

## Sumari

<b>SUMARI</b>	<b>1</b>
<b>A RESULTATS EXPERIMENTALS</b>	<b>3</b>
A.1 Mesures amb aigua ultrapura com a líquid de contacte.....	3
A.2 Mesures amb D.M.E.M. com a líquid de contacte.....	12
A.3 Caracterització de la rugositat de les mostres.....	20
<b>B TRACTAMENT ESTADÍSTIC DE LES MESURES EXPERIMENTALS</b>	<b>28</b>
<b>C MÈTODES D'ESTERILITZACIÓ</b>	<b>30</b>
C.1 Introducció.....	30
C.2 Esterilització por vapor de agua saturado (calor húmedo).....	32
C.3 Esterilització por óxido de etileno.....	38
C.4 Esterilització por radiación .....	44
<b>D PRESSUPOST</b>	<b>51</b>





## A Resultats experimentals

### A.1 Mesures amb aigua ultrapura com a líquid de contacte

A continuació, es presenten els resultats de les mesures de l'angle de contacte d'avançament,  $\theta_a$ , retrocés,  $\theta_r$ , i histèresi,  $\Delta\theta = \theta_a - \theta_r$ , amb les corresponents mitjanes  $\bar{\theta}_a$ ,  $\bar{\theta}_r$  i  $\bar{\Delta\theta}$  respectivament.

Els paràmetres  $\delta\theta_{as}$ ,  $\delta\theta_{rs}$  i  $\delta\Delta\theta_s$  corresponen als errors de naturalesa sistemàtica associats a les variables  $\theta_a$ ,  $\theta_r$  i  $\Delta\theta$  respectivament.

Provetes sense esterilitzar i polides (grup 11)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	71	42	30
2	74	46	28
3	82	48	34
4	75	39	36
5	77	46	31
6	78	48	31
7	77	47	29
8	72	49	24
9	77	43	34

$$\bar{\theta}_a = (76 \pm 2)^\circ, \bar{\theta}_r = (45 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (31 \pm 4)^\circ$$



Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 21)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	71	19	53
2	82	41	41
3	84	47	37
4	74	34	39
5	78	41	37
6	82	39	43
7	69	37	32
8	86	38	48
9	84	37	48

$$\bar{\theta}_a = (79 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (37 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (42 \pm 5)^\circ$$

Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 31)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	73	44	29
2	74	33	41
3	74	38	36
4	73	39	34
5	77	37	40
6	66	42	24
7	77	42	34
8	81	38	43
9	84	46	38

$$\bar{\theta}_a = (75 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (40 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (35 \pm 5)^\circ$$



Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 41)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	59	33,	25
2	60	29	32
3	61	32	29
4	70	36	33
5	73	44	29
6	60	38	22
7	63	35	28
8	60	32	28
9	69	33	35

$$\bar{\theta}_a = (64 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (35 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (29 \pm 4)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i polides (grup 12)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	95	84	12
2	98	87	11
3	96	82	14
4	93	83	9
5	95	87	8
6	96	86	10
7	42	25	17
8	57	34	23
9	80	54	27

$$\bar{\theta}_a = (84 \pm 8)^\circ, \bar{\theta}_r = (69 \pm 10)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (14 \pm 5)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 22)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	104	66	38
2	118	91	27
3	114	67	47
4	93	60	33
5	111	81	30
6	112	78	34
7	114	83	32
8	114	85	29
9	127	56	72

$$\bar{\theta}_a = (112 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (74 \pm 6)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (38 \pm 8)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 32)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	128	98	30
2	127	90	36
3	125	95	29
4	122	95	27
5	120	93	27
6	125	102	23
7	116	86	29
8	96	74	23
9	97	65	33

$$\bar{\theta}_a = (117 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (89 \pm 6)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (28 \pm 4)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 42)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	118	84	35
2	114	89	25
3	112	66	46
4	114	79	34
5	113	82	30
6	108	72	36
7	114	90	24
8	124	93	31
9	119	88	32

$$\bar{\theta}_a = (115 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (83 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (32 \pm 5)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i polides (grup 13)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	52	36	16
2	39	30	9
3	29	19	9
4	53	40	12
5	46	35	12
6	60	34	26
7	61	40	21
8	55	39	15
9	56	40	16

$$\bar{\theta}_a = (50 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (35 \pm 4)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (15 \pm 5)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 23)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	47	36	11
2	42	34	8
3	50	40	10
4	44	28	16
5	42	31	11
6	45	32	12
7	77	61	16
8	66	47	19
9	67	53	14

$$\bar{\theta}_a = (53 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (40 \pm 6)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (13 \pm 4)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 33)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	111	87	24
2	92	35	57
3	120	92	27
4	85	44	41
5	85	61	24
6	89	60	29
7	84	53	32
8	84	52	32
9	92	62	30

$$\bar{\theta}_a = (93 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (61 \pm 8)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (33 \pm 6)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 43)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	71	43	28
2	66	38	28
3	78	57	21
4	83	63	20
5	80	58	22
6	84	50	34
7	94	75	19
8	97	75	23
9	94	64	30

$$\bar{\theta}_a = (83 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (58 \pm 6)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (25 \pm 5)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb radiació gamma i polides (grup 14)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	84	60	24
2	82	60	22
3	86	57	29
4	73	54	19
5	83	62	22
6	79	55	24
7	70	40	30
8	56	35	22
9	60	39	22

$$\bar{\theta}_a = (75 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (51 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (24 \pm 4)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules d'alúmina F-36  
(grup 24)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	41	32	9
2	58	27	31
3	56	33	22
4	74	47	27
5	77	41	36
6	70	45	25
7	51	34	17
8	42	25	17
9	34	22	12

$$\bar{\theta}_a = (56 \pm 6)^\circ, \bar{\theta}_r = (34 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (22 \pm 6)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 34)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	78	53	24
2	83	62	22
3	86	61	25
4	98	78	19
5	94	54	39
6	62	37	25
7	84	46	38
8	91	63	28
9	87	59	29

$$\bar{\theta}_a = (85 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (57 \pm 6)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (28 \pm 5)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 44)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	87	52	35
2	88	32	56
3	76	48	28
4	54	33	21
5	61	35	26
6	61	36	25
7	83	42	41
8	80	48	32
9	74	49	25

$$\bar{\theta}_a = (74 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (42 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (32 \pm 7)^\circ$$



## A.2 Mesures amb D.M.E.M. com a líquid de contacte

A continuació, es presenten els resultats de les mesures de l'angle de contacte d'avançament,  $\theta_a$ , retrocés,  $\theta_r$ , i histèresi,  $\Delta\theta = \theta_a - \theta_r$ , amb les corresponents mitjanes  $\bar{\theta}_a$ ,  $\bar{\theta}_r$  i  $\bar{\Delta\theta}$  respectivament.

Els paràmetres  $\delta\theta_{as}$ ,  $\delta\theta_{rs}$  i  $\delta\Delta\theta_s$  corresponen als errors de naturalesa sistemàtica associats a les variables  $\theta_a$ ,  $\theta_r$  i  $\Delta\theta$  respectivament.

