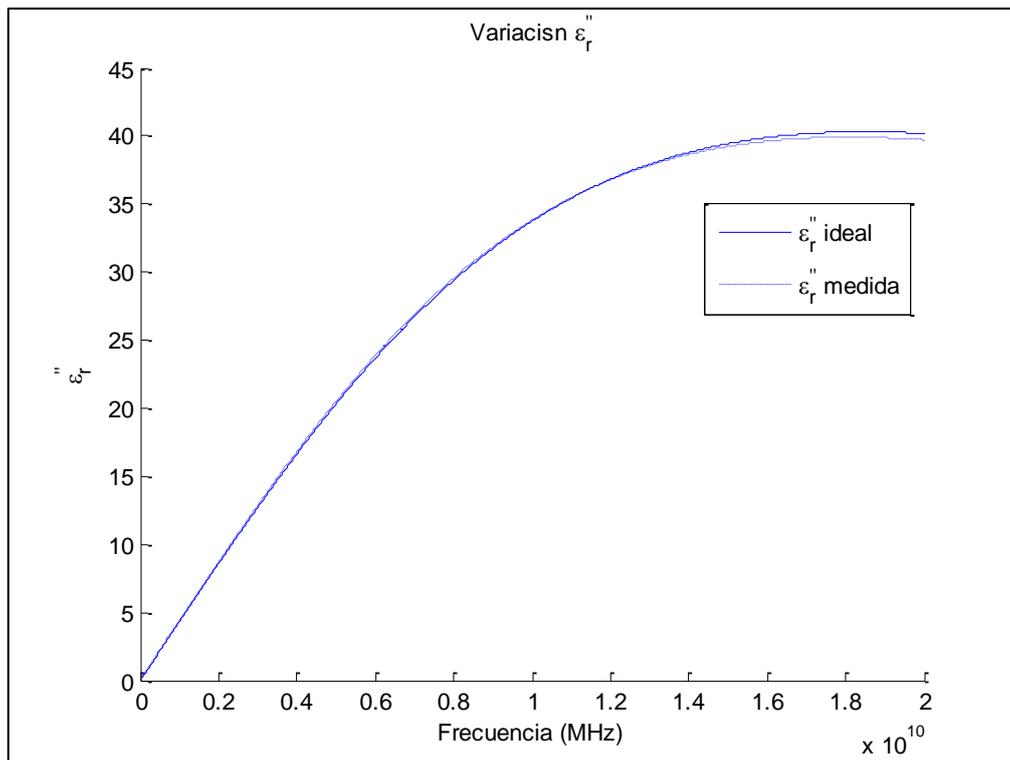


Figura 75. Variación del factor de pérdidas

Como se observa en las figuras 74 y 75, se consigue que la representación se ajuste con un mínimo error.

Además, si se comparan los datos teóricos con los obtenidos observamos en la tabla 8 que la correspondencia es excelente:

	<i>Agua destilada</i>			
	$\epsilon_r(0)$	$\epsilon_r(\infty)$	Constante de tiempo (τ)	Conductividad (σ)
<i>Datos teóricos</i>	81.5	1.37	8.8ps	0
<i>Valores medidos</i>	78.612	2.11	8.447ps	0.00011

Tabla 8. Comparativa

Por lo que se puede confirmar que el programa realizado cumple su función, y es capaz de estimar los parámetros de los distintos modelos correctamente, teniendo únicamente medidas hasta 20GHz.

A continuación, se aplica dicho programa implementado para los métodos de Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami a los batidos comerciales, para estudiar el comportamiento de dichos batidos.

5.4.1. Método de Debye

Se muestran a continuación los resultados obtenidos con los distintos batidos, mediante el método de Debye para la mejor solución (figuras 76 a 83).

- GAZPACHO:

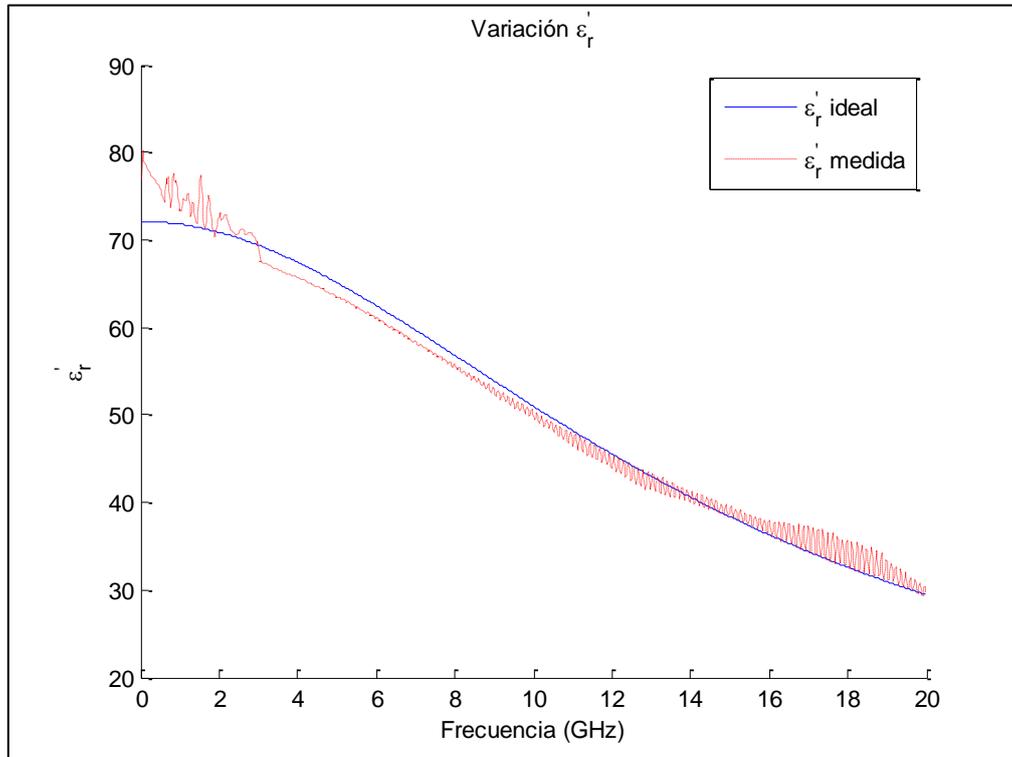


Figura 76. Variación de la constante dieléctrica

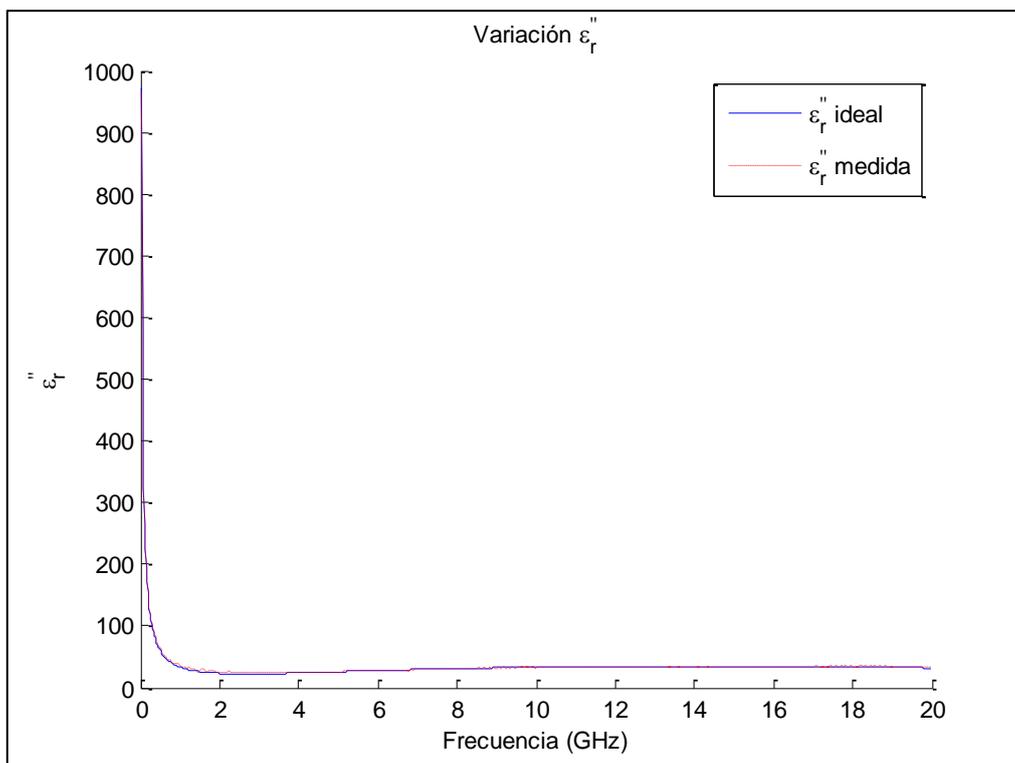


Figura 77. Variación del factor de pérdidas

- SALMOREJO:

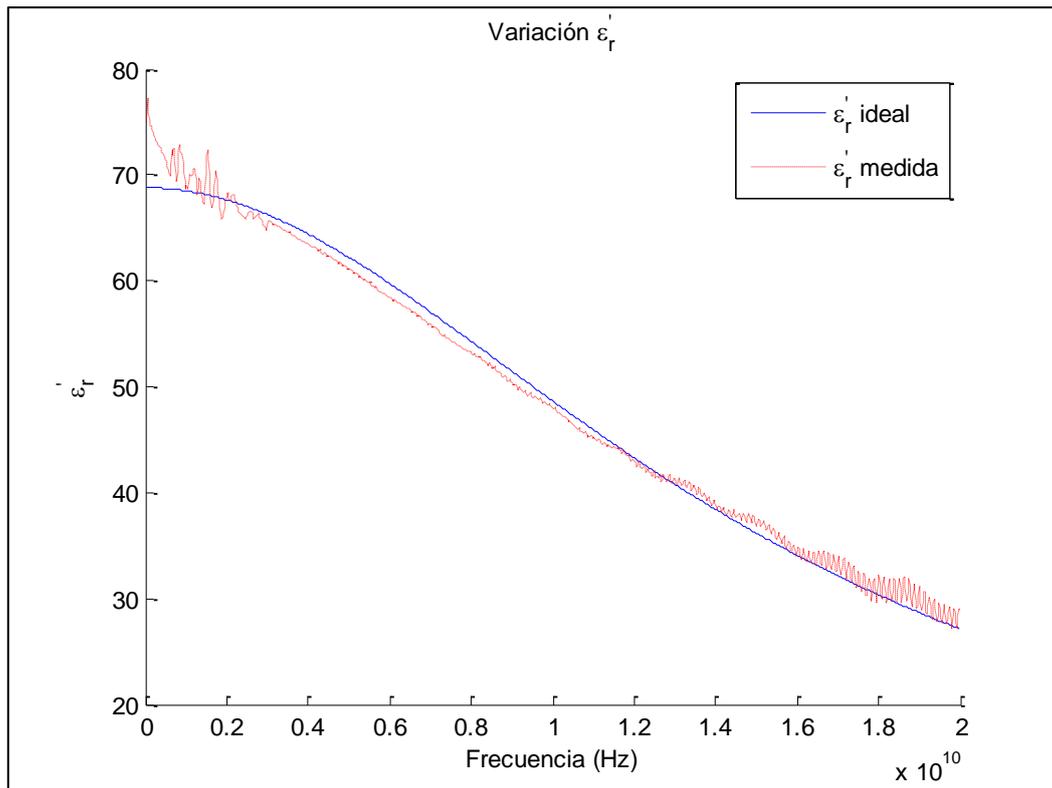


Figura 78. Variación de la constante dieléctrica

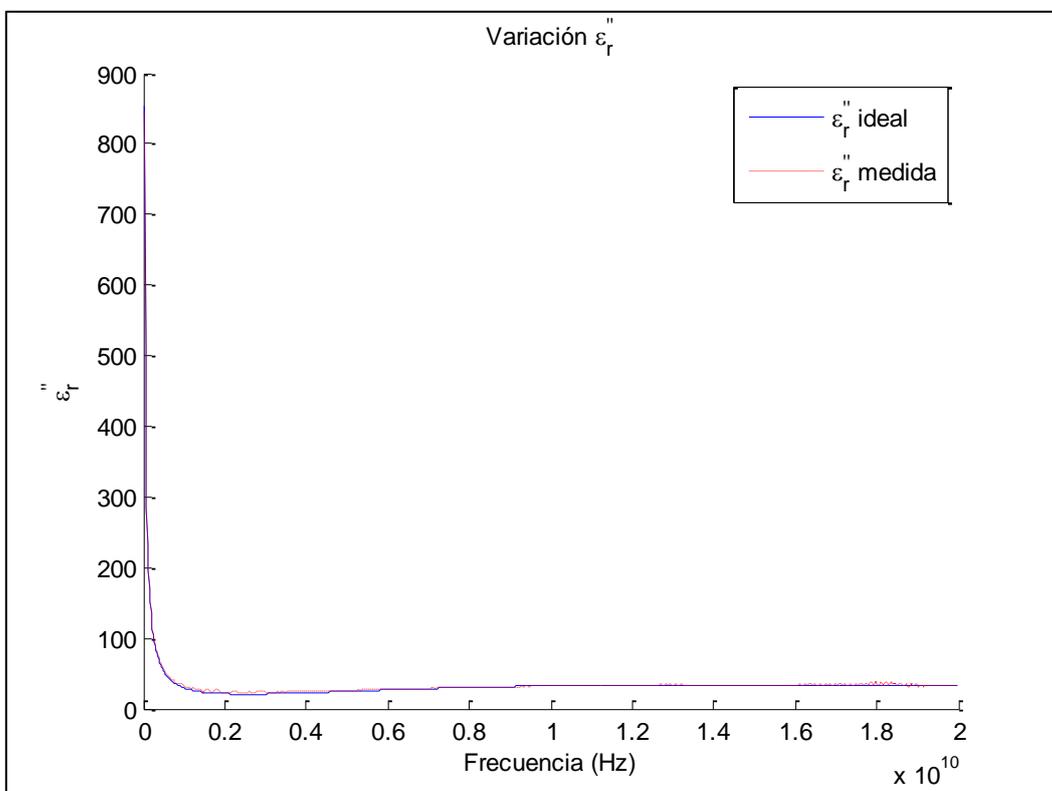


Figura 79. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE TOMATE:

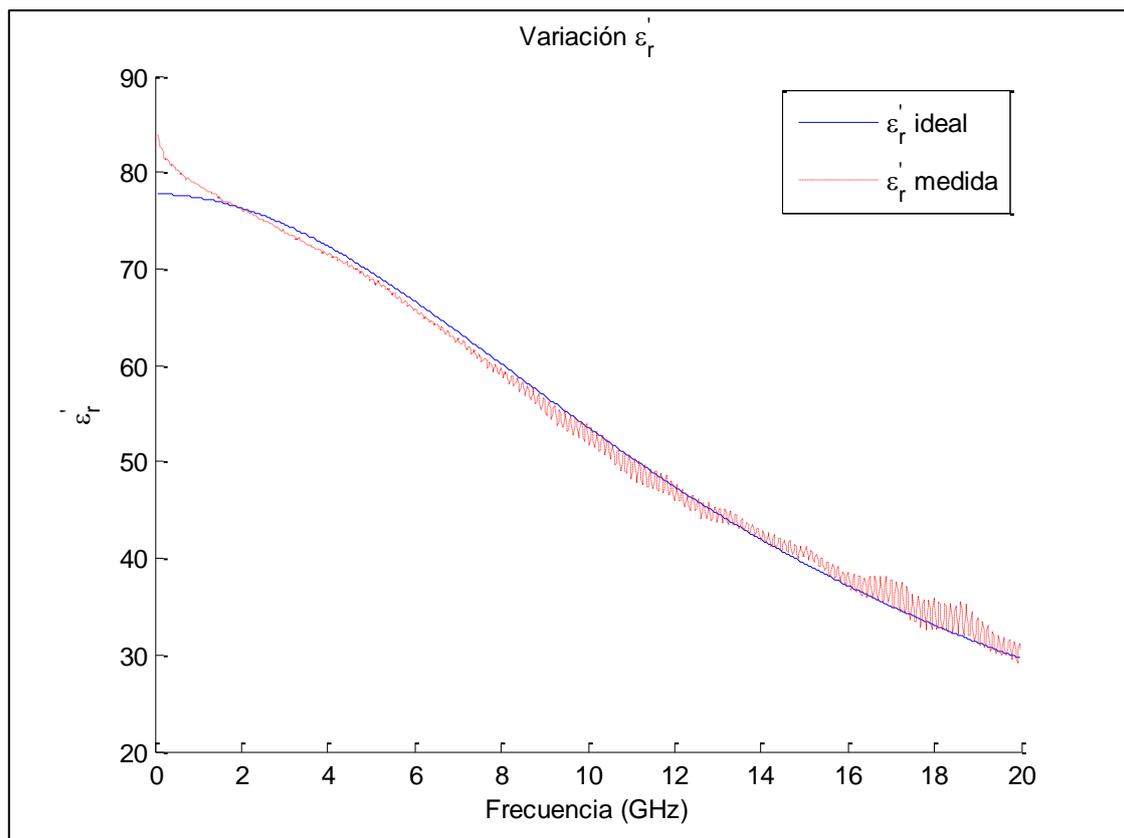


Figura 80. Variación de la constante dieléctrica

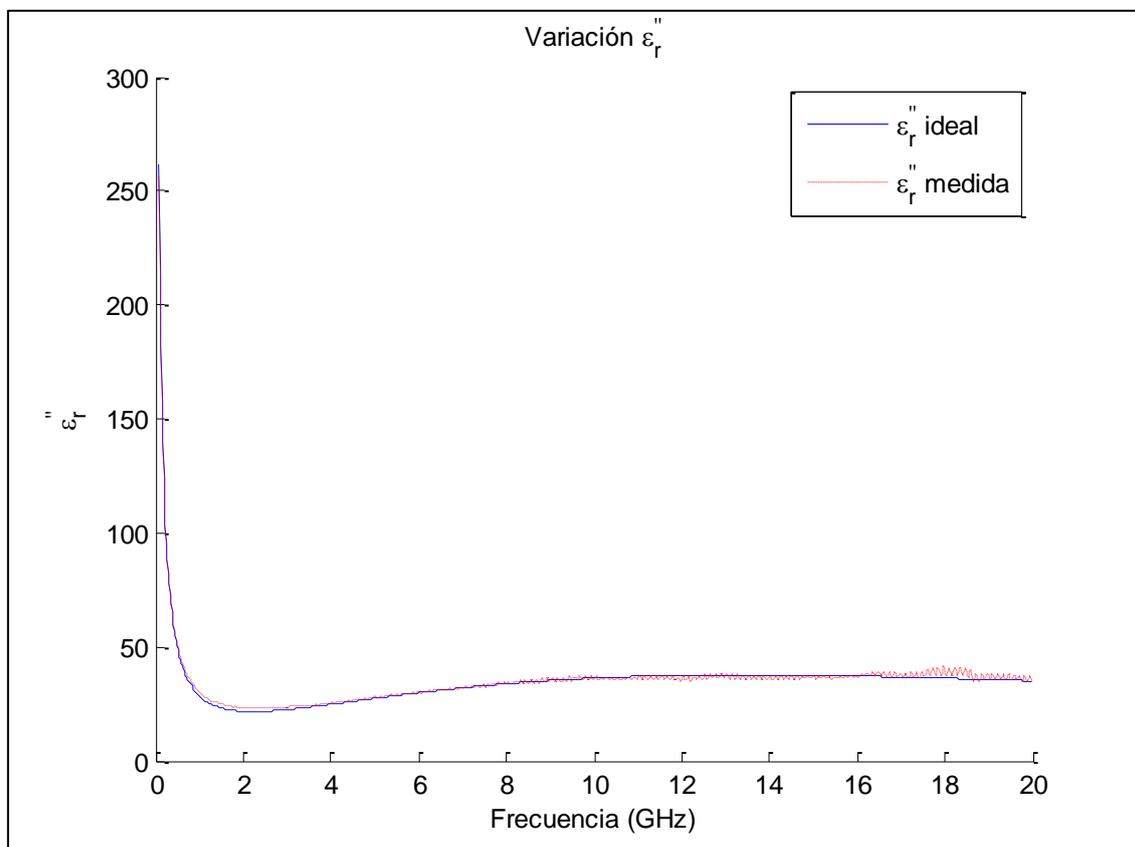


Figura 81. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE NARANJA:

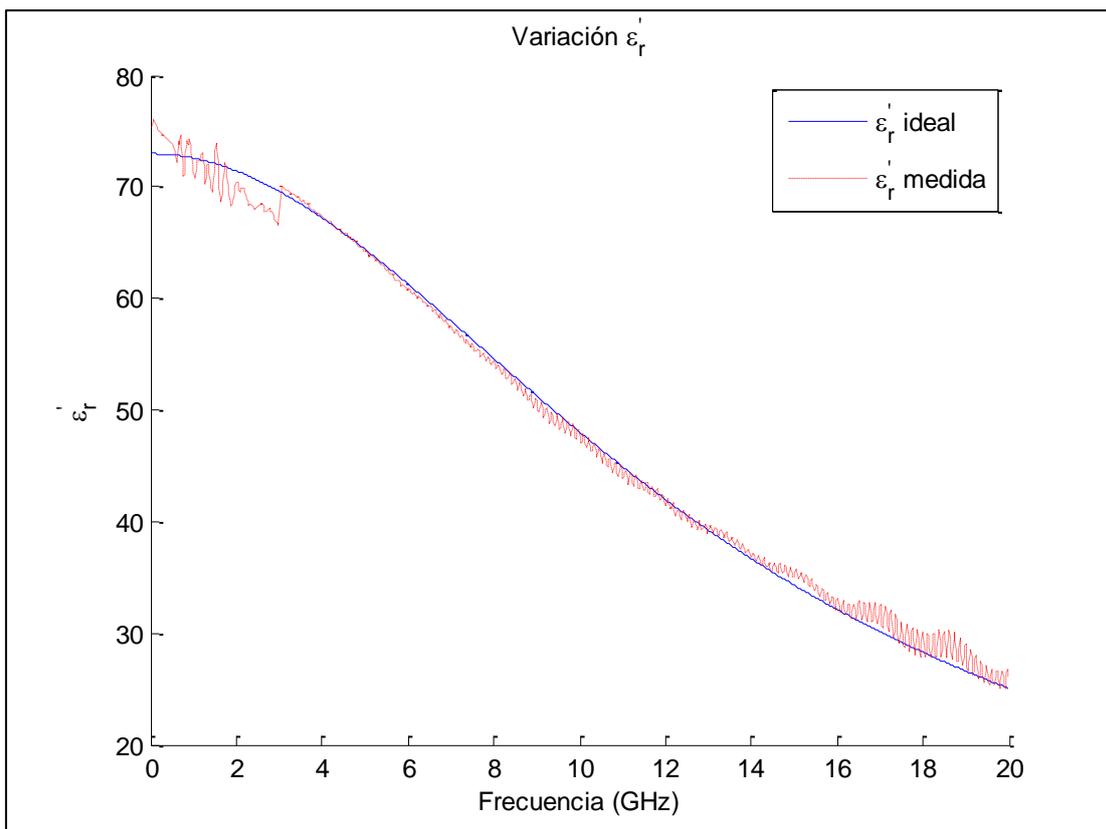


Figura 82. Variación de la constante dieléctrica

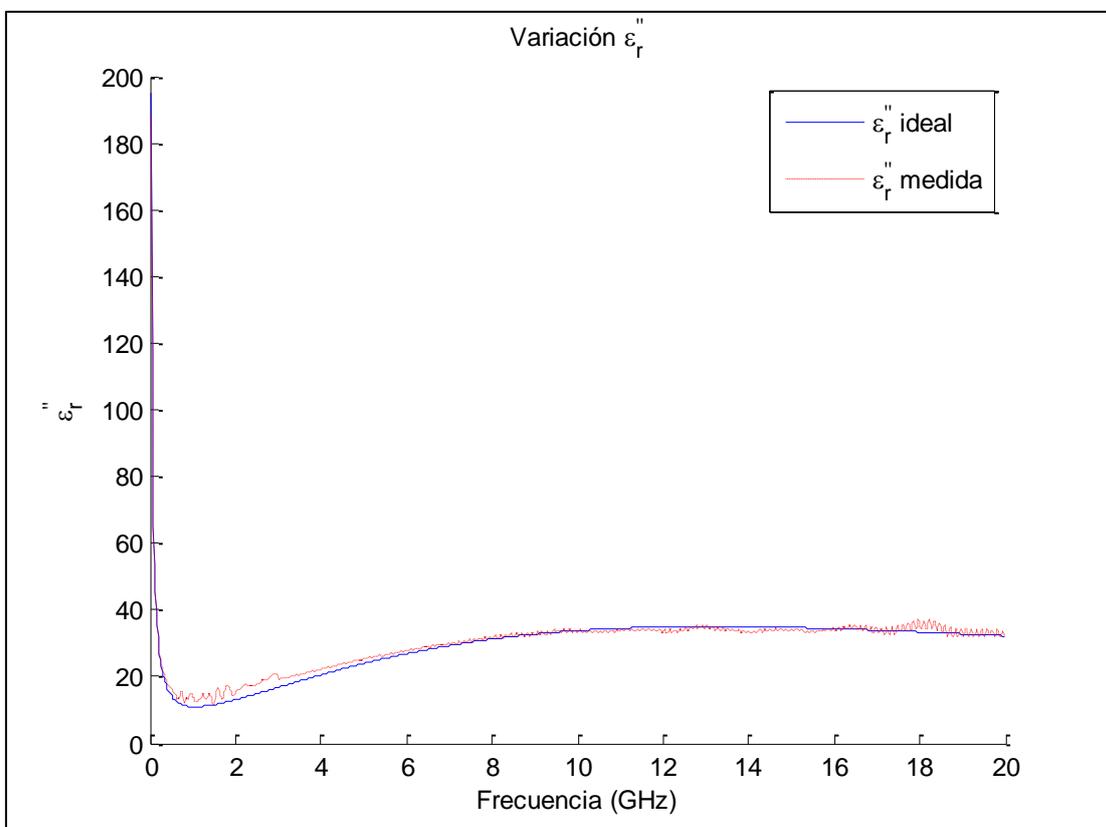


Figura 83. Variación del factor de pérdidas

Obteniendo la siguiente estimación de parámetros en la tabla 9:

	$\varepsilon_r(0)$	$\varepsilon_r(\infty)$	<i>Constante de tiempo</i> (τ)	<i>Conductividad</i> (σ)	<i>Función de evaluación</i> (<i>fval</i>)
<i>Gazpacho</i>	72.099	7.3746	11.0605ps	1.6224	0.0705152
<i>Salmorejo</i>	69.1195	4.8106	10.9158ps	1.435	0.0629433
<i>Zumo de tomate</i>	77.6845	5.6281	11.2565ps	1.3077	0.557160
<i>Zumo de naranja</i>	72.788	3.4824	11.830ps	0.325	0.0591073

Tabla 9 - Parámetros método Debye

5.4.1. Método de Cole-Cole

Al igual que con el método anterior, se muestran a continuación los resultados obtenidos aplicando el método de Cole-Cole a los mismos batidos estudiados con Debye (figuras 84 a 91).

- GAZPACHO:

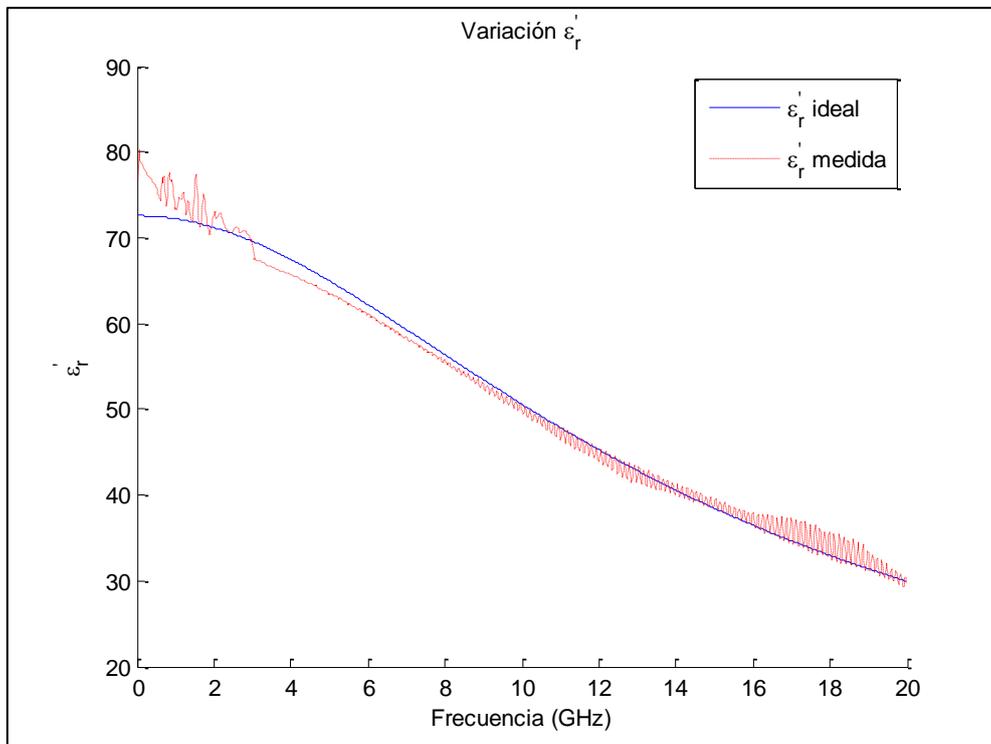


Figura 84. Variación de la constante dieléctrica

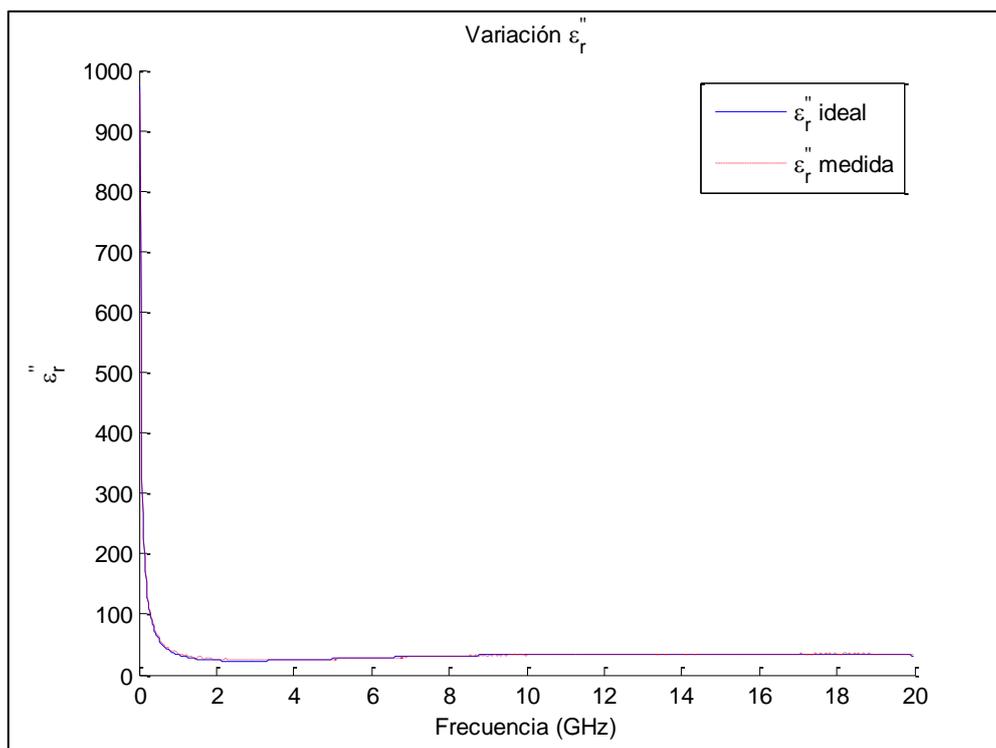


Figura 85. Variación del factor de pérdidas

- SALMOREJO:

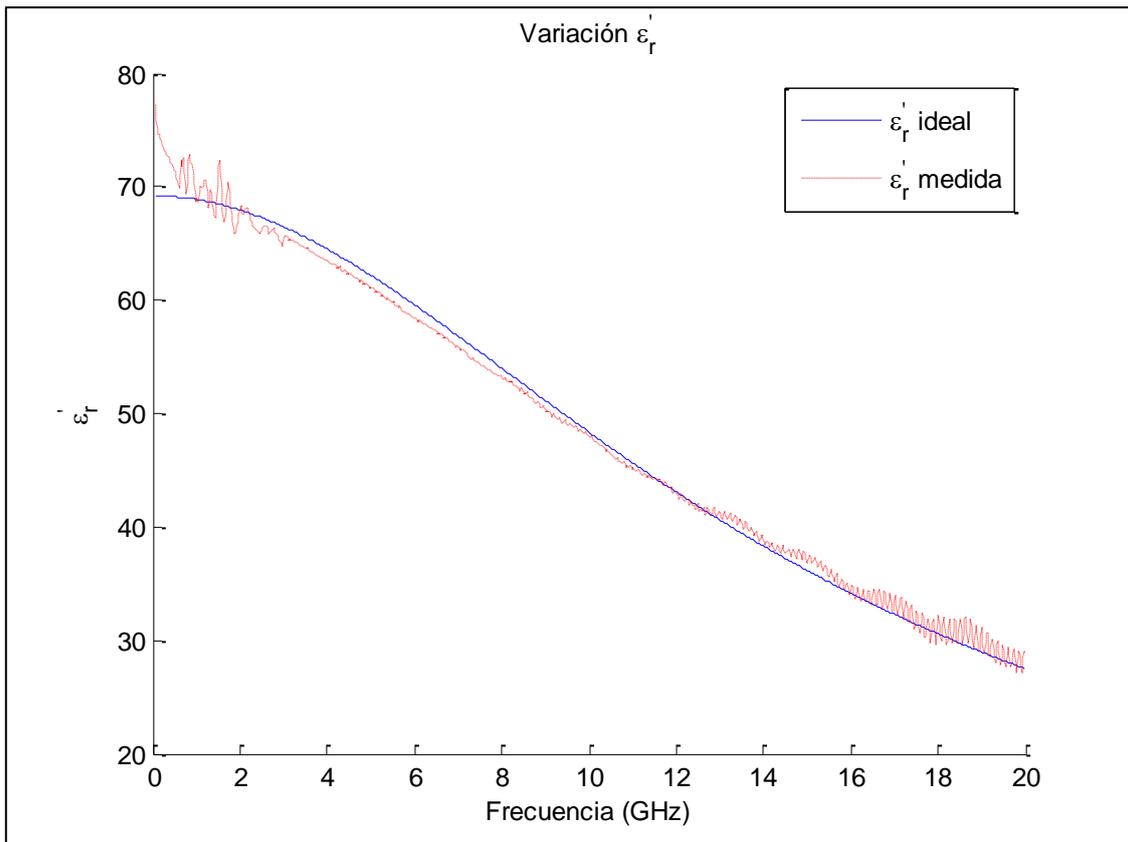


Figura 86. Variación de la constante dieléctrica

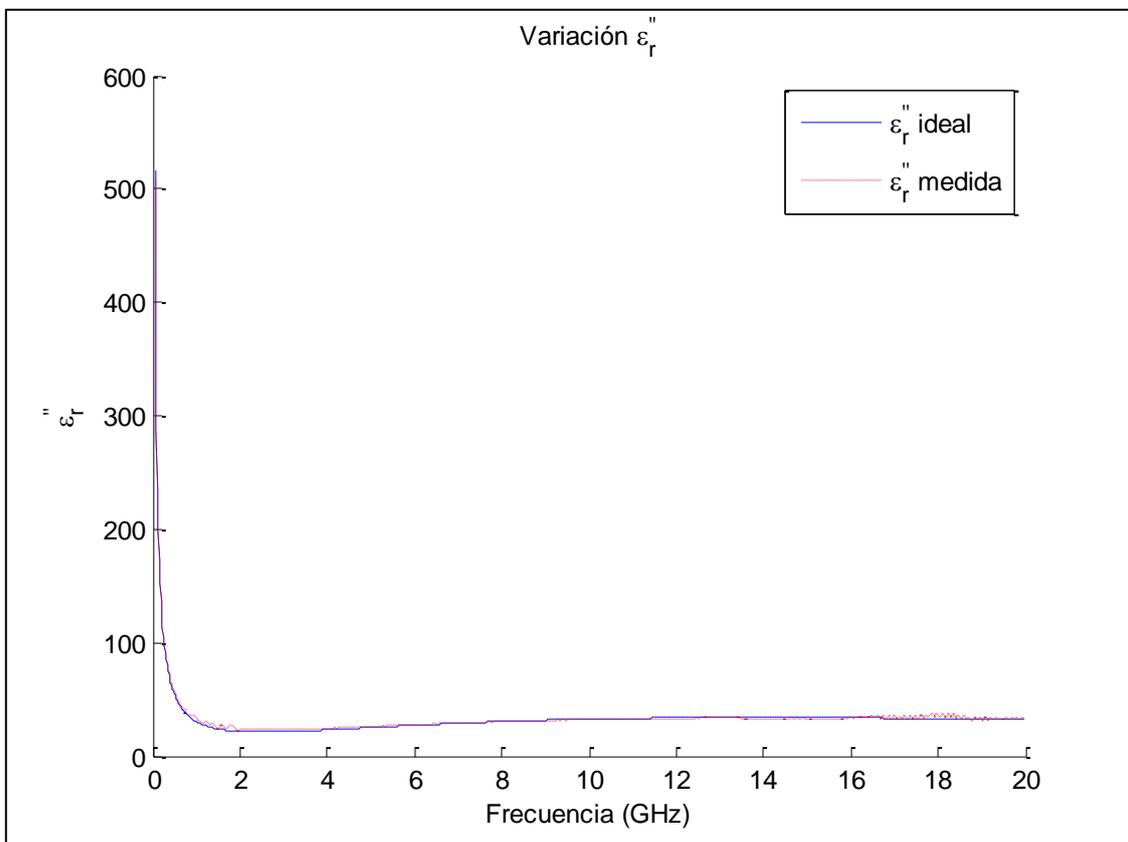


Figura 87. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE TOMATE:

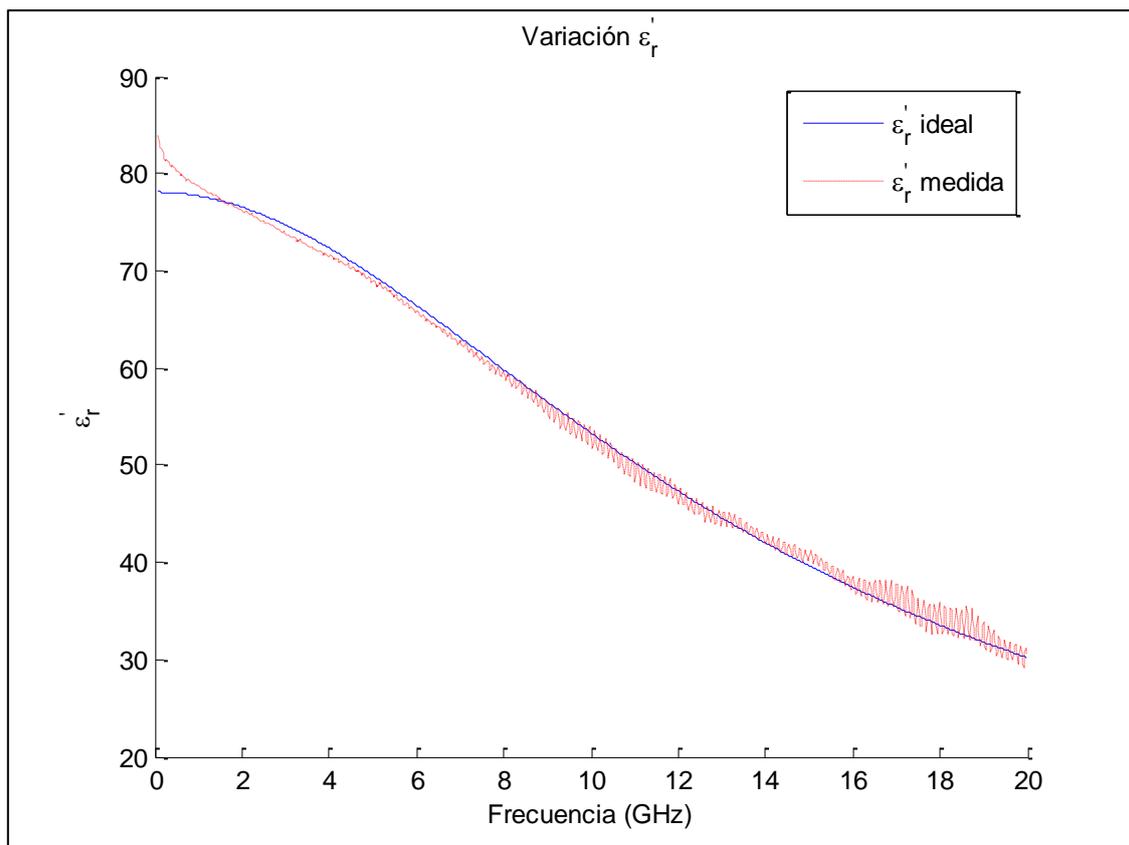


Figura 88. Variación de la constante dieléctrica

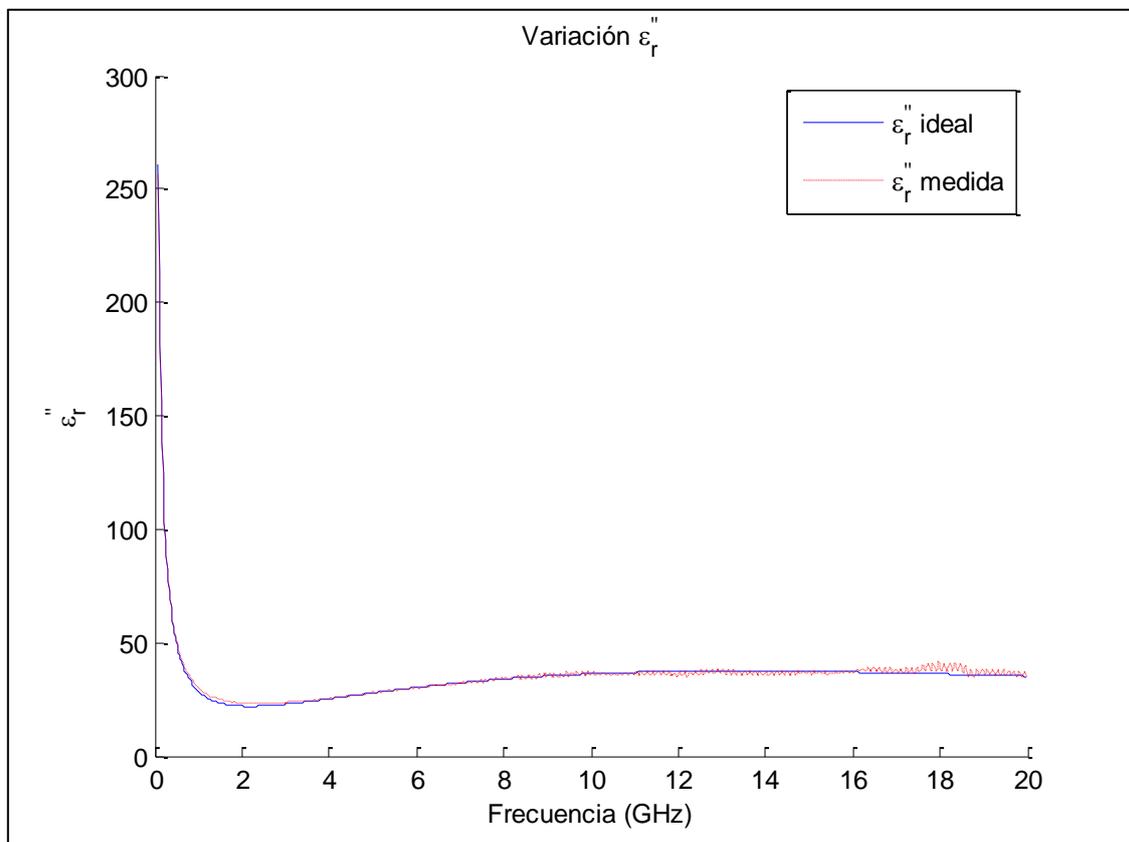


Figura 89. Variación de la constante dieléctrica

- ZUMO DE NARANJA:

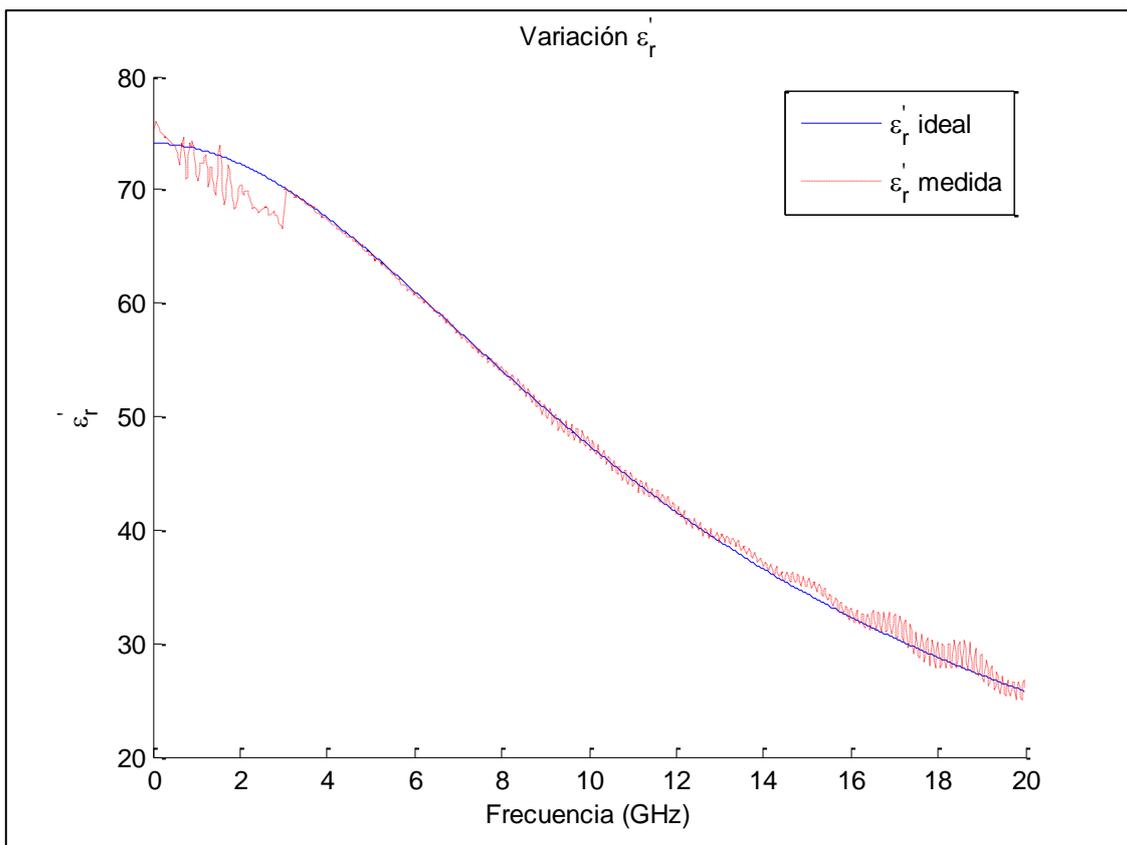


Figura 90. Variación de la constante dieléctrica

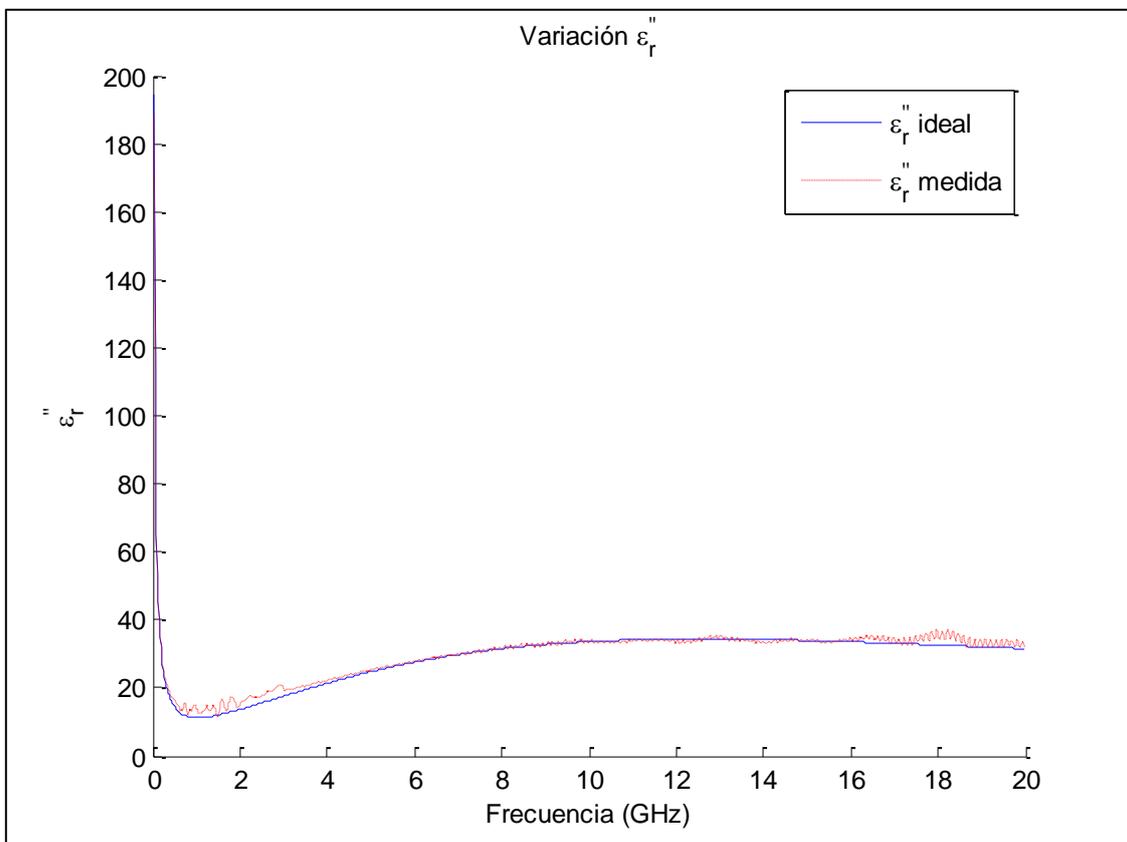


Figura 91. Variación del factor de pérdidas

Obteniendo los siguientes parámetros para dicho método en la tabla 10:

	$\varepsilon_r(0)$	$\varepsilon_r(\infty)$	Constante de tiempo (τ)	v	Conductividad (σ)	Función de evaluación (f_{val})
<i>Gazpacho</i>	72.533	1.8323	13.0166ps	0.1882	1.6213	0.0631457
<i>Salmorejo</i>	69.200	1	11.9542ps	0.1244	1.4342	0.0589953
<i>Zumo de tomate</i>	78.104	1	12.8283ps	0.1524	1.3044	0.0501118
<i>Zumo de naranja</i>	74.076	1	14.1494ps	0.1498	0.3234	0.0541111

Tabla 10 - Parámetros método Cole-Cole

5.4.2. Método de Havriliak-Negami

De nuevo, se repite el proceso. En este caso se aplican los resultados obtenidos al método de Havriliak-Negami para la mejor solución (figuras 92 a 99):

- GAZPACHO:

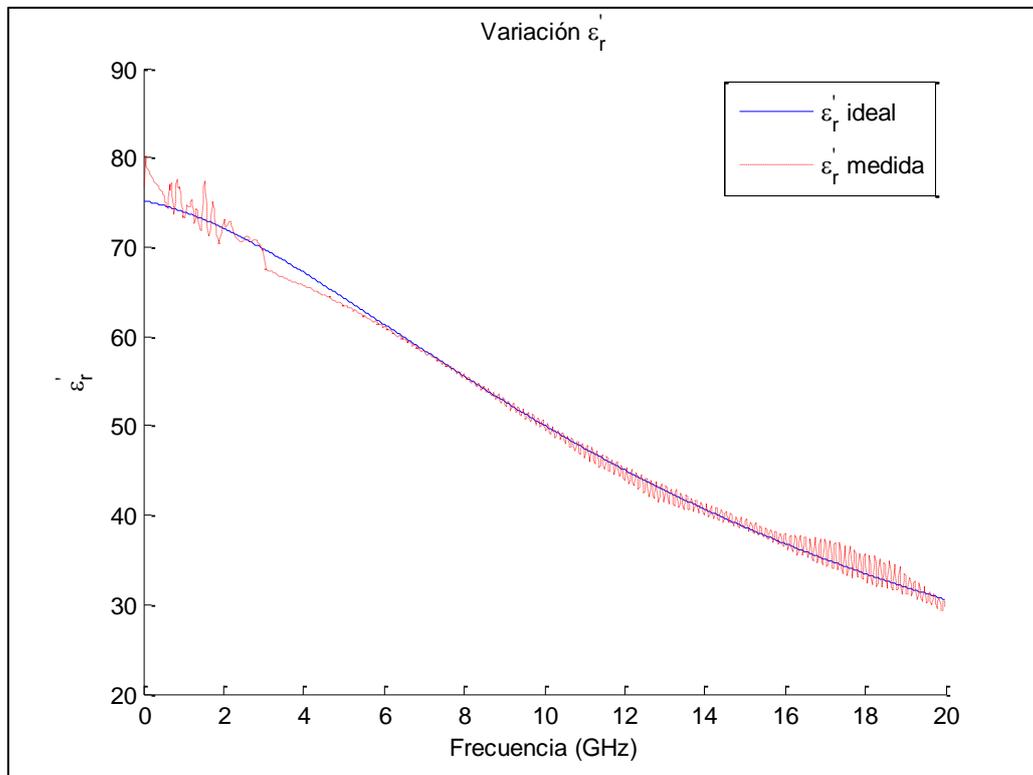


Figura 92. Variación de la constante dieléctrica

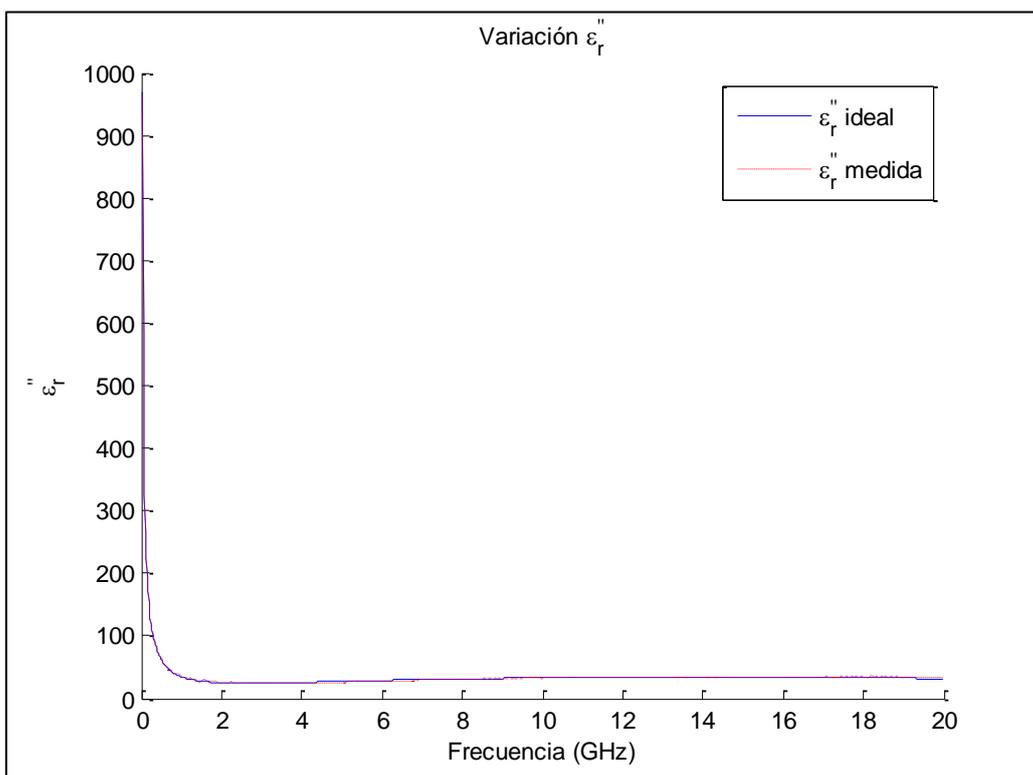


Figura 93. Variación del factor de pérdidas

- SALMOREJO:

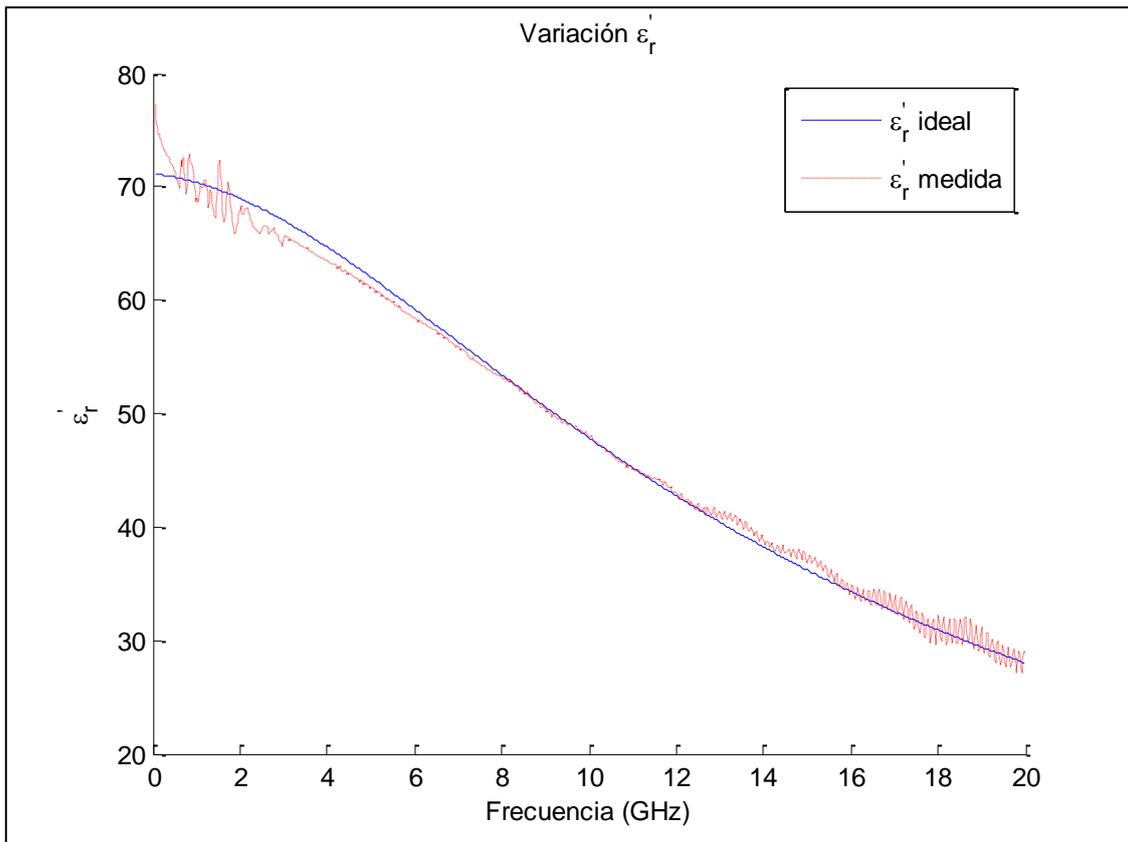


Figura 94. Variación de la constante dieléctrica

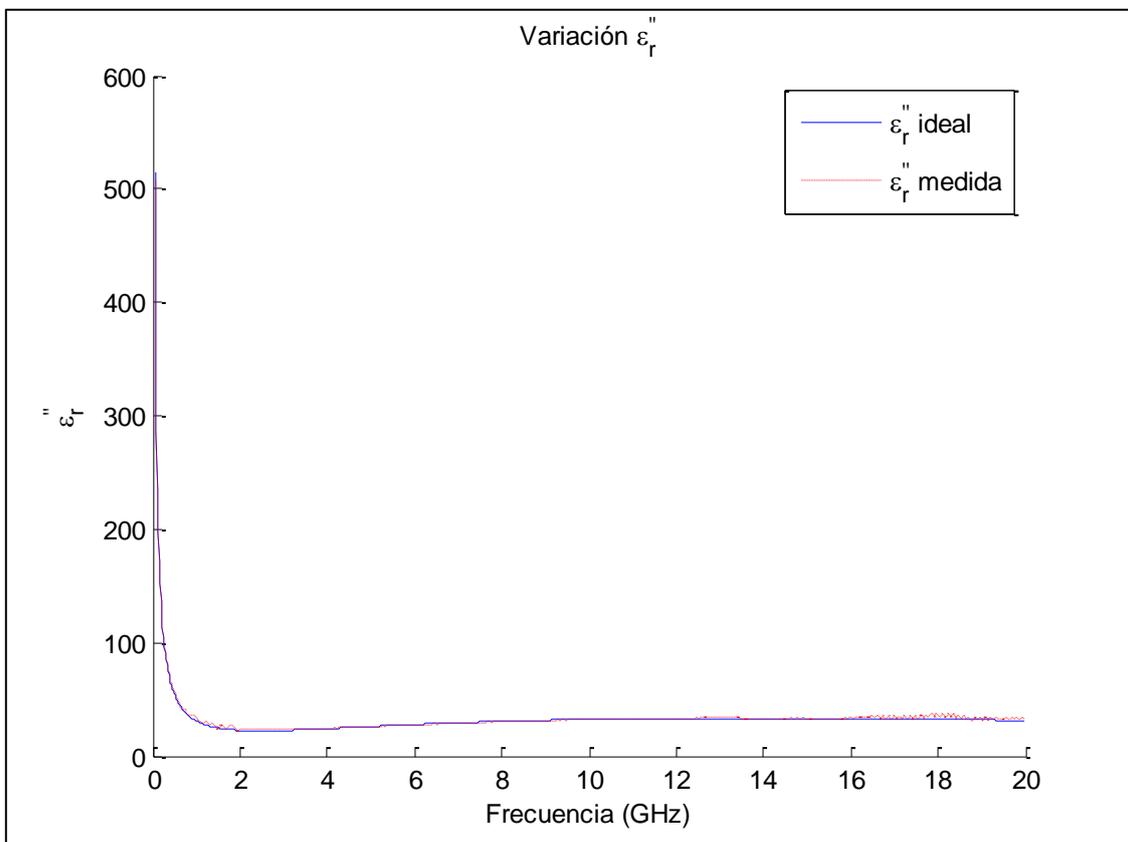


Figura 95. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE TOMATE:

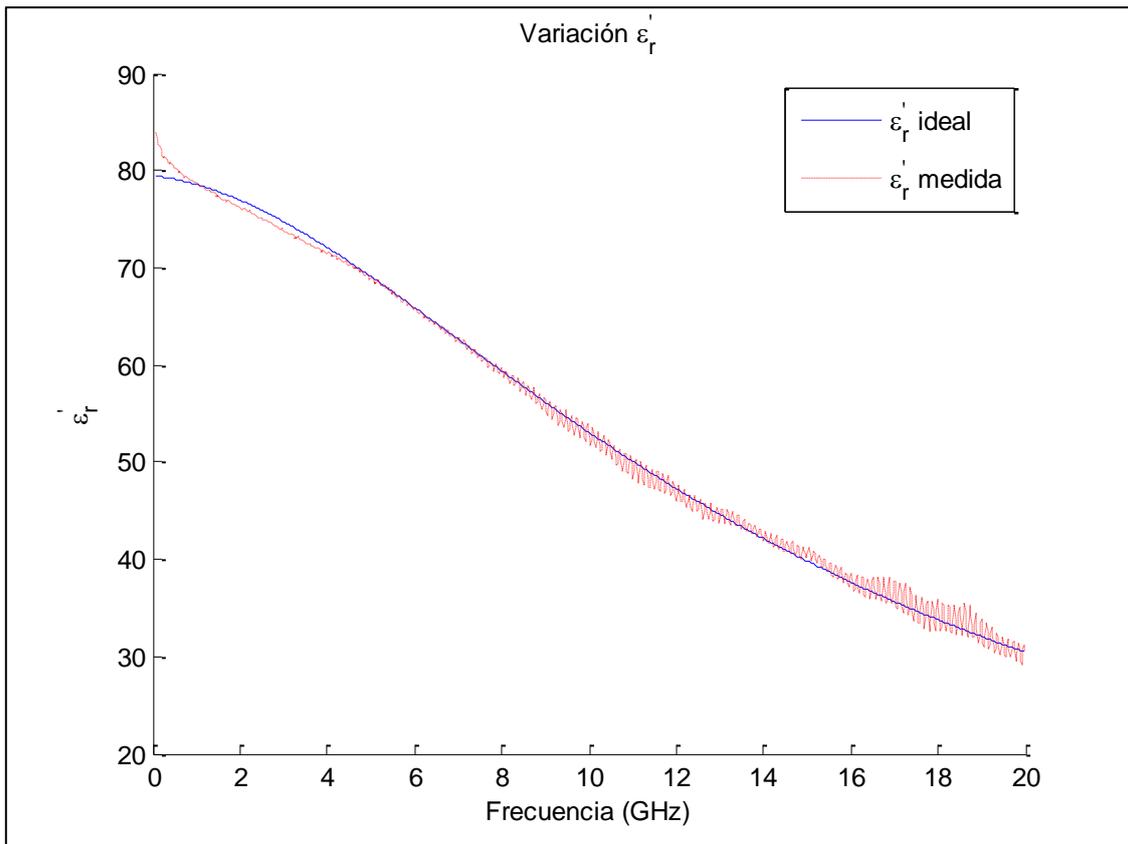


Figura 96. Variación de la constante dieléctrica

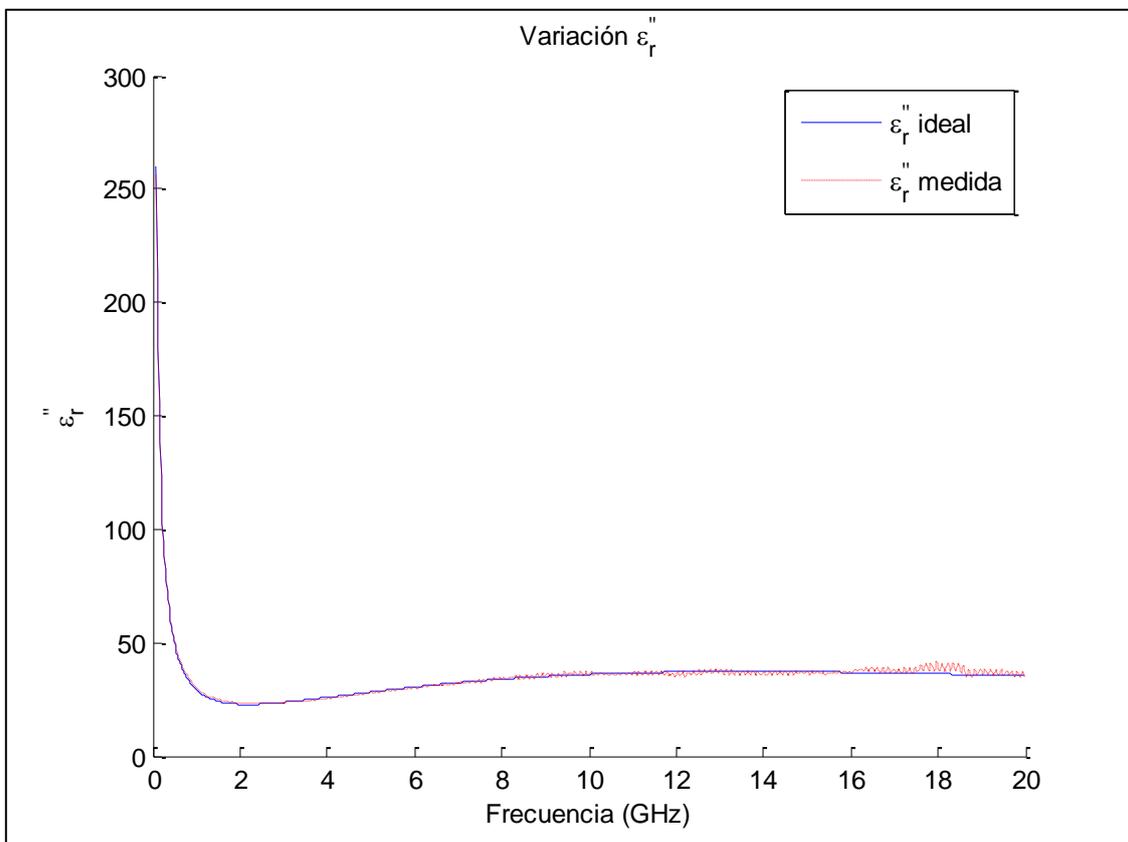


Figura 97. Variación del factor de pérdidas

- ZUMO DE NARANJA:

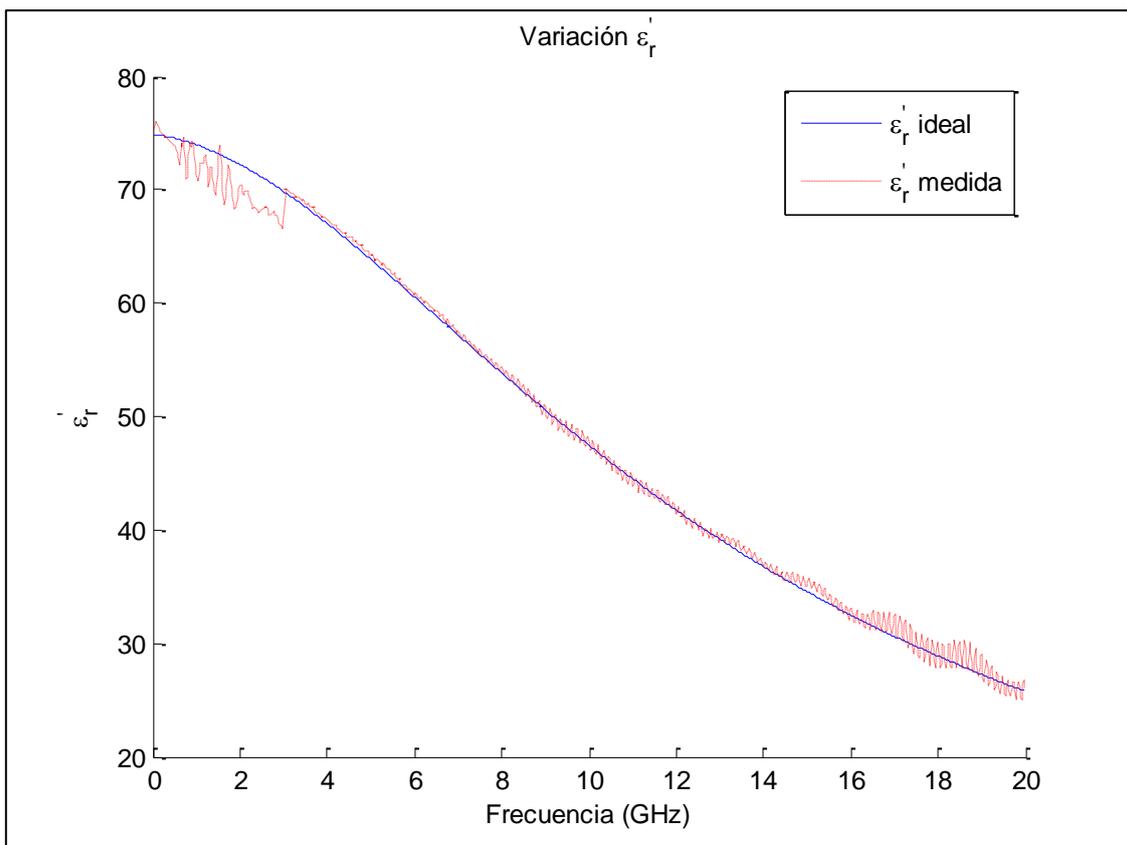


Figura 98. Variación de la constante dieléctrica

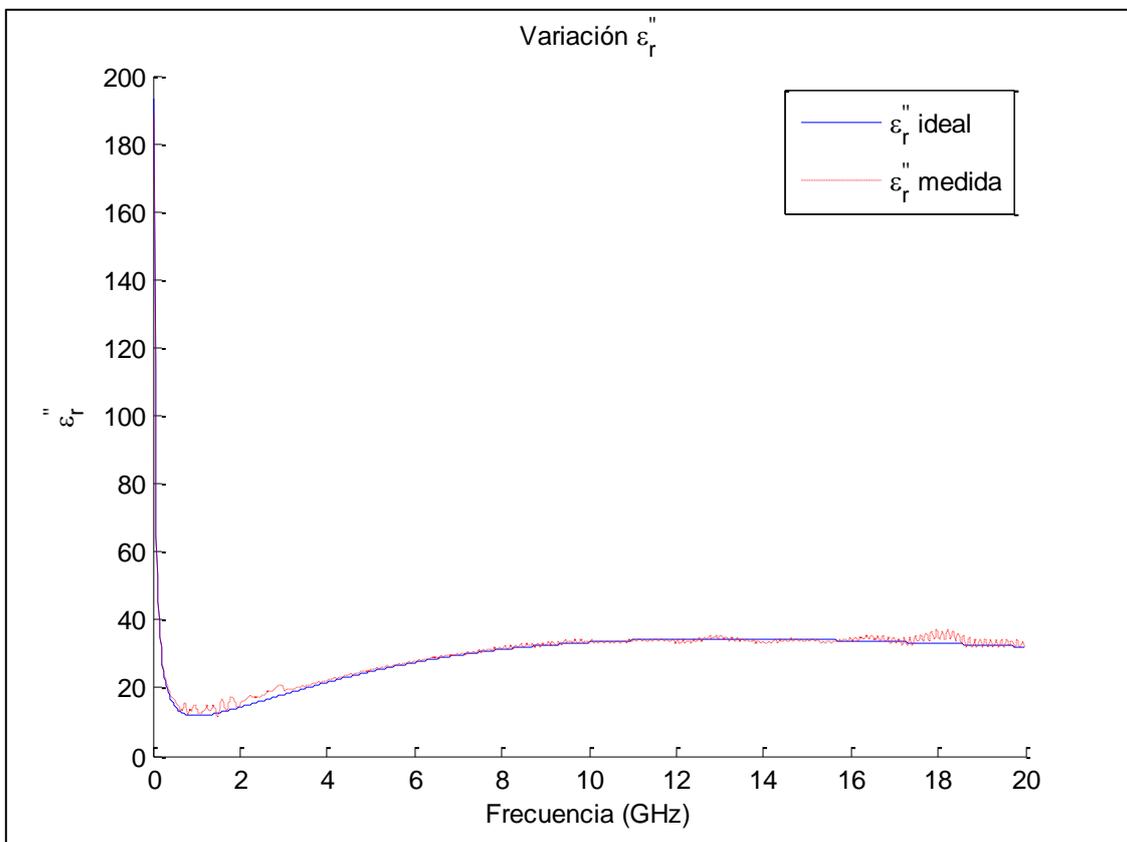


Figura 99. Variación del factor de pérdidas

Obteniendo los siguientes parámetros característicos para la mejor solución y que se muestran en la tabla 11:

	$\epsilon_r(0)$	$\epsilon_r(\infty)$	Constante de tiempo (τ)	α	β	Conductividad (σ)	Función de evaluación (fval)
<i>Gazpacho</i>	75.193	1	11.8041ps	0.923	0.906	1.6167	0.0482276
<i>Salmorejo</i>	71.142	1	12.1093ps	0.959	0.894	1.4289	0.0522126
<i>Zumo de tomate</i>	79.468	1	11.6387ps	0.956	0.936	1.2952	0.0432072
<i>Zumo de naranja</i>	74.906	1	12.2229ps	0.955	0.970	0.3214	0.0475823

Tabla 11 - Parámetros método Havriliak-Negami

Se comparan a continuación los parámetros obtenidos con los tres métodos.

Se observa cómo $\epsilon_r(\infty)$ tiende a 1 para los métodos de Cole-Cole y Havriliak-Negami. Esto es debido a que dichos métodos tienen más grados de libertad, lo que hace que dicho valor tienda a 1.

Además, otra característica significativa a resaltar es el valor de la constante de tiempo (τ), que varía en función del método utilizado. Esto es debido a que existe cierta incertidumbre en hallar el máximo de la parte imaginaria de los distintos batidos, ya que es muy amplio, y τ se define cómo:

$$\tau = \frac{1}{\epsilon_r(f_{\text{máx}})}$$

Por último, destacar el valor de la función de evaluación (fval). Cómo cada método utilizado tiene más grados de libertad que el anterior, el valor de la función de evaluación debería disminuir. Observando las tablas correspondientes a cada método, se observa que efectivamente esto se cumple.

Finalmente citar que con los parámetros obtenidos se puede rehacer fácilmente el comportamiento dieléctrico de cada batido

Capítulo 6

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1. CONCLUSIONES PRINCIPALES

En este proyecto se ha desarrollado una metodología para obtener las propiedades dieléctricas de distintos batidos de hortalizas frescas. Se han comparado las medidas obtenidas, ya que se han realizado con dos instrumentos distintos, la sonda DAK 12 y el dielectrómetro. Así, ha sido posible comprobar que la medición era correcta.

Además, se proporcionan valores significativos en rangos de frecuencias interesantes, cómo son la radiofrecuencia y el rango de microondas, y se ha realizado un estudio estadístico que estima la incertidumbre de medida de estos métodos en este tipo de batidos.

Por otro lado, se han estudiado batidos comerciales, tales como el gazpacho, el zumo de tomate, el salmorejo y el zumo de naranja. Se puede apreciar que las medidas de estos batidos siguen el comportamiento esperado. Así, ha sido posible estimar los parámetros de Debye, Cole-Cole y Havriliak-Negami únicamente con medidas hasta 20GHz, proporcionando resultados que podrán ser utilizados por todo el mundo.

6.2. LÍNEAS FUTURAS

De aquí en adelante, se puede seguir trabajando en diversas mejoras, como por ejemplo:

- 1) Obtención del error de los distintos métodos.
- 2) Además, estos métodos únicamente han sido probados con éxito para este tipo de batidos y en el rango de frecuencias mencionado, por lo que sería interesante probar su validez en otros materiales o productos tales como polímeros conductivos o no y calcular el límite superior en frecuencia con la que el método funciona correctamente.
- 3) También se podrían obtener métodos equivalentes a diferentes temperaturas y tratar de ajustarlos a una regla que dependa de la temperatura.
- 4) Finalmente también se podrían obtener métodos equivalentes a diferentes concentraciones de ingredientes y tratar de ajustarlos a una regla que dependa de dichas concentraciones.

Anexo I

CÓDIGO MATLAB

I.i. Datos de batidos de hortalizas.

```

clear all
close all
clc

%Medidas del dielectrómetro:_____
Dielect25_eprima=71.73;
Dielect30_eprima=70.75;
Dielect35_eprima=69.42;
Dielect40_eprima=68.14;
Dielect45_eprima=67.62;

Dielect25_edosprima=16.32207;
Dielect30_edosprima=16.78492;
Dielect35_edosprima=17.02937;
Dielect40_edosprima=17.40116;
Dielect45_edosprima=17.73883;

frec_dielect = 1891.52;
%_____

O=importdata('Naranja25b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(O.data(:,1),O.data(:,4),'k')
xlabel('Frecuencia (MHz)')
ylabel('\epsilon_r''')
figure(2)
hold on
plot(O.data(:,1),O.data(:,5),'k')
xlabel('Frecuencia (MHz)')
ylabel('\epsilon_r^{''''}')

A=importdata('Naranja30b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(A.data(:,1),A.data(:,4),'r')
figure(2)
hold on
plot(A.data(:,1),A.data(:,5),'r')

B=importdata('Naranja35b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(B.data(:,1),B.data(:,4),'c')
figure(2)
hold on
plot(B.data(:,1),B.data(:,5),'c')

C=importdata('Naranja40b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(C.data(:,1),C.data(:,4),'b')
figure(2)
hold on
plot(C.data(:,1),C.data(:,5),'b')

D=importdata('Naranja45b6.txt');
figure(1)
hold on

```

```

plot(D.data(:,1),D.data(:,4),'y')
figure(2)
hold on
plot(D.data(:,1),D.data(:,5),'y')

E=importdata('Naranja50b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(E.data(:,1),E.data(:,4),'m')
figure(2)
hold on
plot(E.data(:,1),E.data(:,5),'m')

F=importdata('Naranja55b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(F.data(:,1),F.data(:,4),'c')
figure(2)
hold on
plot(F.data(:,1),F.data(:,5),'c')

G=importdata('Naranja60b6.txt');
figure(1)
hold on
plot(G.data(:,1),G.data(:,4),'g')

%Se representan los resultados del dielectrómetro (parte real)
plot(frec_dielect,Dielect25_eprima,'ko')
plot(frec_dielect,Dielect30_eprima,'ro')
plot(frec_dielect,Dielect35_eprima,'co')
plot(frec_dielect,Dielect40_eprima,'bo')
plot(frec_dielect,Dielect45_eprima,'yo')

title('Variación \epsilon_r^{''}')
legend ('25°C', '30°C', '35°C', '40°C', '45°C', '50°C', '55°C', '60°C', 'Medidas
Dielectrómetro')

figure(2)
hold on
plot(G.data(:,1),G.data(:,5),'g')

%Se representan los resultados del dielectrómetro
plot(frec_dielect,Dielect25_edosprima,'ko')
plot(frec_dielect,Dielect30_edosprima,'ro')
plot(frec_dielect,Dielect35_edosprima,'co')
plot(frec_dielect,Dielect40_edosprima,'bo')
plot(frec_dielect,Dielect45_edosprima,'yo')

title('Variación \epsilon_r^{'')')
legend ('25°C', '30°C', '35°C', '40°C', '45°C', '50°C', '55°C', '60°C', 'Medidas
Dielectrómetro')

```

Este código será el mismo para todos los batidos. Únicamente variarán los datos del batido cargado en cada caso, para su representación.

I.ii. Obtención de valores significativos.

```
%Se obtienen los valores significativos de er' y er'' a 27.12 MHz y a
%2.45GH de cada grupo de batidos (clasificados por colores)

clear all
close all
clc

%% Batidos Naranjas

%Batido 1:
Naranja = importdata('Naranja30b1.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b1.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja40b1.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja45b1.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(1) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(1) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(1) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(1) = mean(er_imag_245);

% Batido 2:
Naranja = importdata('Naranja25b2.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja30b2.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b2.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);
```

```
Naranja = importdata('Naranja40b2.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(2) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(2) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(2) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(2) = mean(er_imag_245);

% Batido 3:
Naranja = importdata('Naranja30b3.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b3.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja40b3.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja45b3.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja50b3.txt');
er_real_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(3) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(3) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(3) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(3) = mean(er_imag_245);

% Batido 4:
Naranja = importdata('Naranja30b4.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b4.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);
```

```
Naranja = importdata('Naranja40b4.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja45b4.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja50b4.txt');
er_real_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja55b4.txt');
er_real_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

% Naranja = importdata('Naranja60b4.txt');
% er_real_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12)
% er_real_24(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3)
% er_imag_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12)
% er_imag_245(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3)

Media_er_real_27(4) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(4) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(4) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(4) = mean(er_imag_245);

% Batido 5:
Naranja = importdata('Naranja30b5.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b5.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja40b5.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja45b5.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);
```

```
Naranja = importdata('Naranja50b5.txt');
er_real_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja55b5.txt');
er_real_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja60b5.txt');
er_real_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(5) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(5) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(5) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(5) = mean(er_imag_245);

% Batido 6:
Naranja = importdata('Naranja25b6.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja30b6.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja35b6.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja40b6.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja45b6.txt');
er_real_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja50b6.txt');
er_real_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);
```

```
Naranja = importdata('Naranja55b6.txt');
er_real_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(7)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('Naranja60b6.txt');
er_real_27(8)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_24(8)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(8)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(8)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(6) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(6) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(6) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(6) = mean(er_imag_245);

%Batido 7:
Naranja = importdata('batido_naranja_40C_v1.txt');
er_real_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('batido_naranja_50C_v1.txt');
er_real_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('batido_naranja_60C_v1.txt');
er_real_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('batido_naranja_70C_v1.txt');
er_real_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Naranja = importdata('batido_naranja_80C_v1.txt');
er_real_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Naranja.data(:,1),Naranja.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(7) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(7) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(7) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(7) = mean(er_imag_245);

%% Batidos Verdes

%Batido 1:
Verde = importdata('verde38.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
```

```
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(1) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(1) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(1) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(1) = mean(er_imag_245);

% Batido 2:
Verde = importdata('verdev2.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde30v2.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40v2.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50v2.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60v2.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
```

```
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70v2.txt');
er_real_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(2) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(2) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(2) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(2) = mean(er_imag_245);

% Batido 3:
Verde = importdata('verde15v3.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde30v3.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40v3.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50v3.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60v3.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70v3.txt');
er_real_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde80v3.txt');
er_real_27(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(3) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(3) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(3) = mean(er_imag_27);
```

```
Media_er_imag_245(3) = mean(er_imag_245);

% Batido 4:
Verde = importdata('verde33.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde30v33.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40v33.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50v33.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60v33.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70v33.txt');
er_real_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde80v33.txt');
er_real_27(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(7)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(4) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(4) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(4) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(4) = mean(er_imag_245);

% Batido 5:
Verde = importdata('verde4.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40v4.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
```

```
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50v4.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60v4.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70v4.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde80v4.txt');
er_real_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(5) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(5) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(5) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(5) = mean(er_imag_245);

% Batido 6:
Verde = importdata('verde5.txt');
er_real_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde40v5.txt');
er_real_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde50v5.txt');
er_real_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde60v5.txt');
er_real_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde70v5.txt');
er_real_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
```

```
er_imag_27(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Verde = importdata('verde80v5.txt');
er_real_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Verde.data(:,1),Verde.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(6) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(6) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(6) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(6) = mean(er_imag_245);

%% Batidos Morados

%Batido 1:
Morado = importdata('Morado_tamb_v1.txt');
er_real_27(1)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Morado = importdata('Morado_30C_v1.txt');
er_real_27(2)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Morado = importdata('Morado_40C_v1.txt');
er_real_27(3)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Morado = importdata('Morado_50C_v1.txt');
er_real_27(4)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Morado = importdata('Morado_60C_v1.txt');
er_real_27(5)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Morado = importdata('Morado_70C_v1.txt');
er_real_27(6)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),27.12);
er_real_245(6)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(6)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),27.12);
er_imag_245(6)= interp1(Morado.data(:,1),Morado.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(1) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(1) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(1) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(1) = mean(er_imag_245);
```

```
% Batidos Rojos

%Batido 1:
Rojo = importdata('rojov2amb.txt');
er_real_27(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t30.txt');
er_real_27(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t40.txt');
er_real_27(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t50.txt');
er_real_27(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t60.txt');
er_real_27(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(1) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(1) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(1) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(1) = mean(er_imag_245);

%Batido 2:
Rojo = importdata('rojov2amb_2.txt');
er_real_27(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(1)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t30_2.txt');
er_real_27(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(2)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t40_2.txt');
er_real_27(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(3)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t50_2.txt');
er_real_27(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
```

```
er_real_245(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(4)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Rojo = importdata('rojov2t60_2.txt');
er_real_27(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),27.12);
er_real_245(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,4),2.45e+3);
er_imag_27(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),27.12);
er_imag_245(5)= interp1(Rojo.data(:,1),Rojo.data(:,5),2.45e+3);

Media_er_real_27(2) = mean(er_real_27);
Media_er_real_245(2) = mean(er_real_245);
Media_er_imag_27(2) = mean(er_imag_27);
Media_er_imag_245(2) = mean(er_imag_245);

%% Valores significativos
ValorSig_er_real_27 = mean(Media_er_real_27)
ValorSig_er_real_245 = mean(Media_er_real_245)

ValorSig_er_imag_27 = mean(Media_er_imag_27)
ValorSig_er_imag_245 = mean(Media_er_imag_245)
```

