

CAPÍTULO 4: ESTUDIO EXPERIMENTAL

Este capítulo se estructura en 4 bloques. En ellos se van a exponer los resultados y las conclusiones que se han obtenido de los materiales utilizados en este proyecto cuando se someten al análisis de la microscopía electrónica, estudio del color, espectrometría infrarroja y medición de pH.

Los materiales poliméricos utilizados en este estudio son:

1. Espumas de Polietileno. Se han escogido espumas de distinta composición química para observar los cambios que han ido experimentando las muestras al cabo del tiempo. Las espumas son de color negro (letra R), grisáceo (letra P), blanco doble capa (letra J), blanco monocapa (letra I) y blanco circular (letra H).
2. HL-47 Blanco + ADH 218 de 26 mm. Letra A.
3. HL-79 Negro + ADH 218 de 25mm. Letra Q.
4. LD-45 Blanco + ADH 218 de 15mm. Letra B.
5. LD-33 Blanco + ADH 218 de 15mm. Letra C.
6. LD-15 Blanco + ADH 218 de 20mm. Letra D.

4.1. Microscopía electrónica de barrido

- **Preparación y recubrimiento de las muestras.**

Una de las grandes ventajas del microscopio electrónico de barrido es el hecho de que la mayor parte de las muestras se pueden examinar sin apenas preparación. Como norma general deben cumplir una serie de requisitos:

- Las muestras deben ser estables a la irradiación con electrones (en ocasiones hay que jugar con el voltaje acelerador y la densidad de la corriente para no dañarlas).
- Las muestras no deben contener líquidos.

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

- Asimismo hay que evitar que el método de preparación altere las características del material que se desea estudiar (ejemplo: sales solubles que suelen contener agua de cristalización).

Además de esto deben cumplir un requisito fundamental: su superficie debe ser conductora de la corriente eléctrica.

Para que la muestra tenga una conductividad adecuada se recubre por evaporación con una película conductora continua. Este recubrimiento es necesario para eliminar o reducir la carga eléctrica que se crea rápidamente en la superficie de una muestra no conductora cuando se barre con un haz de electrones de alta energía. Normalmente se emplea oro o carbono.

- **Técnica de recubrimiento con carbono.**

El carbono se utiliza con mucha frecuencia porque presenta dos propiedades muy importantes: primera, las películas son continuas y prácticamente son estructuras. Segunda, la técnica de recubrimiento con oro imposibilita, en la mayoría de los casos, la obtención de un espectro de RX de elementos. La película de oro superficial absorbe la mayoría de los RX procedentes de la propia muestra, que intentan emerger a través de la superficie. Por tanto, en el caso de precisarse un análisis elemental en una muestra no conductora es necesario recubrir la superficie de un elemento lo más transparente posible a los RX. Este elemento es el carbono.

Se ha utilizado el siguiente equipo para el acondicionamiento de la muestra:



Figura 4.1: Equipo para acondicionamiento de muestras

Para ello, es necesario fijar la muestra al portamuestras, que suele ser una pieza metálica cilíndrica (representado en la esquina inferior izquierda de la fotografía). El pegamento que se utiliza debe ser conductor de la corriente eléctrica, estable en vacío, de fácil uso y de secado rápido, pero en este caso, se ha utilizado un pegamento no conductor y se han usado “puentes” de carbono desde la muestra al portamuestras, de modo que se garantice la evacuación de cargas.

Si la muestra es conductora no se requiere ningún tipo de recubrimiento. En este caso, al tratarse de materiales no conductores (polímeros), la conductividad es baja y se producirían cargas que reducirían la calidad y la resolución de la imagen, a consecuencia de la incidencia del haz de electrones en su superficie. Por dicho motivo se han recubierto las muestras con una película muy fina y conductora de carbono. En la siguiente fotografía se muestran las tiras de carbono utilizadas:



Figura 4.2: Fibras de carbono usadas en SEM

Una parte importante del equipo es el metalizador de carbono. Consiste en dos electrodos conectados a una fuente de corriente alterna de bajo voltaje y alta densidad entre los que se intercala una barra de carbono terminada en una punta afilada o un hilo de carbono. Al pasar la corriente, la punta de la barra o el hilo de carbono se van evaporando, de forma que rocía la muestra con una fina capa de carbono. Todo el conjunto está encerrado en vacío con el fin de facilitar la deposición de la película de carbono sobre la muestra. En la siguiente imagen, se muestra esquemáticamente un metalizador de carbono:

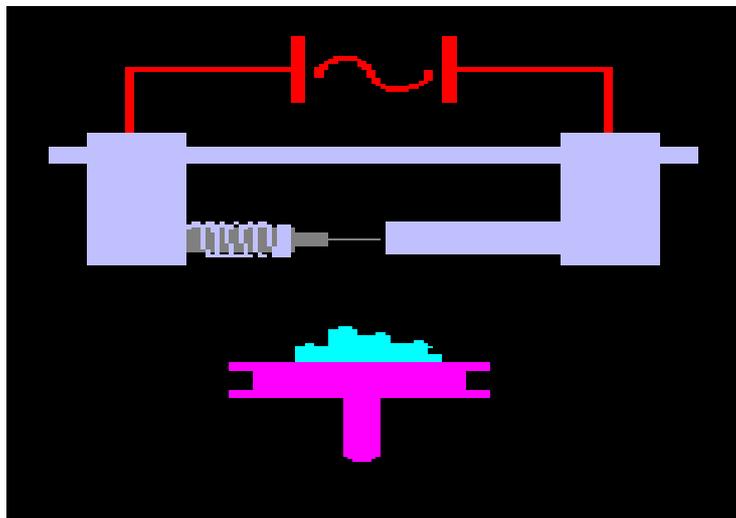


Figura 4.3: Esquema metalizador de carbono

En la siguiente fotografía, se observa con detalle la cabeza metalizadora con la tarjeta anular y las fibras de carbono.



Figura 4.4: Detalle de la cabeza metalizadora

El equipo donde se prepara la muestra dispone de dos modos de trabajo: automático y manual. El modo automático ahorra al operador tiempo y permite realizar recubrimientos sin efectos de carga a usuarios sin experiencia. Dispone de un cabezal exclusivo con tarjeta anular que permite recubrimientos de 2-3 mm de forma automática. El gran diámetro de la tarjeta garantiza que los recubrimientos tengan el mínimo grosor. Un ciclo estándar para recubrir muestras SEM con un recubrimiento conductor estándar (5-7 nm) de carbono ocupa al sistema menos de 3 minutos.

Tras su metalización se lleva la muestra al microscopio electrónico. En este caso, el microscopio electrónico utilizado es el siguiente:

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

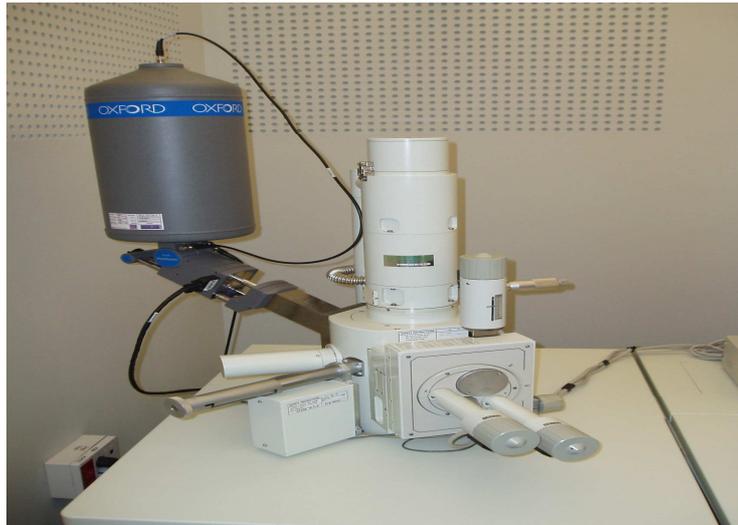


Figura 4.5: Equipo microscopio electrónico

En esta fotografía se pueden ver los tres detectores utilizados. Este microscopio está unido a un sistema de monitorización, donde se puede rotar la imagen y obtener fotografías de la muestra estudiada. En este caso, tenemos dos ordenadores de donde también se puede obtener el análisis fundamental.