Provetes sense esterilitzar i polides (grup 11)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	61	36	25
2	57	35	23
3	49	25	24
4	47	24	23
5	71	38	33
6	67	33	35

$$\bar{\theta}_a = (59 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (32 \pm 4)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (27 \pm 5)^\circ$$

Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 21)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	68	26	41
2	69	30	39
3	73	34	39
4	68	29	39
5	68	27	41
6	71	26	45
7	50	26	24
8	64	29	34

$$\bar{\theta}_a = (66 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (28 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (38 \pm 5)^\circ$$



Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 31)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	50	22	27
2	48	25	23
3	49	28	20
4	64	32	32
5	66	31	35
6	75	40	35
7	71	33	37
8	60	25	35
9	64	35	29

$$\bar{\theta}_a = (61 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (30 \pm 4)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (30 \pm 5)^\circ$$

Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 41)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	66	27	39
2	63	33	30
3	69	36	33
4	76	41	35
5	68	34	34
6	73	39	34
7	65	33	32
8	62	30	33
9	66	34	31

$$\bar{\theta}_a = (68 \pm 2)^\circ, \bar{\theta}_r = (34 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (33 \pm 4)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i polides (grup 12)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	20	12	8
2	14	8	7
3	15	12	3

$$\bar{\theta}_a = (16 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (10 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (6 \pm 4)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 22)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	97	62	35
2	107	65	42
3	115	59	56
4	115	60	55
5	113	56	57
6	110	68	42
7	116	63	53
8	119	62	57

$$\bar{\theta}_a = (111 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (62 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (50 \pm 6)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 32)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	114	84	30
2	135	92	43
3	124	80	43
4	118	71	48
5	112	60	51
6	117	63	54

$$\bar{\theta}_a = (120 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (75 \pm 7)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (45 \pm 7)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 42)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	103	84	20
2	110	89	21
3	112	66	45
4	100	79	21
5	101	82	18
6	98	72	26
7	108	90	18
8	104	93	11

$$\bar{\theta}_a = (104 \pm 3)^\circ, \bar{\theta}_r = (82 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (22 \pm 7)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i polides (grup 13)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	13	6	7
2	15	6	9
3	24	16	8
4	36	16	20

$$\bar{\theta}_a = (22 \pm 6)^\circ, \bar{\theta}_r = (11 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (11 \pm 6)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 23)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	86	33	52
2	94	37	57
3	103	29	74
4	110	33	77
5	95	35	60

$$\bar{\theta}_a = (98 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (33 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (64 \pm 8)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 33)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	79	32	47
2	80	36	44
3	94	38	55
4	99	39	61
5	101	32	69
6	79	26	52
7	105	38	67
8	96	38	58
9	106	44	62

$\bar{\theta}_a = (93 \pm 5)^\circ$ ,  $\bar{\theta}_r = (36 \pm 4)^\circ$  i  $\bar{\Delta\theta} = (57 \pm 6)^\circ$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 43)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	80	38	42
2	78	32	47
3	80	34	46
4	80	38	41
5	75	28	47
6	79	27	52
7	81	44	37
8	77	39	38

$\bar{\theta}_a = (79 \pm 2)^\circ$ ,  $\bar{\theta}_r = (35 \pm 4)^\circ$  i  $\bar{\Delta\theta} = (44 \pm 5)^\circ$



Provetes esterilitzades amb radiació gamma i polides (grup 14)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	27	13	14
2	22	10	12
3	19	6	12
4	10	6	4
5	16	7	9

$$\bar{\theta}_a = (19 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (8 \pm 3)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (10 \pm 5)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 24)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	92	48	44
2	90	39	51
3	80	37	43
4	104	58	46
5	109	45	63
6	110	40	70
7	105	46	59
8	109	48	61
9	107	35	71

$$\bar{\theta}_a = (100 \pm 5)^\circ, \bar{\theta}_r = (44 \pm 4)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (56 \pm 7)^\circ$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 34)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	112	35	77
2	109	52	57
3	107	60	47
4	71	39	32
5	92	45	46
6	100	40	60
7	100	34	66

$$\bar{\theta}_a = (99 \pm 6)^\circ, \bar{\theta}_r = (44 \pm 5)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (55 \pm 8)^\circ$$

Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 44)

Mesura	$\theta_a$ (°) $\delta\theta_{as}=1^\circ$	$\theta_r$ (°) $\delta\theta_{rs}=2^\circ$	$\Delta\theta$ (°) $\delta\Delta\theta_s=3^\circ$
1	88	40	48
2	87	44	43
3	76	31	45
4	62	26	36
5	83	25	58
6	81	34	47
7	75	27	47
8	76	29	47

$$\bar{\theta}_a = (78 \pm 4)^\circ, \bar{\theta}_r = (32 \pm 4)^\circ \text{ i } \bar{\Delta\theta} = (46 \pm 5)^\circ$$



### A.3 Caracterització de la rugositat de les mostres

S'han escollit els paràmetres  $R_a$  i  $P_c$  per a quantificar la rugositat de les diferents mostres. Es presenten els valors obtinguts d'aquests paràmetres per a les diferents mostres, la i llurs mitjanes,  $\bar{R}_a$  i  $\bar{P}_c$ . També s'han inclòs imatges de la topografia en tres dimensions.

Provetes sense esterilitzar i polides (grup 11)

Mesura	$R_a (\mu\text{m}) \cdot 10^{-3}$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	54	$156 \pm 3$
2	64	$91 \pm 2$
3	14	$225 \pm 2$
4	31	$171 \pm 2$
5	88	$200 \pm 2$
6	25	$253 \pm 2$
7	23	-
8	30	-
9	14	-

$$\bar{R}_a = (38 \pm 13) \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (183 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 21)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	2,420	$98 \pm 2$
2	1,890	$130 \pm 2$
3	2,250	$110 \pm 1,4$
4	2,320	$98,9 \pm 1,3$
5	2,420	$128,9 \pm 1,4$
6	1,890	$87,9 \pm 1,3$
7	2,520	-
8	2,040	-
9	3,160	-

$$\bar{R}_a = (2,32 \pm 0,14) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (109 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 31)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,310	112 $\pm$ 2
2	1,260	117 $\pm$ 2
3	1,310	117,6 $\pm$ 1,4
4	1,680	109,6 $\pm$ 1,3
5	1,510	115,0 $\pm$ 1,4
6	1,170	111,4 $\pm$ 1,2
7	1,430	-
8	1,460	-
9	1,380	-

$$\bar{R}_a = (1,39 \pm 0,06) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (113,7 \pm 1,4) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes sense esterilitzar i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 41)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	2,160	110 $\pm$ 2
2	2,500	105 $\pm$ 2
3	1,750	116 $\pm$ 2
4	1,870	93,4 $\pm$ 1,3
5	2,110	101,5 $\pm$ 1,4
6	2,120	115,9 $\pm$ 1,3
7	1,930	-
8	1,740	-
9	1,630	-

$$\bar{R}_a = (1,98 \pm 0,10) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (107 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i polides (grup 12)

Mesura	$R_a (\mu\text{m}) \cdot 10^{-3}$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	11	212 ± 2
2	35	173 ± 3
3	43	160 ± 3
4	35	229 ± 2
5	47	175 ± 2
6	39	153 ± 2
7	40	-
8	41	-
9	48	-

$$\bar{R}_a = (37 \pm 9) \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (184 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 22)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	2,210	114 ± 2
2	2,620	110 ± 3
3	2,550	105 ± 3
4	2,070	100,0 ± 1,3
5	2,540	102,7 ± 1,5
6	2,030	92,4 ± 1,3
7	2,280	-
8	2,740	-
9	1,940	-

$$\bar{R}_a = (2,33 \pm 0,10) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (104 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 32)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,100	115 ± 2
2	1,280	111 ± 2
3	1,270	124 ± 2
4	1,560	103,9 ± 1,3
5	1,620	105,9 ± 1,2
6	1,210	106,0 ± 1,1
7	1,440	-
8	1,440	-
9	1.230	-

$$\bar{R}_a = (1,35 \pm 0,06) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (111,0 \pm 1,4) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb vapor d'aigua saturat i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 42)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	2,010	116 ± 2
2	2,140	104 ± 2
3	1,760	119 ± 2
4	1,810	123,8 ± 1,3
5	2,270	104,2 ± 1,2
6	3,360	106,9 ± 1,4
7	2,040	-
8	1,730	-
9	2,110	-

$$\bar{R}_a = (2,14 \pm 0,17) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (112 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i polides (grup 13)