I.iii. Análisis estadístico.

```

%% 30°C:

clear all
close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_1 = importdata('Naranja30b1.txt');
medidas_2 = importdata('Naranja30b2.txt');
medidas_3 = importdata('Naranja30b3.txt');
medidas_4 = importdata('Naranja30b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja30b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja30b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_1.data(20:end,1);

Ep_leida_1 = medidas_1.data(20:end,4)+1i*medidas_1.data(20:end,5);
Ep_leida_2 = medidas_2.data(20:end,4)+1i*medidas_2.data(20:end,5);
Ep_leida_3 = medidas_3.data(20:end,4)+1i*medidas_3.data(20:end,5);
Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

```

```

%% 40°C:

clear all
close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_1 = importdata('Naranja35b1.txt');
medidas_2 = importdata('Naranja35b2.txt');
medidas_3 = importdata('Naranja35b3.txt');
medidas_4 = importdata('Naranja35b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja35b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja35b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_1.data(20:end,1);

Ep_leida_1 = medidas_1.data(20:end,4)+1i*medidas_1.data(20:end,5);
Ep_leida_2 = medidas_2.data(20:end,4)+1i*medidas_2.data(20:end,5);
Ep_leida_3 = medidas_3.data(20:end,4)+1i*medidas_3.data(20:end,5);
Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

%% 40°C:

clear all

```

```

close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_1 = importdata('Naranja40b1.txt');
medidas_2 = importdata('Naranja40b2.txt');
medidas_3 = importdata('Naranja40b3.txt');
medidas_4 = importdata('Naranja40b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja40b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja40b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_1.data(20:end,1);

Ep_leida_1 = medidas_1.data(20:end,4)+1i*medidas_1.data(20:end,5);
Ep_leida_2 = medidas_2.data(20:end,4)+1i*medidas_2.data(20:end,5);
Ep_leida_3 = medidas_3.data(20:end,4)+1i*medidas_3.data(20:end,5);
Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_1(i) Ep_leida_2(i) Ep_leida_3(i)
Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

%% 45°C:

%Solo tenemos 5 batidos (el 2 no lo tenemos medido a esta temperatura)
clear all
close all
clc

```

```

%Se importan los datos:
medidas_1 = importdata('Naranja45b1.txt');
medidas_3 = importdata('Naranja45b3.txt');
medidas_4 = importdata('Naranja45b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja45b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja45b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_1.data(20:end,1);

Ep_leida_1 = medidas_1.data(20:end,4)+1i*medidas_1.data(20:end,5);
Ep_leida_3 = medidas_3.data(20:end,4)+1i*medidas_3.data(20:end,5);
Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_1(i) Ep_leida_3(i) Ep_leida_4(i)
Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_1(i) Ep_leida_3(i) Ep_leida_4(i)
Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

%% 50°C:

%Solo tenemos 4 batidos (el 1 y el 2 no los tenemos medidos a esta
temperatura)

clear all
close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_3 = importdata('Naranja50b3.txt');

```

```

medidas_4 = importdata('Naranja50b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja50b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja50b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_3.data(20:end,1);

Ep_leida_3 = medidas_3.data(20:end,4)+1i*medidas_3.data(20:end,5);
Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_3(i) Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i)
Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_3(i) Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i)
Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

%% 55°C:

%Solo tenemos 3 batidos (el 1,el 2 y el 3 no los tenemos medidos a
esta temperatura)

clear all
close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_4 = importdata('Naranja55b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja55b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja55b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_4.data(20:end,1);

```

```

Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

%% 60°C:

%Solo tenemos 3 batidos (el 1,el 2 y el 3 no los tenemos medidos a
esta temperatura)

clear all
close all
clc

%Se importan los datos:
medidas_4 = importdata('Naranja60b4.txt');
medidas_5 = importdata('Naranja60b5.txt');
medidas_6 = importdata('Naranja60b6.txt');

freq=1e-3.*medidas_4.data(20:end,1);

Ep_leida_4 = medidas_4.data(20:end,4)+1i*medidas_4.data(20:end,5);
Ep_leida_5 = medidas_5.data(20:end,4)+1i*medidas_5.data(20:end,5);
Ep_leida_6 = medidas_6.data(20:end,4)+1i*medidas_6.data(20:end,5);

for i=1:length(freq)
vector_real =real([Ep leida 4(i) Ep leida 5(i) Ep leida 6(i)]);

```

```
media_real(i) = mean(vector_real);
desv_tipica_real (i) = std (vector_real);
end

for i=1:length(freq)
vector_imag =imag([Ep_leida_4(i) Ep_leida_5(i) Ep_leida_6(i)]);
media_imag(i) = mean(vector_imag);
desv_tipica_imag (i) = std (vector_imag);
end

figure (1)
hold on
plot (freq,media_real)
plot (freq,media_real+desv_tipica_real,'r')
plot (freq,media_real-desv_tipica_real,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off

figure (2)
hold on
plot (freq,media_imag)
plot (freq,media_imag+desv_tipica_imag,'r')
plot (freq,media_imag-desv_tipica_imag,'r')
title('Variación \epsilon_r^{''}'); legend('Media','Desviación
típica');
xlabel('Frecuencia (GHz)');
hold off
```

I.iv. Datos de batidos comerciales.

```

%% Agua
clear all
close all
clc

Agua_12=importdata('Agua_sonda12.txt');
Agua_35=importdata('Agua_sonda35.txt');

figure(1)
hold on
plot(Agua_12.data(:,1),Agua_12.data(:,4))
plot(Agua_35.data(150:end,1),Agua_35.data(150:end,4))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

figure(2)
plot(Agua_12.data(:,1),Agua_12.data(:,5))
plot(Agua_35.data(150:end,1),Agua_35.data(150:end,5))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}')

%% Gazpacho
clear all
close all
clc

Gazpacho_12=importdata('Gazpacho_sonda12.txt');
Gazpacho_35=importdata('Gazpacho_sonda35.txt');

figure(1)
hold on
plot(1e6.*Gazpacho_12.data(:,1),Gazpacho_12.data(:,4))
plot(1e6.*Gazpacho_35.data(150:end,1),Gazpacho_35.data(150:end,4))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

figure(2)
hold on
plot(1e6.*Gazpacho_12.data(:,1),Gazpacho_12.data(:,5))
plot(1e6.*Gazpacho_35.data(150:end,1),Gazpacho_35.data(150:end,5))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime\prime}')

%% Salmorejo
clear all
close all
clc

Salmorejo_12=importdata('Salmorejo_sonda12.txt');
Salmorejo_35=importdata('Salmorejo_sonda35.txt');

figure(1)
hold on
plot(Salmorejo_12.data(:,1),Salmorejo_12.data(:,4))

```

```
plot(Salmorejo_35.data(150:end,1),Salmorejo_35.data(150:end,4))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

figure(2)
hold on
plot(Salmorejo_12.data(:,1),Salmorejo_12.data(:,5))
plot(Salmorejo_35.data(150:end,1),Salmorejo_35.data(150:end,5))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

%% Zumo de Tomate
clear all
close all
clc

Tomate_12=importdata('ZumoTomate_sonda12.txt');
Tomate_35=importdata('ZumoTomate_sonda35.txt');

figure(1)
hold on
plot(Tomate_12.data(:,1),Tomate_12.data(:,4))
plot(Tomate_35.data(150:end,1),Tomate_35.data(150:end,4))
plot(Tomate_35.data(:,1),Tomate_35.data(:,4))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

figure(2)
hold on
plot(Tomate_12.data(:,1),Tomate_12.data(:,5))
plot(Tomate_35.data(150:end,1),Tomate_35.data(150:end,5))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

%% Zumo de Naranja
clear all
close all
clc

Naranja_12=importdata('ZumoNaranja_sonda12.txt');
Naranja_35=importdata('ZumoNaranja_sonda35.txt');

figure(1)
hold on
plot(Naranja_12.data(:,1),Naranja_12.data(:,4))
plot(Naranja_35.data(150:end,1),Naranja_35.data(150:end,4))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')

figure(2)
hold on
plot(Naranja_12.data(:,1),Naranja_12.data(:,5))
plot(Naranja_35.data(150:end,1),Naranja_35.data(150:end,5))
xlabel('Frecuencia (Hz)')
ylabel('\epsilon_r^{\prime}')
title('Variación \epsilon_r^{\prime}')
```

REFERENCIAS

- [1] Mohammad-Reza Tofghi, *FDTD Modeling of Biological Tissues Cole-Cole Dispersion for 0.5-30GHz Using Relaxation Time Distribution Samples – Novel and Improved Implementations*, IEEE.
- [2] Prof. David R. Jackson, Dept. of ECE, *Intermediate EM Waves*, Fall 2013.
- [3] J. Baker-Jarvis, “*Transmission/Reflection and Short-Circuit Line Permittivity Measurements*”. NIST Technical Note, National Institute of Standard and Technology, Boulder, CO. 1990.
- [4] J. Barker-Jarvis, M.D. Janezic, B.F. Riddle, R. T. Johnk, P. Kabos, C. L. Holloway, R.G. Geyer, C.A. Grosvenor, *Measuring the permittivity and permeability of lossy materials: solids, liquids, metals, building materials, and negative-index materials*, NIST Technical Note 1536, 2005.
- [5] R.E. Collin, *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill International Editions, 2ª Edición, Singapur, 1992.
- [6] *Dielectric Kit for Vials. Quick Start Guide*, ITACA
- [7] *Dielectric Assessment Kit. Professional Handbook V 1.12*, Schmid & Partner Engineering AG, 2014, SPEAG.