Figura 4.6: Monitorización de muestras

- **Resultados de los materiales estudiados mediante SEM.**

Las muestras permanecieron aproximadamente unas 500 horas en las cámaras del Instituto Andaluz de Patrimonio Histórico. Acto seguido, se acondicionaron y se prepararon las muestras antes de llevarlas al microscopio electrónico de barrido. En esta investigación, las muestras se acondicionaron con carbono. A continuación, se muestran las fotografías obtenidas de las muestras sin alterar y alteradas al SEM. En este proyecto, únicamente, se han incluido las fotografías de las muestras HL-47 Blanco + ADH 218 de 26 mm, HL-79 Negro + ADH 218 de 25 mm y la espuma de polietileno de color grisáceo (letra P). Todas las muestras se llevaron al microscopio electrónico, pero al observar que el cambio en la estructura de las muestras era mínimo, se decidió incluir las fotografías más representativas.

En las fotografías que se muestran a continuación, tanto en las muestras alteradas como en las muestras sin alterar, se ha utilizado la misma resolución en la imagen para poder apreciar mejor que las muestras apenas cambian su estructura química.

- HL-47 Blanco + ADH 218 de 26 mm.

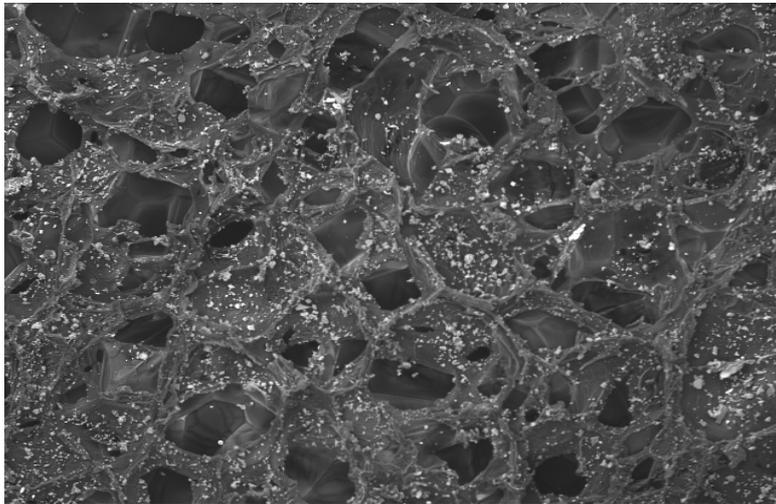


Figura 4.7: Muestra sin alterar. Aumento 50x

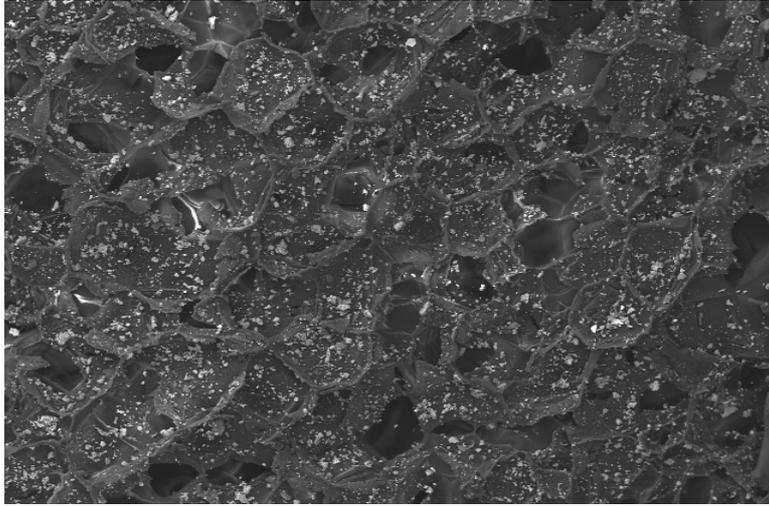


Figura 4.8: Muestra alterada. Aumento 50x

- *HL-79Negro + ADH 218 de 25 mm.*

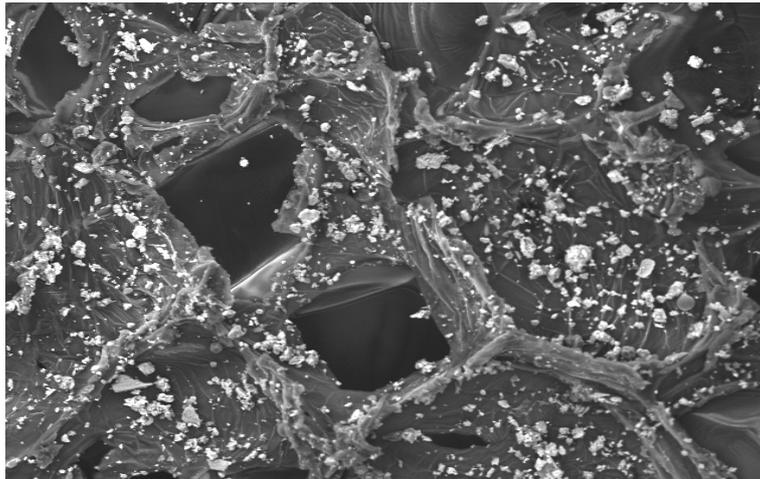


Figura 4.9: Muestra sin alterar. Aumento 140x

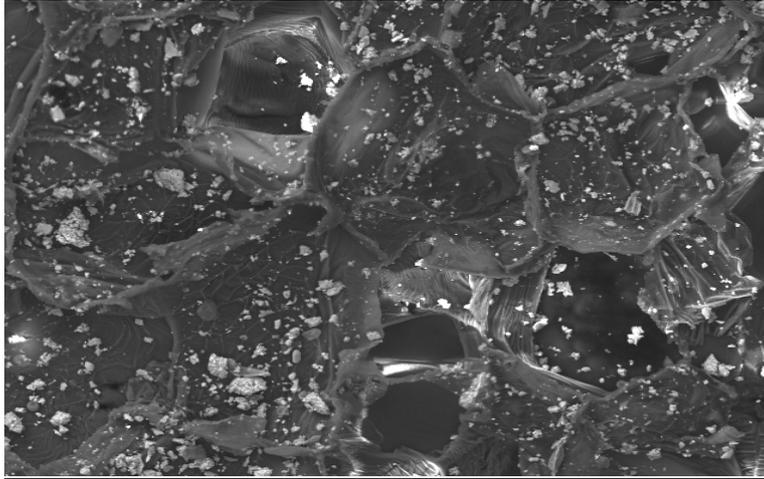


Figura 4.10: Muestra alterada. Aumento 140x

- *Espuma de polietileno (color grisáceo).*

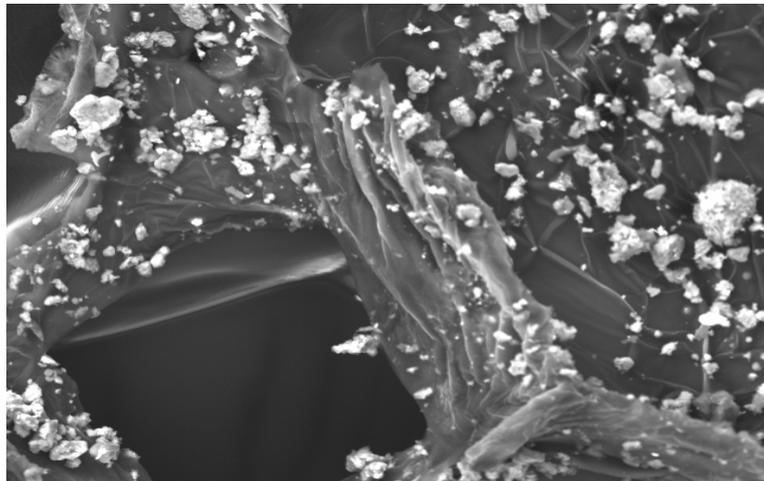


Figura 4.11: Muestra sin alterar. Aumento 330x



Figura 4.12: Muestra alterada. Aumento 330x

4.2. Colorimetría.

Nosotros utilizaremos el modelo CIE Lab para la medición del color de las muestras. Consiste en tres canales, cada uno de los cuales contiene hasta 256 tonalidades diferentes: un canal L de Luminosidad y dos canales cromáticos, a (que oscila entre verde y rojo) y b (que oscila entre azul y amarillo). El componente de luminosidad L va de 0 (negro) a 100 (blanco). Los componentes a (eje rojo-verde) y b (eje azul-amarillo) van de +120 a -120, tal como muestra la siguiente figura:

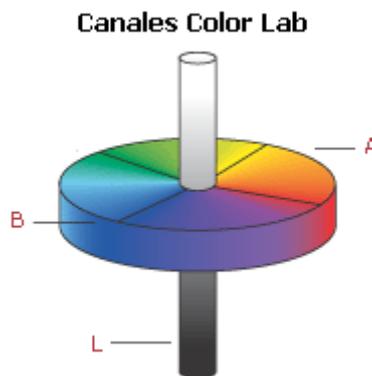


Figura 4.13: Representación Modelo CIE Lab

Tras 500 horas de permanecer estas muestras en la cámara climática a temperatura y humedad variable, se llevaron las muestras a un colorímetro del Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico. De cada muestra se realizaron 5 medidas y se obtuvieron para

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

cada medida los tres parámetros mencionados anteriormente. El valor utilizado en los resultados fue una media de las cinco medidas.

1. ESPUMAS DE POLIETILENO :

- COLOR NEGRO. Los parámetros que se obtuvieron en el colorímetro se obtuvieron tanto de la muestra alterada como de la muestra original.

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	23,55	12,49	13,01
medida 2	23,36	12,42	13,00
medida 3	23,37	12,42	13,00
medida 4	23,37	12,42	13,00
medida 5	23,37	12,42	13,00
MEDIA	23,40	12,43	13,00

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	29,55	14,94	16,91
medida 2	29,55	14,96	16,91
medida 3	29,55	14,96	16,91
medida 4	29,34	14,86	16,82
medida 5	29,25	14,85	16,78
MEDIA	29,44	14,91	16,87

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

- COLOR GRISÁCEO. Los parámetros que se obtuvieron fueron los siguientes:

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	31,50	14,04	15,64
medida 2	31,53	14,07	15,65
medida 3	31,55	14,07	15,68
medida 4	31,57	14,08	15,68
medida 5	31,57	14,10	15,66
MEDIA	31,54	14,07	15,66

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	30,02	14,94	17,77
medida 2	30,05	14,95	17,78
medida 3	30,10	14,99	17,80
medida 4	30,12	15,02	17,81
medida 5	30,15	15,04	17,81
MEDIA	30,09	14,99	17,80

- COLOR BLANCO DOBLE CAPA. Los parámetros obtenidos fueron:

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	61,86	21,60	22,24
medida 2	61,69	21,52	22,20
medida 3	61,59	21,52	22,16
medida 4	61,62	21,53	22,17
medida 5	61,65	21,52	22,18
MEDIA	61,69	21,54	22,19

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	59,67	21,01	21,74
medida 2	59,61	21,00	21,72
medida 3	59,57	21,01	21,70
medida 4	59,55	20,98	21,69
medida 5	59,53	20,96	21,70
MEDIA	59,59	20,99	21,71

- COLOR BLANCO MONOCAPA. En este caso, se obtuvieron los parámetros citados a continuación:

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	59,86	21,02	21,69
medida 2	59,59	20,94	21,62
medida 3	59,36	20,88	21,55
medida 4	59,24	20,86	21,52
medida 5	59,41	20,90	21,57
MEDIA	59,49	20,92	21,59

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	57,81	20,62	21,17
medida 2	57,83	20,62	21,17
medida 3	57,82	20,63	21,16
medida 4	57,85	20,62	21,18
medida 5	57,85	20,63	21,18
MEDIA	57,83	20,62	21,17

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

- COLOR BLANCO CIRCULAR. Los resultados fueron los siguientes:

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	76,56	26,60	28,64
medida 2	76,11	26,36	28,50
medida 3	76,30	26,45	28,60
medida 4	76,29	26,43	28,60
medida 5	76,30	26,43	28,60
MEDIA	76,31	26,45	28,59

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	77,10	27,18	30,09
medida 2	77,38	27,14	30,17
medida 3	77,74	27,07	29,82
medida 4	77,74	27,09	29,82
medida 5	77,83	27,12	29,83
MEDIA	77,55	27,12	29,95

2. ESPUMAS POLIMÉRICAS :

- HL-47 Blanco + ADH 218 de 26 mm. Letra a. Se obtuvieron los parámetros siguientes:

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	71,66	24,26	25,58
medida 2	71,53	24,22	25,24
medida 3	71,88	24,30	25,34
medida 4	71,97	24,32	25,37
medida 5	71,94	24,32	25,35
MEDIA	71,77	24,28	25,38

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	71,41	24,10	24,95
medida 2	71,56	24,15	24,99
medida 3	71,39	24,10	24,94
medida 4	71,25	24,06	24,90
medida 5	71,37	24,09	24,93
MEDIA	71,40	24,10	24,94

- HL-79 Negro + ADH 218 de 25 mm. Letra O.

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	17,50	10,01	10,22
medida 2	17,50	10,05	10,22
medida 3	17,51	10,00	10,24
medida 4	17,50	10,05	10,22
medida 5	17,48	10,06	10,22
MEDIA	17,50	10,03	10,22

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	16,44	9,71	9,88
medida 2	16,38	9,68	9,82
medida 3	16,35	9,64	9,81
medida 4	16,34	9,65	9,82
medida 5	16,33	9,70	9,80
MEDIA	16,37	9,68	9,83

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

- LD-45 Blanco + ADH 218 de 15 mm. Letra b.

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	78,94	26,78	27,68
medida 2	78,74	26,73	27,62
medida 3	78,93	26,79	27,66
medida 4	78,88	26,75	27,65
medida 5	78,45	26,64	27,54
MEDIA	78,79	26,74	27,63

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	81,56	27,53	28,75
medida 2	81,65	27,56	28,77
medida 3	81,63	27,52	28,77
medida 4	81,64	27,54	28,77
medida 5	81,66	27,54	28,77
MEDIA	81,63	27,54	28,77

- LD-33 Blanco + ADH 218 de 15 mm. Letra c.

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	77,42	26,39	27,35
medida 2	77,31	26,38	27,32
medida 3	77,61	26,44	27,40
medida 4	77,69	26,49	27,43
medida 5	77,74	26,49	27,45
MEDIA	77,50	26,44	27,39

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	77,69	26,57	27,79
medida 2	77,76	26,60	27,80
medida 3	77,77	26,60	27,81
medida 4	77,78	26,59	27,82
medida 5	77,80	26,60	27,81
MEDIA	77,76	26,59	27,81

- *LD-15 Blanco + ADH 218 de 20 mm. Letra d.*

Muestra sin alterar

	L	a	b
medida 1	82,72	27,85	28,79
medida 2	82,65	27,84	28,76
medida 3	82,60	27,83	28,75
medida 4	82,53	27,79	28,72
medida 5	82,39	27,75	28,67
MEDIA	82,58	27,81	28,74

Muestra alterada: resultados tras 500 horas

	L	a	b
medida 1	82,14	27,73	28,96
medida 2	82,49	27,85	29,07
medida 3	82,50	27,86	29,07
medida 4	82,54	27,86	29,08
medida 5	82,48	27,85	29,06
MEDIA	82,43	27,83	29,05

Para poder representar y obtener conclusiones frente al cambio de color de estos materiales, se realizaron una serie de gráficas. Éstas fueron:

- L (luminancia) vs. Tiempo ensayo (horas)