Mesura	$R_a (\mu\text{m}) \cdot 10^{-3}$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	16	227 ± 3
2	7	265 ± 2
3	34	199 ± 3
4	12	239 ± 2
5	25	227 ± 2
6	20	204 ± 2
7	17	-
8	10	-
9	14	-

$$\bar{R}_a = (17 \pm 8) \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (227 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 23)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	3,290	99 ± 2
2	2,470	84 ± 2
3	1,950	90 ± 2
4	2,710	88,1 ± 1,2
5	1,700	82,3 ± 1,2
6	1,980	108,0 ± 1,3
7	2,110	-
8	3,360	-
9	2,330	-

$$\bar{R}_a = (2,4 \pm 0,2) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (92,0 \pm 1,5) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 33)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,100	124,6 $\pm$ 1,3
2	1,280	97,1 $\pm$ 1,3
3	1,290	124 $\pm$ 2
4	1,330	103,9 $\pm$ 1,0
5	1,440	107,3 $\pm$ 1,2
6	1,480	110,7 $\pm$ 1,1
7	1,230	-
8	1,200	-
9	1,290	-

$$\bar{R}_a = (1,29 \pm 0,04) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (111,3 \pm 1,2) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 43)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	2,000	109 $\pm$ 2
2	1,710	108,3 $\pm$ 1,4
3	1,860	91 $\pm$ 2
4	2,240	100,4 $\pm$ 1,2
5	1,830	100,0 $\pm$ 1,3
6	1,580	107,2 $\pm$ 1,3
7	1,910	-
8	2,110	-
9	2,490	-

$$\bar{R}_a = (1,97 \pm 0,10) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (102,7 \pm 1,4) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb radiació gamma i polides (grup 14)

Mesura	$R_a (\mu\text{m}) \cdot 10^{-3}$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	12	278 ± 3
2	17	205 ± 3
3	18	195 ± 3
4	18	282 ± 2
5	14	177 ± 2
6	9	202 ± 3
7	18	-
8	28	-
9	15	-

$$\bar{R}_a = (17 \pm 7) \cdot 10^{-3} \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (223 \pm 3) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules d'alúmina F-36 (grup 24)

Mesura	$R_a (\mu\text{m})$ $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,790	123 ± 2
2	1,650	139 ± 2
3	2,620	143 ± 2
4	2,000	94,6 ± 1,3
5	1,580	133,0 ± 1,4
6	1,760	114 ± 2
7	1,420	-
8	1,540	-
9	1,670	-

$$\bar{R}_a = (1,78 \pm 0,12) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (124 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



Provetes esterilitzades amb òxid d'etilè i granallades amb partícules d'alúmina F-60 (grup 34)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,460	123,7 $\pm$ 1,4
2	0,970	137 $\pm$ 2
3	1,070	124 $\pm$ 2
4	1,370	110,0 $\pm$ 1,2
5	1,720	129,5 $\pm$ 1,4
6	1,160	124,0 $\pm$ 1,4
7	1,690	-
8	1,470	-
9	1,330	-

$$\bar{R}_a = (1,36 \pm 0,09) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (124,8 \pm 1,4) \text{ mm}^{-1}$$

Provetes esterilitzades amb radiació gamma i granallades amb partícules de SiC F-36 (grup 44)

Mesura	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ ) $\delta R_a = 5 \cdot 10^{-3} \mu\text{m}$	$P_c \pm \delta P_c$ ( $\text{mm}^{-1}$ )
1	1,930	110 $\pm$ 2
2	1,310	128 $\pm$ 2
3	1,840	161 $\pm$ 2
4	2,430	116,1 $\pm$ 1,2
5	2,080	112 $\pm$ 2
6	1,300	140,7 $\pm$ 1,3
7	1,810	-
8	1,270	-
9	1,420	-

$$\bar{R}_a = (1,71 \pm 0,14) \mu\text{m} \text{ i } \bar{P}_c = (128 \pm 2) \text{ mm}^{-1}$$



## B Tractament estadístic de les mesures experimentals

En un principi i fins que no es digui el contrari, s'obviaran els errors sistemàtics.

Es considera  $u$  la variable aleatòria d'interès de la qual es realitzen  $N$  mesures:  $u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_N$ . La mitjana mostral corresponent a les mesures anteriors és  $\bar{u} = \frac{\sum_{i=1}^N u_i}{N}$ .

Les incerteses experimentals que provenen de les mesures de la variable  $u$  reben el nom d'errors aleatoris, que poden ser tractats estadísticament. En canvi, les incerteses sistemàtiques, lligades a l'aparell i a la pròpia persona que realitza els experiments, no poden ser tractades de la mateixa manera, ja que no provenen d'una naturalesa aleatòria. La

variança mostral corresponent a les mesures realitzades és  $\sigma_u^2 = \frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}{N}$ , on

$(u_i - \bar{u}) = d_i$  és la desviació de la mesura  $i$  respecte la mitjana. La desviació típica o estàndard és  $\sigma_u$ . La desviació típica o estàndard corregida és

$\tilde{\sigma}_u = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}{N-1}}$ , que és la usada en el tractament. La desviació típica o

estàndard de la mitjana és  $\sigma_{\bar{u}} = \frac{\tilde{\sigma}_u}{\sqrt{N}} = \delta_{\bar{u}}$  (aquest error estadístic corresponent a la mitjana

es pot fer tan petit com es vulgui -sempre i quan no superi el sistemàtic- amb l'augment en el nombre de mesures). Com a resultat final de les mesures de la variable  $u$ , es dona  $\bar{u} \pm \delta_{\bar{u}}$ .

D'aquesta manera, el resultat de  $N$  mesures de la variable  $u$  amb errors sistemàtics negligibles és la mitjana mostral com a millor valor i la desviació típica o estàndard de la mitjana com a incertesa. En el cas que l'error sistemàtic no es pugui negligir, es proposa incloure'l com  $\delta_{\bar{u}} = \delta_{\bar{u}_{\text{estadístic}}} + \delta_{\bar{u}_{\text{sistemàtic}}}$ .

Donat un conjunt de mesures, si aquestes es distribueixen normalment i el nombre és suficientment gran, llavors un 70% (68.3%) de les noves mesures, realitzades amb el mateix equipament, estaran compreses en l'interval  $[\bar{u} - \tilde{\sigma}_u, \bar{u} + \tilde{\sigma}_u]$ . La distribució de probabilitat normal o de Gauss, que és una distribució límit de molts experiments, s'expressa com



$f_{\mu,\sigma}(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)$ . S'estima  $\mu$  com  $\bar{u}$  i  $\sigma$  com  $\tilde{\sigma}_u$ . La probabilitat que el valor d'una nova mesura, distribuïda normalment, caigui en l'interval  $[\bar{u} - 2\tilde{\sigma}_u, \bar{u} + 2\tilde{\sigma}_u]$  és del 95% (95.4%).

El tractament d'errors d'una funció,  $q$ , de dues variables aleatòries,  $x$  (de mitjana mostral i desviació estàndard de la mitjana  $\bar{x} \pm \delta_{\bar{x}}$ ) i  $y$  ( $\bar{y} \pm \delta_{\bar{y}}$ ), (es tracta el cas de dues variables per simplicitat, però el tractament és anàleg en el cas que n'hi hagi més de dues) que s'ha realitzat és

$q(x,y)$ , on la mitjana correspon a  $\bar{q}(\bar{x}, \bar{y})$  i l'error associat a la mitjana  $\delta\bar{q}$  és

$$\delta\bar{q} = \left( \left( \frac{\partial q}{\partial x} \sigma_{\bar{x}} \right)^2 + \left( \frac{\partial q}{\partial y} \sigma_{\bar{y}} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}}$$
 en el cas que ambdues variables siguin independents. En el

cas que no ho siguin, es dóna una fita màxima de l'error expressada com

$$\delta\bar{q} \geq \left( \left| \frac{\partial q}{\partial x} \right| \sigma_{\bar{x}} + \left| \frac{\partial q}{\partial y} \right| \sigma_{\bar{y}} \right).$$



## C Mètodes d'esterilització

### C.1 Introducció

Para entender la importancia de las técnicas de esterilización cabe remitirse a la historia de la cirugía médica. Antes del conocimiento de los microorganismos patógenos toda intervención quirúrgica se llevaba a cabo sin prestar atención a las condiciones higiénicas, lo que facilitaba el riesgo de infecciones, procesos febriles y, en muchos casos, podía provocar la muerte. A raíz del descubrimiento de éstos, se empezó a tener conciencia de la dimensión de las repercusiones de su interacción con el cuerpo humano. A medida que se producían avances en su conocimiento se fueron perfeccionando las técnicas que permitían su eliminación o, en su defecto, su inactivación. No fue hasta que se tuvo una conciencia clara de la importancia de establecer unos criterios unificados que garantizaran la asepsia en las intervenciones quirúrgicas que se constituyeron los organismos de salud pública a nivel estatal e internacional. A continuación se procede a definir un conjunto de parámetros importantes en el marco de la técnica de esterilización.

Al número de organismos viables presentes en un material o instrumento se le denomina **carga microbiana** o contaminación inicial. El nivel aceptable de carga microbiana dependerá, en todo caso, del entorno y el riesgo asociado a éste para el paciente. A la práctica existen diferentes métodos o técnicas para la reducción o eliminación de microorganismos (Figura 1).



---

## MÉTODOS PARA LA REDUCCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA

AREA	MÉTODOS	REDUCCIÓN DE LA CARGA MICROBIANA
Cerca del paciente.	Limpieza.	Limpiar el polvo visible. Expulsión de los microorganismos por irrigación.
BAJO RIESGO: sobre la piel intacta del paciente.	Descontaminación: nivel bajo.	Eliminación de la mayor parte de las bacterias vegetativas, hongos protozoos y muchos virus. No se eliminan las esporas.
RIESGO MEDIO: Sobre/dentro del paciente (membranas o mucosas).	Desinfección: nivel alto	Eliminación de todas las bacterias vegetativas, algunas esporas, hongos, protozoos y todos los virus.
ALTO RIESGO: Dentro del paciente (heridas abiertas, piel o membranas, mucosas laceradas).	Esterilización	Eliminación de todos los microorganismos incluyendo las esporas.

---

La limpieza es la eliminación de toda suciedad, polvo o mineral extraño visible. Generalmente comprende:

Una acción mecánica: frotado, cepillado, lavado con agua a presión o uso de aire a presión.

Una acción química: aplicación de jabón y agua para inhibir y eliminar el polvo y microorganismos.

Calor: mejora las propiedades de disolución del agua el jabón.

La limpieza de los productos sanitarios será importante:

Para eliminar la suciedad visible y partículas extrañas. El instrumental médico, especialmente el quirúrgico, pruebas complementarias y de curas, no debe tener microorganismos en superficies interna y externa, ni cualquier resto de polvo o partícula.



## C.2 Esterilización por vapor de agua saturado (calor húmedo)

La esterilización por vapor de agua (también denominada esterilización por calor húmedo) es un método físico de esterilización. Actúa por contacto, desnaturalizando y coagulando las proteínas o sistema intracelular de las bacterias. El hecho que el vapor de agua saturado (“saturado” en el sentido que el porcentaje de aire es nulo) sea un agente esterilizante altamente efectivo radica en su elevado coeficiente de transmisión de calor, energía responsable de la eliminación de los microorganismos. Este proceso se lleva a cabo en autoclaves.

Las variables de interés en el proceso que se deben controlar, según normativa específica, para que el proceso sea satisfactorio son: temperatura (T), tiempo de exposición ( $t_e$ ) y presión.

El calor húmedo se consigue a partir de vapor de agua saturado a presión lo que hace que la temperatura de éste aumente ya que el volumen del autoclave, como es obvio, permanece constante.

El elevado coeficiente de transmisión de calor -conductividad térmica- del vapor de agua (mucho mayor que el del aire seco) y el elevado calor latente de vaporización, que absorbe el agua en la transformación de ésta a vapor, son puntos clave en la eficacia de éste como sustancia esterilizante. El calor del vapor de agua saturado se libera hacia el material a esterilizar y este aporte de energía se hace máximo cuando el vapor condensa, proceso en el cual se libera calor y corresponde al calor latente de vaporización que constituye el agente responsable de la eliminación de bacterias y esporas.

### Características del vapor de agua saturado

Elevada efectividad bactericida y esporicida

Rápida actividad

Gran poder de penetración, tanto en el interior de los paquetes como en los contenedores

Compatibilidad con la mayoría de materiales

No es tóxico

Adecuado para pequeñas y grandes instalaciones



Capacidad de monitorización: controles físicos, químicos y biológicos

Costos razonables

### **Fases del ciclo de esterilización**

**Carga** del material a esterilizar

**Acondicionamiento:** eliminación previa del aire de la cámara y de la carga para conseguir que el vapor humecte toda la superficie de la carga (ya que el aire no es miscible con el vapor de agua y actúa como barrera para el vapor de agua)

**Exposición** al vapor

**Evacuación** del vapor

**Secado**

**Nivelación** de la presión atmosférica

**Apertura** de la puerta

El ciclo tiene un tiempo de duración del orden de unos 45 a 70 minutos.

En relación a la etapa 1, la carga del material se debe realizar distribuyendo el material a esterilizar en disposición de tal manera que se asegure el íntimo contacto con el vapor de agua, por lo que se evitará que los distintos elementos a esterilizar se solapen entre ellos y la sobrecarga.

### **Material de empaquetado**

Todos los materiales que han de ser esterilizados por vapor presurizado deben ser empaquetados de una manera determinada, basada en el principio de incrementar la facilidad de la esterilización y preservar su esterilidad. Existen distintos materiales para envolver los artículos, todos ellos deben proteger los artículos del polvo, de la penetración de contaminantes, etc., y, a su vez, deben ser de fácil manipulación para facilitar el empaque y el reparto.



Condiciones de empaque biomédico

Ser barrera biológica

Permeable al agente esterilizante

No ser tóxico, ni desprender pelusas, fibras u otro tipo de sustancias

Repelente al agua (hidrofóbico)

No combinarse con el agente esterilizante

Papel: pulpa de madera (pasta química blanqueada), de pH=5-8 y masa específica de 60g/m<sup>2</sup>, que no debe contener blanqueadores ópticos ni almidón. Al ser un material poroso, permite el paso del vapor de agua con facilidad. Es económico y debe almacenarse en sitio fresco y seco para evitar su deterioro.

Textil: los paquetes de tela están fabricados de muselina de algodón de doble capa (240 hebras por pulgada cuadrada). No es aconsejable debido a su elevada porosidad a no ser que se usen tejidos lavados recientemente y en disposición en triple barrera (tejido – papel – tejido) o en bolsas permeables al vapor y no al aire.

Cajas metálicas y contenedores perforados: empaques eficaces y útiles que se provienen de filtros para preservar la esterilización. Los últimos deben ir provistos de papel bacteriostático en las zonas perforadas.

Papel-plástico(film transparente de PP o poliéster): el papel y el plástico están laminados espalda con espalda a lo largo de sus bordes formando una manga. El artículo se coloca dentro de la manga y se sellan los extremos mediante calor o uso de cinta. Los sobre de papel-film transparente de PP reciben el nombre de Pouches.