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

- a vs. Tiempo de ensayo (horas)
- b vs. Tiempo de ensayo (horas)

Para visualizar mejor los valores obtenidos con el colorímetro, se han formado dos grupos de materiales:

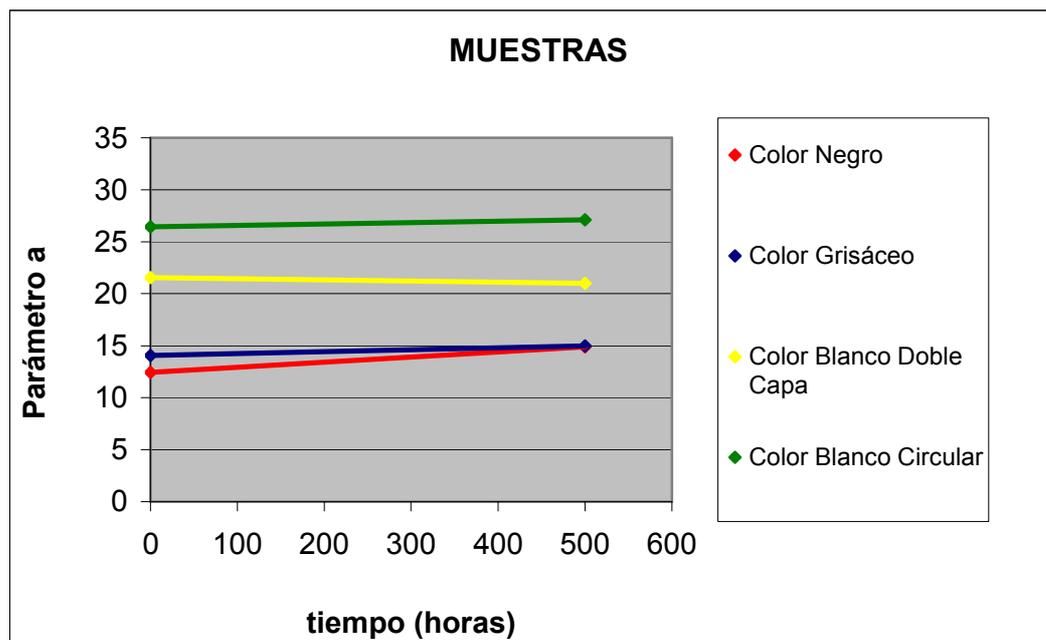
- Espumas de PE (espumas con las letras R, P, J, I Y H).
- Espumas poliméricas (espumas con las letras A, Q, B, C Y D).

➤ ESPUMAS DE POLIETILENO

Las gráficas obtenidas para las espumas de polietileno fueron:

• PARÁMETRO a.

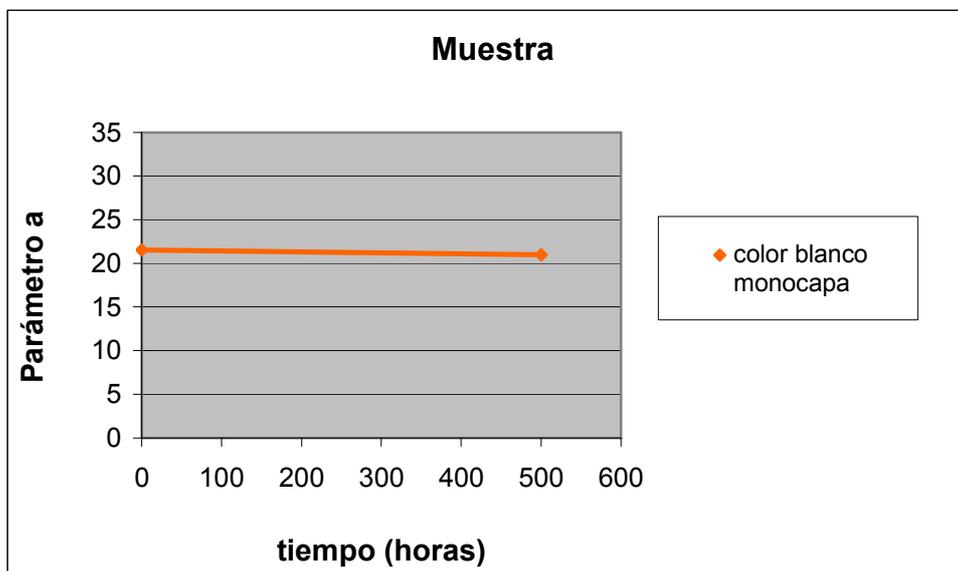
En la siguiente gráfica se hace una representación del parámetro a frente al tiempo. Se han representado las espumas de polietileno de color negro (R), color grisáceo (P), color blanco doble capa (J) y color blanco circular (H). La gráfica de la espuma color blanco monocapa (I) se ha representado en otra gráfica ya que se superpone con los valores de la espuma de color blanco doble capa.



Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

Se observa en la gráfico anterior como el valor del parámetro a de la muestra sin alterar es ligeramente inferior al del valor de la muestra alterada, es decir, al aumentar el valor de a, se está incrementando el canal cromático que oscila entre el eje rojo y el eje verde. Tanto el canal cromático a como el canal b nos da una idea del color que van a ir adoptando las muestras. En todos los casos ocurre lo mismo, excepto en el color blanco doble capa donde se da el caso contrario.

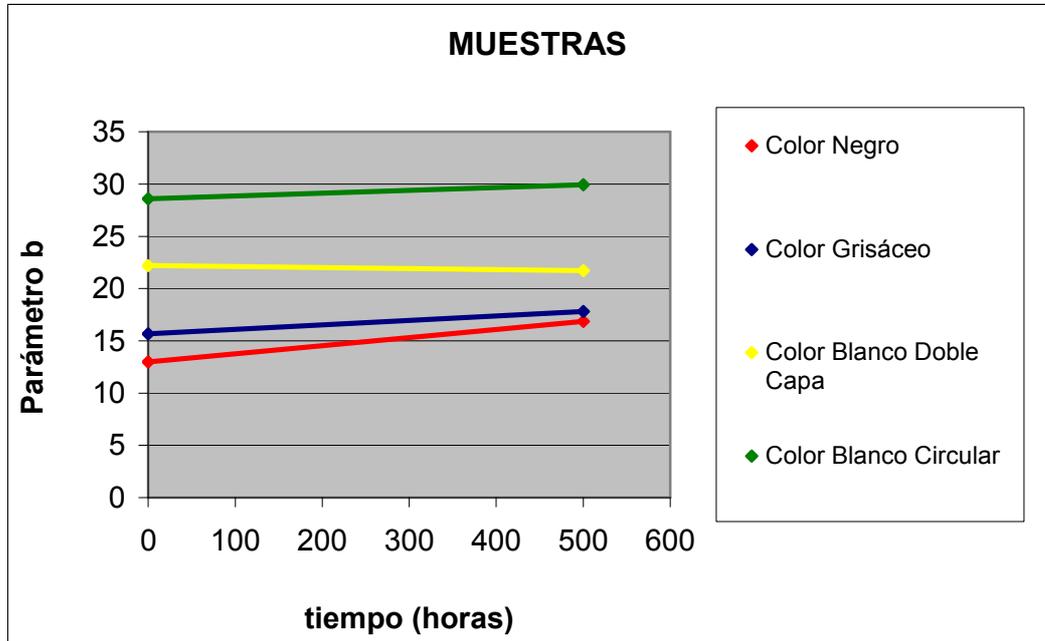
La gráfica del parámetro a de la espuma color blanco monocapa es la siguiente:



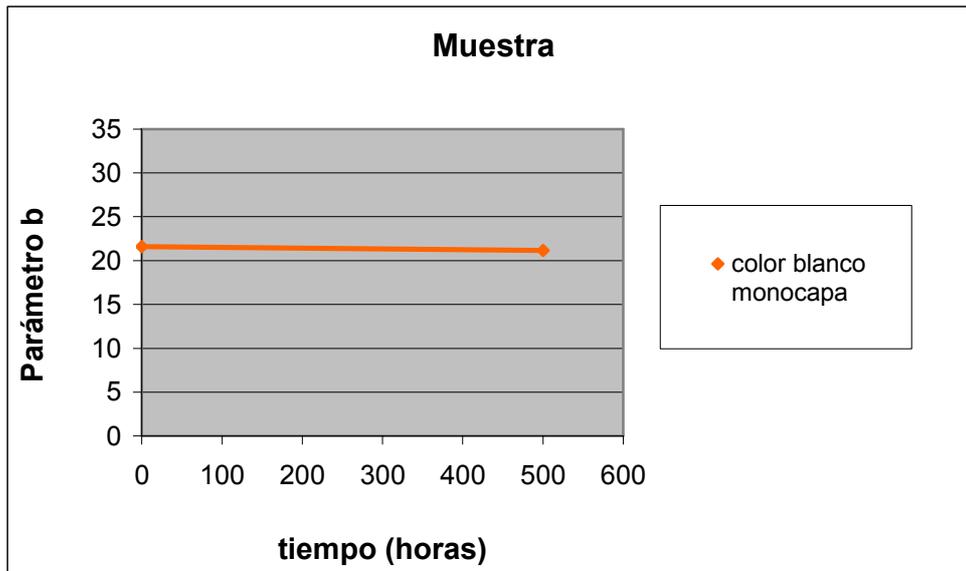
En este caso, se sigue la misma tendencia de la espuma color blanco doble capa. Este comportamiento es lógico ya que las espumas I y J tienen idéntica composición estructural, únicamente cambia el grosor de la espuma, por lo cual, deben seguir tendencias parecidas cuando se someten a cambios de color.

- **PARÁMETRO b.**

La gráfica del parámetro b es la siguiente:

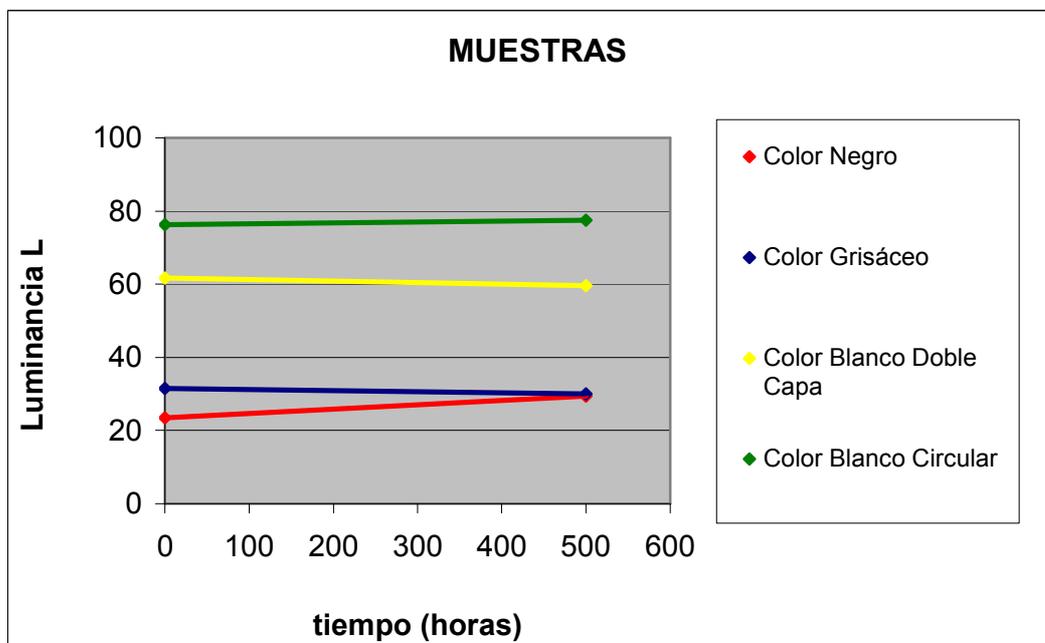


En este caso, se obtienen conclusiones parecidas al caso anterior, pero en este caso, el parámetro b indica el canal cromático que oscila entre el eje azul-amarillo. El valor del parámetro b de la muestra sin alterar es ligeramente inferior al de la muestra alterada, y puede observarse que este fenómeno ocurre nuevamente en las espumas de color negro, grisáceo y blanco circular; mientras que la espuma de color blanco doble capa sigue el mismo comportamiento que la espuma de color blanco monocapa, tal y como puede observarse en la siguiente figura:



- **LUMINANCIA L.**

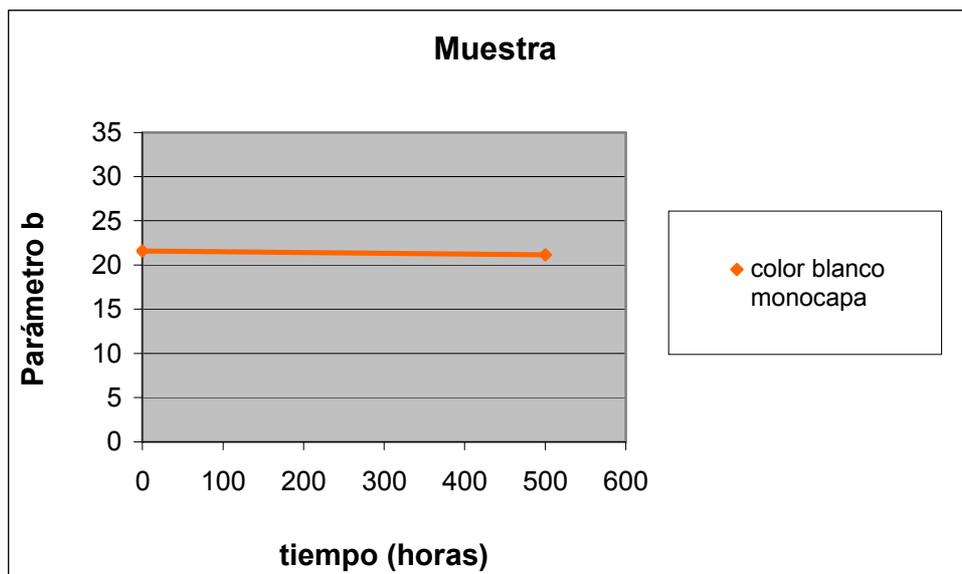
La gráfica que proporciona más datos es la de la luminosidad. Se obtuvieron los siguientes resultados:



En este caso, los datos más representativos son los de la espuma de color negro ya que esta espuma sufrió un importante cambio de color las horas que estuvo en la cámara

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

climática. Se observó que el color negro ligeramente había cambiado a un color grisáceo-amarillento. En este caso, el valor de L de la muestra alterada es superior al de la muestra sin alterar, es decir, la espuma se vuelve más blanquecina. La tendencia de las demás espumas es contraria a ésta. En este caso, las espumas de color grisáceo y blanco doble capa se vuelven más oscuras ya que el valor de luminosidad de la muestra alterada es ligeramente inferior al de la muestra sin alterar, pero esta diferencia de valores es mínima por lo cuál, el cambio de color de estas espumas es prácticamente inapreciable. Por último destacar que la espuma de color blanco circular también se torna a un color más blanquecino, pero en este caso, este cambio de color es menos significativo que el cambio de color que se produce con la espuma de color negro. Por último lugar, la espuma de color blanco monocapa se vuelve también más oscura pero este cambio tampoco es muy significativo.