Se deben usar indicadores químicos en cada uno de los procesos de esterilización. Dichos indicadores pueden ser internos (tiras impregnadas con la sustancia química reactiva), externos (cinta control de viraje autoadhesiva que a la vez permite el sellado), en forma de sellos impresos sobre bolsas, etc. El viraje debe ser observable en cada una de las unidades procesadas a fin de atestiguar que las mismas han pasado por el proceso. No indican nada frente a la calidad del proceso. Los verificadores de control ofrecen una manera de comprobar la eficiencia y eficacia del proceso de esterilización. El verificador químico es un objeto (la cinta es un ejemplo) que está tratado con un material que cambia sus características (varía de color) cuando se lo esteriliza. En el caso de la cinta, el verificador químico se impregna en ella. Estos viran cuando se han alcanzado ciertas condiciones para la esterilidad. En otras palabras, el agente químico responde a las condiciones tales como la



presión, humedad, etc., pero no lo hace del tiempo de exposición, que constituye una variable fundamental para la esterilización.

Entonces hay que realizar controles biológicos de forma periódica para comprobar que en la esterilización se produce el efecto bactericida y esporicida deseados. Para la esterilización de vapor se utilizan las esporas secas de la bacteria bacillus stearotherophilus. Al final del proceso se recupera la cinta y se lo cultiva en las condiciones de esterilización y se observa si puede reproducirse o no.

En relación a la fase 4, en la que ocurre dicho proceso de esterilización, se presentan los valores estándares de la variables de interés usadas (según normativa)

	T (°C)	t <sub>e</sub> (minutos)	P (Kg/cm <sup>2</sup> )*
Opción 1	121	15	1.1
Opción 2	126	10	1.5
Opción 3	134	5	2.2

\* presión del vapor de agua sobre la presión atmosférica

En casos de emergencia, se acepta la aplicación del proceso "Flash" (T=134 °C y t<sub>e</sub>=3 minutos) debido al requerimiento inmediato de material esterilizado.

### Equipos de esterilización

Clasificación según la forma de eliminación del aire contenido en la cámara (el test de Bowie Dick permite determinar el porcentaje de aire residual):

gravitacionales: eliminación del aire de la cámara a través de una válvula termosensible. A medida que se incrementa la cantidad de vapor dentro de la cámara se eleva la temperatura, y cuando se alcanza la temperatura de esterilización se cierra dicha válvula.

con vacío previo y secado para evitar una contaminación posterior: se genera vacío dentro de la cámara para eliminar el aire.

La eliminación del aire es fundamental para garantizar una distribución homogénea del vapor, ya que actuará como aislante térmico.



Clasificación según la forma de generar el vapor

con generador propio de vapor

con generador de vapor externo

Elementos básicos autoclave: sistema de generación de vapor, sistemas de control de presión y válvulas de seguridad, llave de purga para eliminar el aire y sondas de temperatura.

En el caso de un autoclave con generador propio de vapor, se distingue una caldera de cobre, sostenida por una camisa externa metálica, que en la parte inferior recibe calor por combustión de gas o por resistencia eléctrica, cerrada en la parte superior por una tapa de bronce. Esta tapa posee tres orificios, uno para el manómetro, otro para el escape de vapor en forma de robinete y el tercero, para una válvula de seguridad. Se coloca agua en la caldera, procurando que su nivel no alcance a los objetos que se disponen sobre una rejilla de metal. Se cierra asegurando la tapa, sin ajustar los bulones y se da calor, dejando abierta la válvula de escape hasta que todo el aire desaloje y comience la salida de vapor en forma de chorro continuo y abundante.



### **Materiales y sustancias aptas**

Textiles secos

Instrumental quirúrgico (acero inoxidable)

Vidrio

Líquidos hidrosolubles no alterables por el calor  
(mediante un correspondiente programa especial para líquidos)

Fotografía de un autoclave usado en el ámbito



**Materiales y sustancias no aptas**

Sustancias grasas

Materiales sensibles al calor (plásticos, etc.)

Productos no hidrosolubles (talco, polvos, ...)

Soluciones termosensibles (complejo vitamínico B, suero Ringer, azúcares, ...)

\* En general, las sustancias líquidas no miscibles en agua no pueden llegar a ser alcanzadas por el vapor, hecho que las hace no esterilizable mediante este método.

**Ventajas del método**

Rapidez de calentamiento del sistema, seguridad y economía

Control automático de los autoclaves (programas monitorizados de control de las variables de interés y de la eficacia de la esterilización)

No generación de residuos tóxicos

Rápida penetración del vapor

Destrucción de los microorganismos en poco tiempo

**Inconvenientes del método**

Necesidad de tiempo de preparación y empaquetado de la carga, así como su ubicación en la autoclave

Corrosión de materiales metálicos

Deterioro de elementos con filo cortante

Deterioro de materiales plásticos y gomas



### C.3 Esterilización por óxido de etileno

El óxido de etileno (O.E.) se utiliza en los centros sanitarios y en la industria de dispositivos médicos / biomateriales para la esterilización del material medicoquirúrgico que es sensible al calor. Su uso está muy extendido debido a su eficacia de acción, buen coeficiente de difusión y posibilidad de trabajar a bajas temperaturas, aunque también es cierto que tiene algunos inconvenientes técnicos tales como lentitud del proceso de esterilización y retención en distintos materiales, así como de salubridad (es altamente tóxico; el contacto directo con él puede causar quemaduras de la piel, irritación respiratoria y de los ojos, anemia, vómito y diarrea además de considerarse mutagénico y cancerígeno por la FDA (Food and Drug Administration) y la OSCHA (Occupational Safety and Health Administration)).

Para los equipos que no pueden resistir las presiones y temperaturas extremas de la esterilización por vapor, el óxido de etileno es una alternativa aceptable. En consecuencia, sólo se esterilizan aquellos materiales que no sean capaces de resistir más de 115-120 °C, temperatura mínima a la que se trabaja en el autoclave de vapor. Artículos de goma, plástico, metal, etc. son esterilizados sin deterioro.

Algunos materiales no deben ser esterilizados por gas, como los textiles y celulosa (son muy absorbentes), materiales fabricados con Mg, Zn o Sn (se deterioran con OE), PMMA (retiene altas cantidades de OE), etc.

La capacidad del óxido de etileno para esterilizar depende de sus efectos tóxicos sobre la célula viva. El óxido de etileno se comporta químicamente como un agente alquilante, cuya propiedad consiste en reemplazar un átomo de hidrógeno en las proteínas moleculares del microorganismo por un hidroetil (reacciones con grupos fosfato y anillos nitrogenados de los ácidos nucleicos y sustituciones y entrecruzamientos irreversibles en grupos aminos, sulfhidrilo, etc de proteínas), e interferir en su metabolismo, afectando la actividad fisiológica normal y provocando la muerte de los microorganismos.

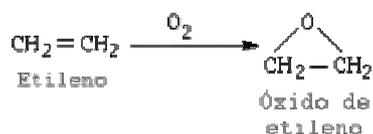
Estudios llevados a cabo sobre la toxicidad del OE y su repercusión en el uso como agente esterilizante han influenciado para incorporar en los autoclaves (maquinas de esterilización) características de seguridad encaminadas a reducir la cantidad de OE ambiental, así como el desarrollo e implantación de protocolos o procedimientos de trabajo.

Su uso es muy cuestionado debido principalmente a la toxicidad que presenta, habiéndose propuesto algunos sistemas alternativos como el plasma gas o el ácido peracético, aunque no puedan considerarse sustitutos al 100% del óxido de etileno.



## ¿Qué es el óxido de etileno (O.E.)?

El óxido de etileno se obtiene a partir del etileno mediante una reacción que se lleva a cabo en fase gaseosa, haciendo pasar el etileno y el oxígeno por una columna con un catalizador a base de sales de plata dispersas en un soporte sólido.