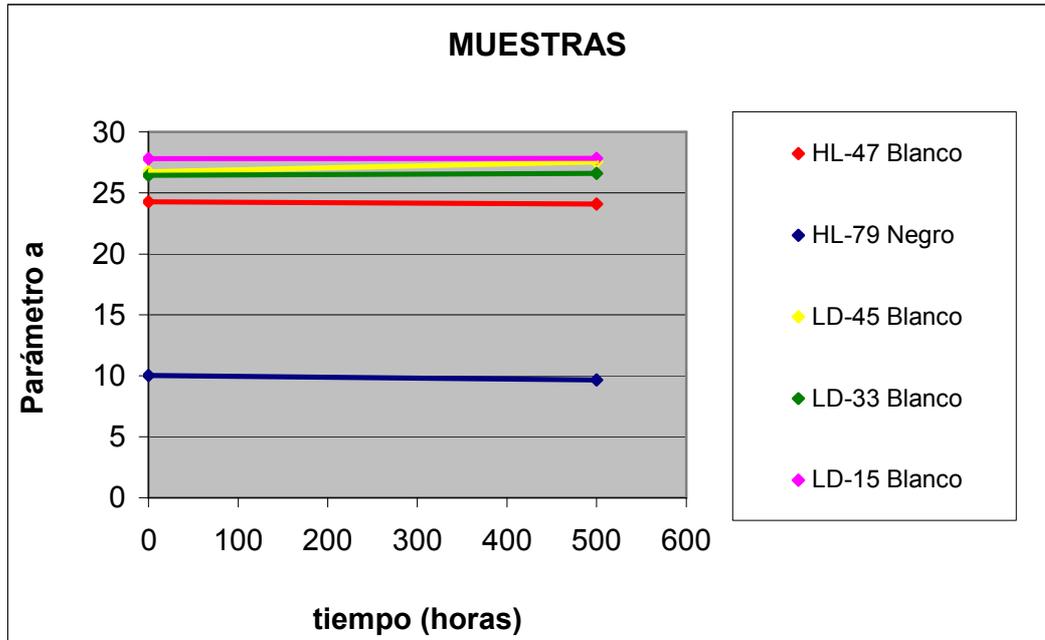


Debido a problemas técnicos con la cámara climática no se pudieron obtener más datos de las espumas estudiadas, pero si se hubiesen dejado más tiempo, se podría observar que a medida que pasa el tiempo y los materiales están sometidos a estos cambios bruscos de humedad y temperatura, el color de dichos materiales también irá cambiando gradualmente.

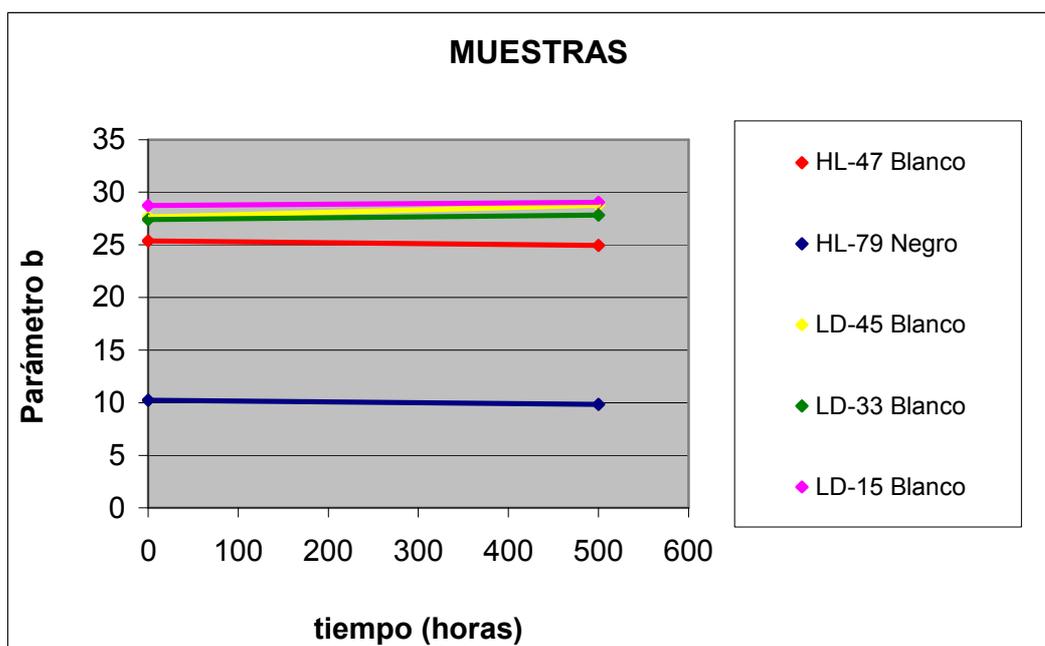
➤ **ESPUMAS POLIMÉRICAS**

Las gráficas obtenidas en este grupo para el parámetro a y b son:

• **PARÁMETRO a.**



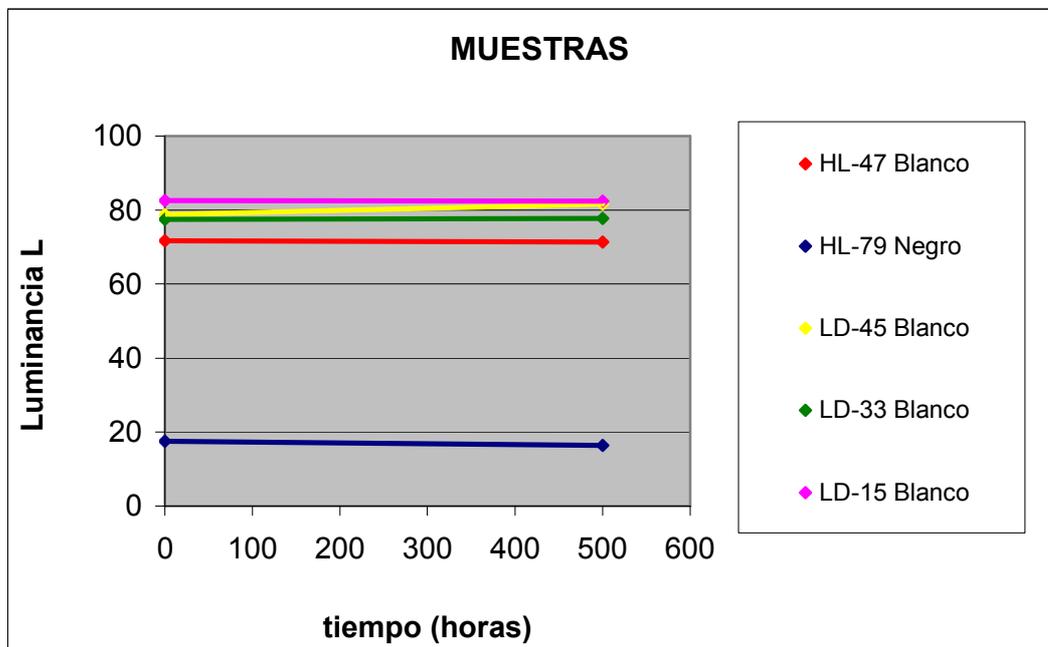
• **PARÁMETRO b.**



En el caso de las espumas poliméricas, el cambio tanto en los parámetros a y b como el parámetro de luminosidad son menores que en grupo de las espumas de polietileno. Podemos concluir que las componentes que te determinan el cambio de color no varían a lo largo del tiempo.

Lo mismo ocurre con la gráfica de luminosidad.

- **LUMINANCIA L.**



Es lógico que el comportamiento de las espumas de color blanco sea prácticamente líneas paralelas por tener idénticas composición estructural pero con distinto grosor de espuma, mientras que la línea de color azul marino corresponde al comportamiento de la espuma de color negro que tiene una composición diferente al resto de las espumas. También se observa que los valores de L que se obtienen para las espumas poliméricas blancas son mayores que el valor de L para la espuma negra. Este comportamiento es lógico ya que el parámetro de luminosidad va de 0 (negro) a 100 (blanco).