Es incoloro y de olor muy agradable, soluble en agua y en muchos disolventes orgánicos. Su punto de fusión es de  $-113,3^\circ\text{C}$ , su punto de ebullición de  $10,7^\circ\text{C}$  y su densidad en estado líquido es 0,882. Es muy inflamable y explosivo, además de cancerígeno.

El óxido de etileno, como tal, se usa para madurar fruta, como agente esterilizante, desinfectante, herbicida y fumigante.

### Breve historia del uso del O.E.

El óxido de etileno (OE) fue descubierto por Wurtz en 1859.

En 1928, los autores americanos Bac, Cotton y Ellington, Schrader y Bossert y alemanes, Gassner y Hase, descubrieron las propiedades del óxido de etileno como antibacteriano. Fue en este año cuando comenzó a utilizarse en fumigaciones.

En 1933 fueron certificadas las propiedades del óxido de etileno en un laboratorio de La Sorbona

En 1939 se estudió en un laboratorio de investigación del Ejército de U.S.A., empleándose, durante la segunda guerra mundial, como descontaminante biológico de material de guerra.

En 1962 se empleó por primera vez para la esterilización del instrumental médico, demostrándose una enorme eficacia ante todos los microorganismos.



## Proceso de esterilización por óxido de etileno

El ciclo automático de esterilización tiene una duración variable entre 2 y 4 horas en función de la concentración de óxido, de la humedad, de la temperatura de trabajo y del tipo de material y consta fundamentalmente de las siguientes partes:

Preacondicionamiento: expulsión del aire, humidificación y acondicionamiento de la presión.

Esterilización: entrada de gas

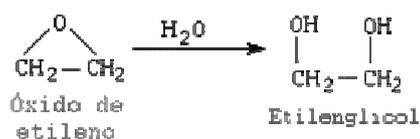
Eliminación forzada del gas y vacíos posteriores.

Para un correcto funcionamiento del proceso de esterilización se deben tener en cuenta una serie de acciones a tomar antes, durante y después del proceso.



### Acciones previas al proceso

El material debe someterse a una limpieza minuciosa para eliminar todos los restos de materia orgánica y enjuagar abundantemente los materiales una vez limpios. El material debe estar totalmente seco ya que el O.E., en presencia de agua, se hidroliza rápidamente formando etilenglicol.



Una vez los materiales están limpios y secos deben ser embolsados en papel mixto (plástico y papel) o en contenedores metálicos, nunca en textil,



debido a su capacidad absorbente. Las bolsas serán colocadas verticalmente en cestas de alambre de manera holgada (lo suficientemente separadas entre sí), de modo que siempre esté en contacto con papel plástico, con el fin de favorecer la difusión del gas hasta los materiales que se van a esterilizar. Se debe intentar introducir materiales con requerimientos de aireación similar.

### Acciones durante el proceso

Durante el proceso de esterilización se llevan a cabo una serie de controles que permiten comprobar el correcto funcionamiento del autoclave y del proceso de esterilización:

Control físico del autoclave a través de los gráficos y manómetros del autoclave.

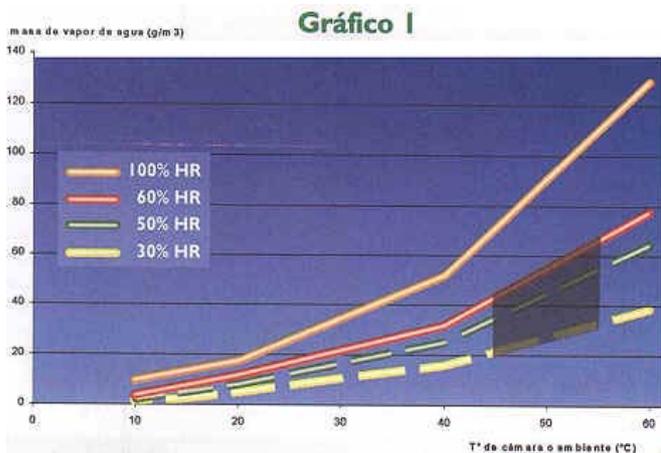
Control químico del proceso de esterilización a través de tiras colorimétricas de las que se coloca una en cada paquete.



Control biológico de la eficacia de esterilización. Se realiza a través de esporas inoculadas.

El proceso se ve intensificado tanto por acción del calor como de la humedad, manteniéndose la esterilizador de OE entre un 20 y un 40 % de humedad y a una temperatura que varía entre los 49 y los 60 °C. La presencia de moléculas de agua en

cantidades adecuadas es indispensable para aprovechar al máximo la capacidad esterilizante del oxido de etileno. En la actualidad los equipos cuentan con sistemas de humidificación que aportan el agua necesaria.



Un exceso de agua llevaría a la formación lenta de etilenglicol, lo cual no es conveniente y por supuesto entorpece el proceso de esterilización.



La velocidad de alquilación es proporcional a la temperatura, es decir, a mayor temperatura, mejor es el proceso de alquilación por lo que se sugiere no esterilizar a temperaturas inferiores a 35°C.

La bibliografía indica que el proceso se lleva a cabo en forma óptima a una temperatura de entre 45 y 55° C y una humedad relativa a esas temperaturas de entre 30 y 60 % de humedad, con lo que se alcanza una velocidad razonable de muerte microbiana.

**Acciones posteriores al proceso** Una vez finalizado el ciclo, todos los materiales deben ser aireados durante 12 horas como mínimo, a la misma temperatura que se ha realizado el ciclo para eliminar cualquier residuo de gas remanente en los materiales. Este proceso de aireación puede tener lugar en el propio autoclave una vez terminado el ciclo de esterilización o en las cabinas de aireación diseñadas específicamente para este fin. En este caso, el paso del material del autoclave a la cabina de aireación se hará de manera inmediata y sin etapas intermedias y se utilizará siempre: mascarilla específica, gorro, guantes y gafas. Los equipos de protección individual deben llevar la etiqueta CE y el folleto del fabricante debe especificar su adecuación para la protección frente al OE. Transcurrido el período de aireación, se coloca el material en la zona estéril listo para poder ser utilizado. Antes de su entrega se comprobará que los controles químicos y biológicos hayan proporcionado un resultado correcto.

### **Problemas del óxido de etileno**

Tal y como hemos ido comentando, los principales problemas que presenta la utilización de este método son los siguientes:

Toxicidad y exposición potencial de los empleados. Dicha exposición también alcanza de una manera indirecta al propio paciente, pues al analizar estos materiales se ha encontrado que el óxido de etileno es absorbido por ellos en grandes cantidades.

Es inflamable y explosivo.

Problemas medioambientales, por la mezcla del OE con componentes que dañan a la capa de ozono (como el 12-clorofluorocarbono (CFC-12) para transformarlo en no combustible ni inflamable).



## Presente y futuro del óxido de etileno

A pesar de todos los problemas tratados, que parecían condenar a este proceso, el óxido de etileno ha seguido siendo el método de esterilización para la mayoría de equipos y dispositivos médicos sensibles al calor y a la humedad.

Durante los últimos años, otros procesos de esterilización a baja temperatura y/o productos químicos han intentado desplazar al OE como método de esterilización, pero ninguno lo ha conseguido. Por ejemplo, diversos hospitales que inicialmente dejaron de procesar sus instrumentos y otros dispositivos con óxido de etileno, y que cambiaron a otro proceso de esterilización, están volviendo a procesar muchos de sus dispositivos con este óxido. Actualmente, el OE se usa para esterilizar el 55 % de todos los nuevos dispositivos fabricados en U.S.A.

Si bien el futuro del óxido de etileno como agente esterilizante de dispositivos médicos es seguro, esto no implica que el uso de este óxido no haya estado exento de problemas y complicaciones. Para prevenir problemas de salud laboral y en pacientes se han ido desarrollando controles, prácticas laborales, dispositivos y técnicas de utilización segura que han tratado estos problemas adecuadamente

Actualmente, se han desarrollado mezclas de OE que utilizan un componente HFC que no destruye la capa de ozono y que están en fase de prueba final.

En definitiva, la capacidad del óxido de etileno para eliminar microorganismos vegetativos y esporas en casi todo tipo de materiales y en dispositivos limpiados adecuadamente hace que su uso siga aumentando año tras año a pesar de las primeras previsiones realizadas hace unos años.



## C.4 Esterilización por radiación

### Introducción

La radiación definida de manera genérica, consiste en un haz formado por un gran número de partículas del tipo que corresponda. Una partícula es ionizante cuando al atravesar un medio e interactuar con los átomos del mismo, es capaz de arrancar electrones de las capas más externas de la corteza de los átomos, creando iones que son más inestables y activos químicamente que el átomo neutro inicial.

### Radiaciones no ionizantes

La acción de los rayos ultravioleta se debe a la producción de ozono que logra la asepsia, ya que este gas conserva su acción inhibidora hasta una dilución de 1 x 40.000. Los aminoácidos aromáticos de las proteínas y las bases púricas y pirimidínicas, en particular la timina del DNA, son los principales compuestos blancos afectados por la acción bactericida de la acción ultravioleta. Evitando la replicación de las tiras del DNA o causando recombinaciones que terminan en mutaciones mortales.

La porción ultravioleta del espectro incluye todas las radiaciones desde 15 a 390 nm aunque las longitudes entre 200 y 290 nm son las que tienen mayor eficacia como bactericidas.

La inactivación de los microorganismos por los UV, está en función de la dosis de energía radiante: la efectividad de la aplicación de una determinada intensidad de radiación es propia del intervalo de tiempo, sin embargo, la dosis requerida para los diferentes microorganismos varía ampliamente. Las bacterias vegetativas son de tres a diez veces más susceptibles a la inactivación que las bacterias esporuladas; los hongos y las esporas son cien a mil veces más resistentes que las bacterias vegetativas.

El uso de la luz ultravioleta como agente esterilizante no es recomendado ya que presenta problemas básicos de penetración y las superficies no irradiadas directamente no quedarán esterilizadas, lo que implica que cualquier grieta o hendidura, sombra o polvo servirá de protección a los microorganismos.

Por esta razón la luz ultravioleta se usa como elemento de reducción de la población microbiana en quirófanos, cuartos de llenados asépticos en la industria farmacéutica.



## **Radiaciones ionizantes**

### **Descripción de la técnica**

A modo de ejemplo se explicará a continuación el funcionamiento de un tipo de radiación; la radiación electromagnética.

En primer lugar es necesario producir electrones, para lo cual se necesita un filamento incandescente que los emita y una alimentación eléctrica para caldear dicho filamento.

Una vez tenemos una nube de electrones a los que hay que acelerar y hacerlos colisionar contra el nodo. Para ello hace falta que la carrera se haga en el vacío, con el fin de que no interfieran moléculas en su camino. Esto implica que todo ha de ir encerrado en una ampolla de vidrio.

Para acelerar los electrones hace falta una tensión eléctrica aplicada entre los extremos de la carrera, es decir, entre ánodo y cátodo.

Para iniciar la irradiación hace falta un temporizador electrónico ajustable desde centésimas o milésimas de segundo hasta algunos segundos. Con esto hemos completado el generador de manera muy simplificada.

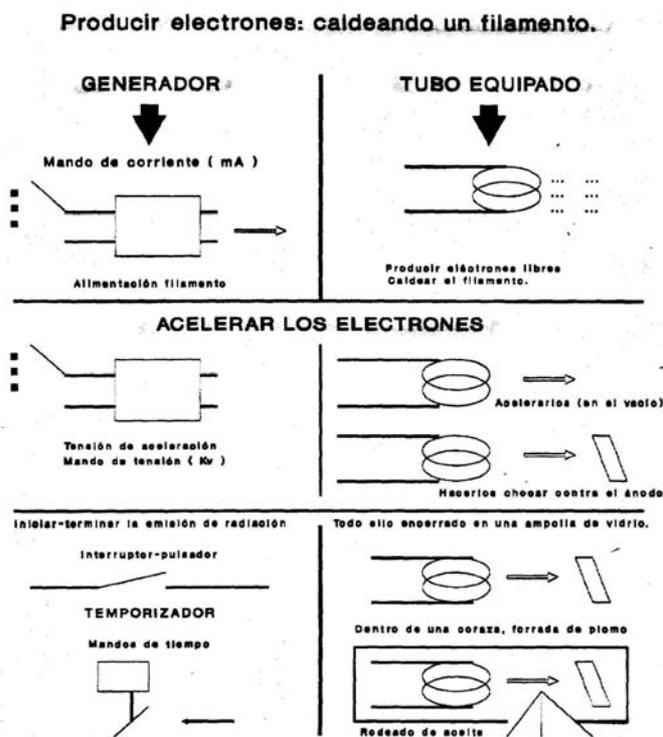
Variando la corriente del tubo (mili amperaje) cambia la temperatura del filamento y se modifica la cantidad de electrones emitidos.

Variando la tensión aplicada entre cátodo y ánodo (kilo voltaje) se modifica la energía de la colisión de los electrones contra el ánodo, obteniéndose radiación más o menos penetrante.

Para enfriar la ampolla de vidrio, la aislaremos eléctricamente del exterior e impidiendo que la radiación salga en todas direcciones, pero permitiendo que se dirija únicamente al campo de exploración, se encierra dicha ampolla en una coraza de aceite (que aísla eléctricamente y enfría) y todo ello blindado con plomo por todas partes, menos por la ventanilla de salida del haz de radiación.



A continuación se muestra un gráfico descriptivo del equipo:



En la esterilización de biomateriales, este poder ionizante se utiliza provocando la formación de moléculas excitadas y de radicales libres muy reactivos que, en el terreno biológico, facilitan la rotura de algunas biomoléculas, de modo especial las de ADN de los microorganismos, lo que sirve para su gran efecto bactericida. Como es lógico los resultados dependen de la dosis de ionización, del grado de contaminación inicial y de las características de las muestras, abarcando desde un grado máximo de esterilización a otros inferiores en función de la necesidad.

### Descripción del proceso industrial

Como norma general, los productos se introducen, sobre bandejas, en cinta transportadora, en la zona de ionización, cuya dimensión transversal al avance equivale al ancho útil del barrido del haz de electrones acelerados, pasando una sola vez (o dos, en el caso de ser oportuno un volteo). El tiempo de exposición a la radiación - que es lo que determina la dosis recibida- varía en función del producto y es un parámetro que habrá sido definido de antemano en una fase de estudio que puede prolongarse durante meses. Aún así, el tiempo utilizado es mínimo y se realiza el seguimiento informático de cada bandeja, a fin de garantizar que ha recibido la dosis ionizante prefijada. Una ventaja del sistema es que, generalmente, los productos pueden tratarse no previamente, sino ya





dentro de sus embalajes comerciales definitivos, lo que significa que se impide la recontaminación y que el tratamiento puede hacerse fuera de la línea de producción, incluso en una planta externa, de servicio multipropósito, que puede tratar productos muy variados de otras empresas procedentes de una relativa extensa área geográfica. Como la irradiación casi no aumenta la temperatura, los objetos hechos de plástico no sufren daño térmico.