La diferencia de color ΔE en el sistema CIE se calculó de la siguiente forma:

Metodología para ensayos de materiales empleados en obras de arte

$$\Delta E = \left[(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2 \right]^{1/2}$$

donde,

ΔL (diferencia de luminosidad) = $L_{\text{muestra envejecida}} - L_{\text{muestra nueva}}$

Δa (diferencia de color entre el eje rojo y verde) = $a_{\text{muestra envejecida}} - a_{\text{muestra nueva}}$

Δb (diferencia de color entre el eje amarillo y azul) = $b_{\text{muestra envejecida}} - b_{\text{muestra nueva}}$

Los datos que se obtuvieron fueron:

➤ ESPUMAS DE POLIETILENO

	Color Negro	Color Grisáceo	Color Blanco Doble Capa	Color Blanco Circular	Color Blanco Monocapa
ΔE	7,59	2,74	2,22	1,96	1,74

➤ ESPUMAS POLIMÉRICAS

	Letra A	Letra B	Letra C	Letra D	Letra Q
ΔE	0,6	3,16	0,52	0,34	1,24

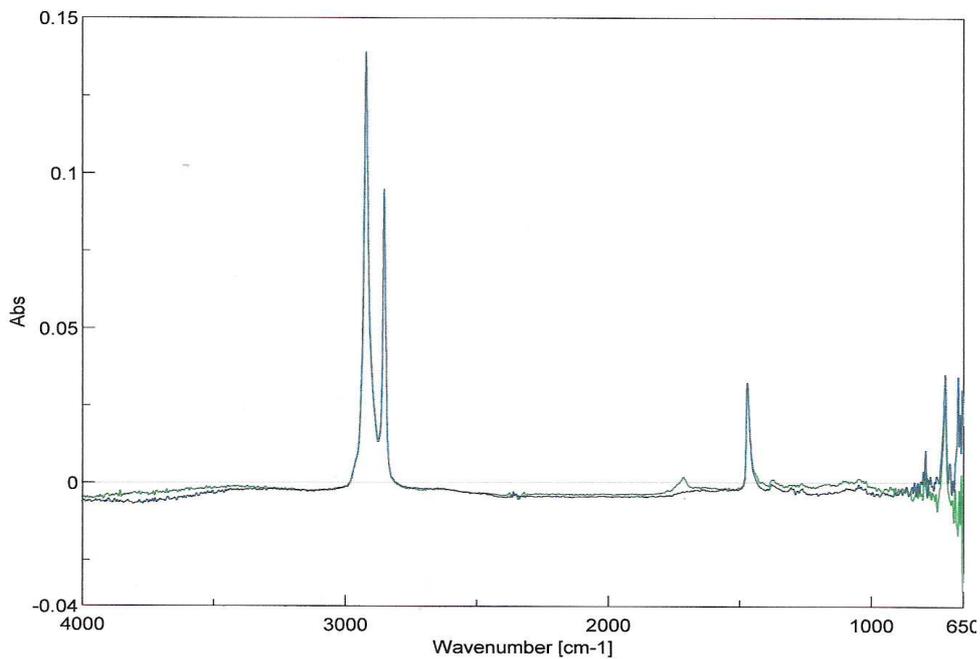
El incremento de color más significativo se obtuvo en el material de color negro. Como hemos mencionado anteriormente, al sacar este polímero de la cámara climática se apreció un importante cambio de color ya que el material tenía un cierto color amarillento. En cambio otros materiales (letra A, C y D), apenas sufrieron un cambio de color en las horas que estuvieron en la cámara.

4.3. Espectrometría infrarroja

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la espectrometría infrarroja. Al igual que con en el microscopio electrónico de barrido, al observar las muestras al IR, se observa que la variación en la estructura de las muestras es mínima, es decir, existe una gran similitud en todos los espectros. Por ese motivo, sólo vamos a mostrar el espectro IR, antes y después de la alteración, de dos muestras. Los materiales que hemos escogido son la espuma polimérica LD-15 Blanco + ADH 218 de 20 mm y la espuma de polietileno blanco circular.

- Espuma LD-15 Blanco + ADH 218 de 20 mm

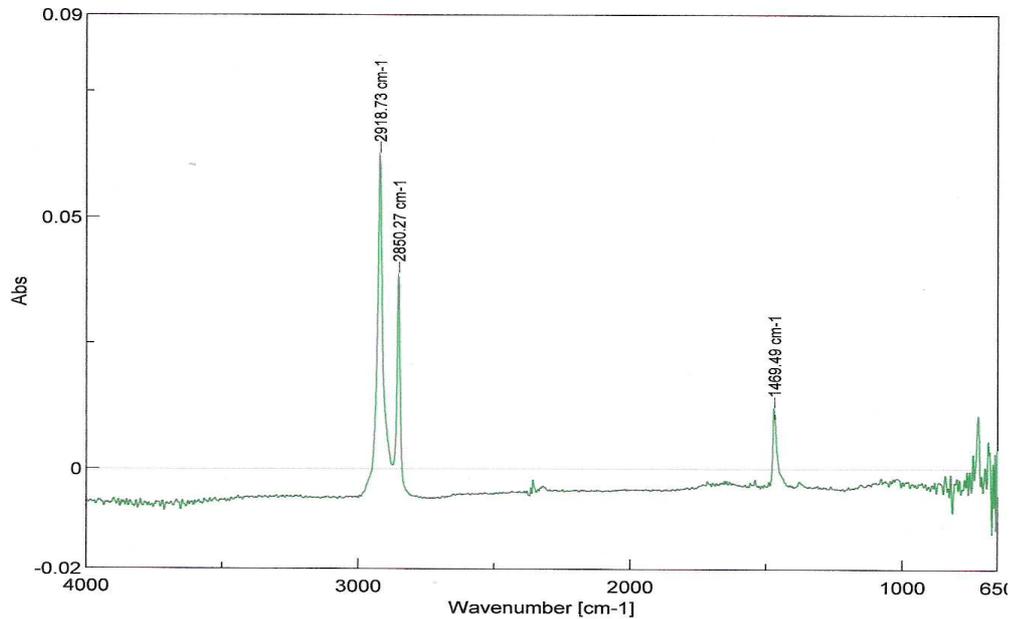
En este caso, se muestra un espectro IR conjunto tanto de la muestra alterada como sin alterar. La línea de color verde es el espectro que corresponde a la muestra alterada mientras que la línea de color azul es el de la muestra sin alterar. Prácticamente, no hay una gran diferencia entre un espectro y otro. En este caso, el pico más significativo se produce alrededor de los 1600 cm^{-1} .



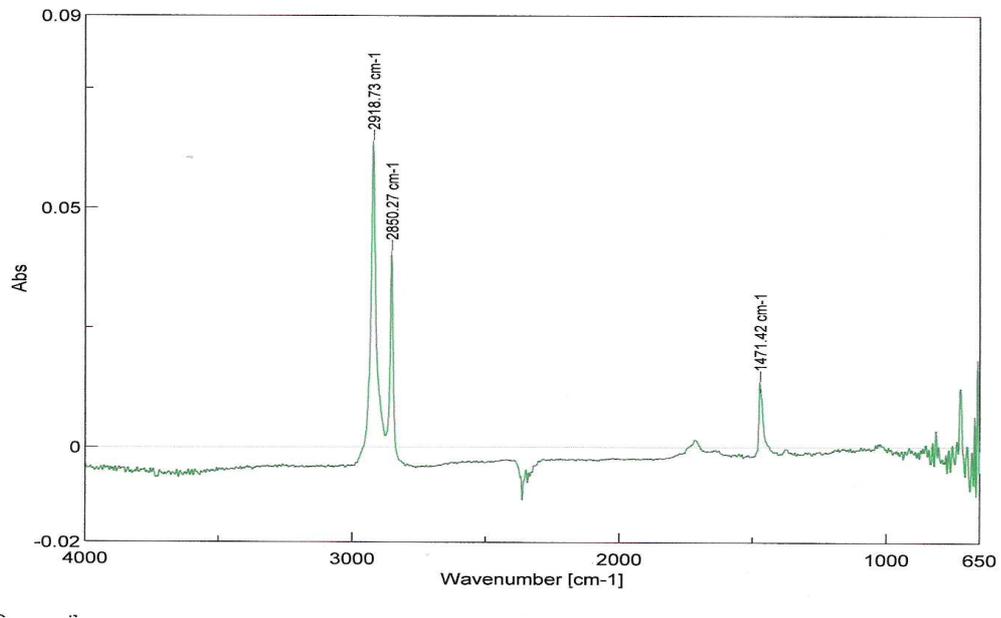
- Fotografías Espuma de polietileno (blanco circular).