## **Tipos**

### Radiaciones electromagnéticas.

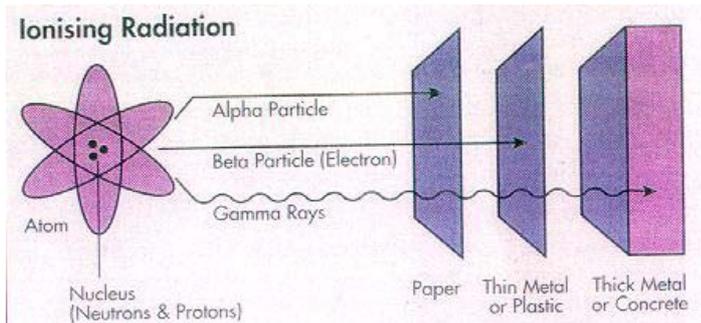
El principio de las radiaciones electromagnéticas es el transporte de energía sin soporte de material. El parámetro que distingue una de otra es la frecuencia o longitud de onda. Las ondas de alta energía ( Rayos X y rayos gamma ) son las que tienen poder ionizante. Los más utilizados son los rayos gamma, pues al tener mayor energía tienen mayor poder de penetración. El isótopo cobalto-60 es el más utilizado para emitir la radiación gamma.

### Haces de radiación de partículas con masa

Las partículas masivas que forman los haces de radiación ionizante se distinguen unas de otras básicamente en dos parámetros: su masa i carga. Las radiaciones alfa son partículas pesadas cargadas positivamente, y son emitidas por átomos de elementos de altos números atómicos.

Las radiaciones beta son emisiones de haces de electrones originados en los núcleos de los átomos en su proceso de desintegración. Son más penetrantes que las partículas alfa y pueden llegar a atravesar 1 ó 2 cm. de agua. Este tipo de radiación es muy interesante medioambientalmente, pues no produce residuos radioactivos como los isótopos de las radiaciones gamma.





### **Ventajas e inconvenientes**

La ventaja principal radica en que la esterilización se realiza dentro del embalaje de transporte. La mayoría de los equipos disponibles preenvasados por el fabricante han sido esterilizados. Esto supone que el producto no sea manipulado en su lugar de uso.

La desventaja principal es el coste importante que supone una instalación de esterilización mediante radiación ionizante comparada con los otros métodos más clásicos.

Es importante destacar que los materiales diseñados para ser utilizados una sola vez, nunca deben ser reesterilizados con métodos convencionales sin la recomendación expresa del fabricante pues podría cambiar su composición o deteriorarse y convertirse en un peligro para el paciente o el personal.

### **Aplicaciones**

El uso es prácticamente obligatorio para materiales que no soportan el calor o sustancias químicas utilizadas en otros sistemas. También se usa en producción industrial a gran escala para poder rentabilizar la inversión de la instalación.

Un uso ya rutinario de la radiación en grandes cantidades es la esterilización de productos médicos, tales como algodón, guantes y ropa de cirugía, suturas, jeringas, válvulas cardiacas, prótesis, etc. Para algunos de estos productos, los métodos alternativos de esterilización, como el calor o el vapor, no se pueden utilizar pues destruirían las características del material. En estos casos, la técnica más efectiva y barata resulta ser la irradiación con rayos gamma de cobalto-60.



También se incluyen los materiales anhidros tales como polvos y elementos con aceite mineral. Por otro lado también se aplican en implantaciones de injertos de tejidos biológicos, como huesos, nervios y recubrimientos de corion amniota para quemaduras.

En ocasiones, éste es el único método para esterilizar preparaciones de origen biológico y también polvos, pomadas o soluciones. El material irradiado no queda activado (la energía de los rayos gamma es demasiado baja), por lo que el usuario no recibe ninguna dosis al utilizar el material.

Otro ejemplo es la esterilización de tejidos orgánicos destinados a implantes como la piel de cerdo que se usa en el tratamiento regenerativo para quemados.

### **Protección radiológica**

La protección radiológica tiene como finalidad la defensa de las personas contra los riesgos que se derivan de las actividades humanas, que por las características de los equipos que manejan y materiales que utilizan, pueden implicar irradiaciones. En el caso que estamos estudiando el peligro se pueden separar en dos conceptos:

#### Peligro en la planta industrial de radiación ionizante

En este caso la protección se base en:

Equipos: Diseño, fabricación y mantenimiento

Instalación : Blindajes, distribución de salas, distancias, zonas protegidas)

Operación : Utilización adecuada de los equipos, empleo de accesorios de protección, optimización de técnicas para reducir la exposición y la realización de verificaciones periódicas, calibraciones etc..

Protección del personal : Utilización de blindajes plomados, delantales de plomos, dosímetros, guantes y gafas plomadas; además de la distancia y tiempo de operación.

#### Peligro del personal sanitario que manipula los biomateriales por los posibles efectos de la radiación en estos.

Las dosis utilizadas, las modificaciones provocadas por la ionización suelen ser iguales o menores que las ocasionadas por otras técnicas. Como la energía máxima usada es de 10 MeV resulta insuficiente para actuar sobre los núcleos, por lo que no se provocan incrementos significativos sobre los valores naturales existentes de radiactividad. Lo que sí aumentan, en ligeras proporciones, son los compuestos denominados radiolíticos, inducidos por la acción ionizante, pero suelen ser de la misma clase que los que ya se



encuentran normalmente en los productos tratados, y las investigaciones realizadas en los últimos 30 años no han descubierto que ello suponga ningún efecto nocivo.

### **Conclusión**

Actualmente, los beneficios de la utilización de las radiaciones ionizantes pueden obtenerse con un alto grado de seguridad, siempre que los procedimientos de trabajo se fundamenten en el conocimiento y la precaución y no en el miedo y la ignorancia.



## D Pressupost

El cost del present treball es pot calcular considerant que es tracta d'un treball d'investigació realitzat per una consultoria o laboratori d'assaigs a petició d'una empresa que fabrica implants dentals.

Els costos del treball es poden desglossar en els següents apartats

### 1. Personal

El personal necessari per a realitzar aquest estudi és de dues persones: un enginyer, per a dur a terme el treball de documentació bibliogràfica, preparació i disseny dels tractaments, anàlisi dels resultats i redacció de conclusions; i un tècnic o operari qualificat en les tècniques utilitzades per a realitzar els diferents assajos. L'estudi s'ha acabat en 5 mesos.

- Enginyer: 200 h x 40 euros/h 8.000 euros
- Operari: 200 h x 22 euros/h 4.400 euros

SUBTOTAL DE PERSONAL 12.400 euros

### 2. Amortització de l'equip

Equip	Preu de compra (euros)	Amortització (anys)	Temps d'ús (mesos)	Cost (euros)
Granalladora	3.000	2	1	125
Aparell Oca 15 plus	25.000	4	3	1.562,5
Polidora automàtica	2.000	2	1	83,3
Autoclau	1.000	1	2 setmanes	41,7

SUBTOTAL AMORTITZACIÓ DE L'EQUIP 1.812,5 euros



## 3. Material

- Titani comercialment pur grau II en planxa 300 euros
- Material de projecció (SiC i Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 90 euros
- Material de laboratori (aigua ultrapura, medi de cultiu, ...) 600 euros

SUBTOTAL DE MATERIAL 990 euros

## 4. Serveis contractats

- Interferometria òptica: 50 euros/h x 10 h 500 euros

SUBTOTAL DE SERVEIS CONTRACTATS 500 euros

## 5. Despeses d'oficina

- Redacció d' informes (secretaria) 600 euros
- Material 150 euros

SUBTOTAL DE DESPESES D'OFICINA 750 euros

## 6. Manteniment del local i amortització

SUBTOTAL 900 euros

COST DEL PROJECTE (Suma de subtotals) 17.352,5 euros

16 % I.V.A. 2.776,8 euros

**COST TOTAL 20.129,3 euros**