En este caso, hemos incluido el espectro IR de la muestra sin alterar y alterada. Observando ambos espectros, se aprecia que los primeros picos más significativos de las gráficas aparecen exactamente en el mismo lugar, el primero en $2928,73\text{ cm}^{-1}$ y el segundo en $2850,27\text{ cm}^{-1}$. La única diferencia que se nota es la misma que en el caso del Espuma LD-15 Blanco, es decir, en la muestra sin alterar se produce un pico aproximadamente en $1469,69\text{ cm}^{-1}$ y en la muestra alterada el pico se produce en $1471,42\text{ cm}^{-1}$.

Muestra sin alterar.



Muestra sin alterar.



Como conclusión general, se debe resaltar que todos los espectros son semejantes, es decir, todas las muestras analizadas en este proyecto tienen la misma composición química. En todos los espectros aparece un pequeño pico de absorción

aproximadamente en 1600 cm^{-1} , pero aunque este pico es poco significativo, está en todas las muestras analizadas por lo que indica que existe un cambio en la estructura del material. No se ha podido identificar la composición de los materiales porque no disponemos de patrones de comparación.

4.4. pH superficial

Las muestras permanecieron aproximadamente durante 500 horas en las cámaras climáticas del Instituto Andaluz de Tecnología. Tras este periodo de tiempo, se sacaron de las cámaras para medir su pH superficial. Se midió tanto el pH en las muestras sin alterar como en las muestras alteradas para ver si habían sufrido un cambio importante.

La medición del pH se realizó con un ph-metro de contacto superficial.



Figura 4.14: Fotografía pH-metro

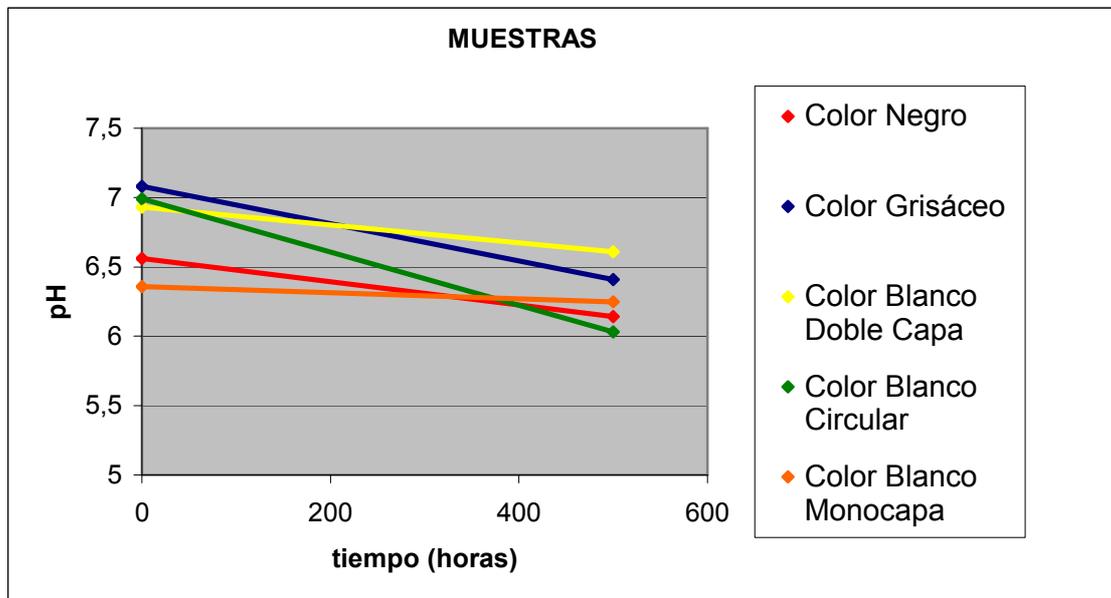
En este proyecto, la medición del pH de los materiales utilizados es muy sencilla. Hay que humedecer la punta del electrodo en agua destilada y a continuación colocar dicho electrodo directamente sobre las muestras, donde en la superficie se vierte una gota de agua destilada, y esperar a que la lectura del pH se estabilice. Cuando se termina de medir, se debe enjuagar el electrodo con agua destilada antes de realizar la siguiente medida.

Los resultados que se obtuvieron fueron los siguientes:

➤ **ESPUMAS DE POLIETILENO**

	Color Negro	Color Grisáceo	Color Blanco Doble Capa	Color Blanco Circular	Color Blanco Monocapa
pH muestra sin alterar	6,56	7,08	6,93	6,99	6,36
pH muestra alterada	6,14	6,41	6,61	6,03	6,25

A continuación, se representó una gráfica de pH frente a tiempo de las espumas de polietileno.

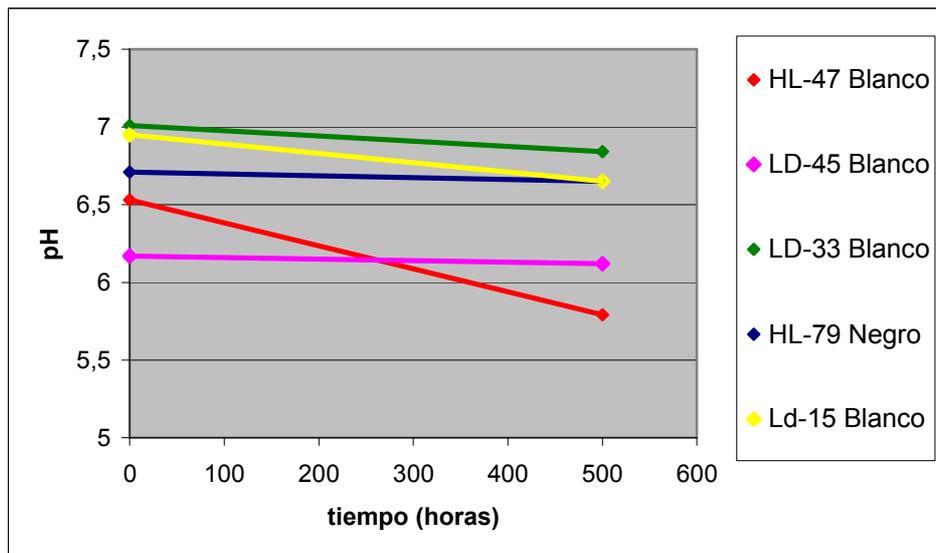


Se observa en el gráfico anterior como el valor del pH de la muestra sin alterar es mayor al valor de la muestra alterada, es decir, las muestras cuando se someten a ciclos variantes de temperatura y humedad se vuelven más ácidas. Se obtuvo una variación importante del pH en la muestra de polietileno de color grisáceo. Al sacar esta muestra de la cámara, al igual que la espuma de color negro, el color que había adquirido la muestra era amarillento.

➤ **ESPUMAS POLIMÉRICAS**

	Letra A	Letra B	Letra C	Letra D	Letra Q
pH muestra sin alterar	6,53	6,17	7,01	6,95	6,71
pH muestra alterada	5,79	6,12	6,84	6,65	6,65

En este caso, los resultados que se obtuvieron fueron:



En este caso, se obtienen las mismas condiciones que en el caso anterior. Las muestras analizadas, al cabo de las 500 horas, se vuelven más ácidas. En este caso, el cambio más significativo de pH es el de la muestra que tiene la letra A. Hay que tener mucho cuidado con estos cambios de pH ya que pueden provocar daños irreversibles en las obras de arte.

Para que un material sea utilizado en almacenamiento y/o exhibición de obras de arte tiene que tener un pH cercano a la neutralidad. En esta investigación, el pH de las muestras originales está en torno a 7. Las muestras tras el ensayo acelerado no deben ser ni muy ácidas ni muy básicas ya que pueden provocar deterioros en las obras de arte.