

Tabla 4.25. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESCATRÓN. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; TOB, tobermorita; KAT, katoita, CALC, calcita; PORTL, portlandita; KAL, kalsilita; BUETS, buetschlita.

		NaOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	11.6	2.76	3.03	2.63	3.11	2.86	7.56		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	TOB	KAT	CALC	PORTL	KAL	BUETS	YESO	CÓDIGO	
0.5	150 24	26	0	0	7	4	133	0	0	0	0	1567	
0.5	150 48	0	0	0	35	0	212	0	0	0	0	1540	
0.5	200 24	0	0	0	33	33	177	0	0	0	0	1554	
0.5	200 48	0	0	0	24	38	169	0	0	0	0	1599	
1	150 24	0	0	0	34	5	150	0	0	0	0	1345	
1	150 48	0	0	0	0	4	67	0	0	0	0	578	
1	200 24	0	0	0	15	21	147	0	0	0	0	1360	
1	200 48	0	0	0	28	38	176	0	0	0	0	1599	
3	150 24	0	0	0	17	0	0	0	75	0	0	852	
3	150 48	0	0	0	61	10	103	23	0	0	0	1617	
3	200 24	0	0	0	24	0	47	31	0	0	0	899	
3	200 48	0	0	0	39	15	59	54	0	4	10	1601	
5	150 24	0	0	21	43	35	6	89	0	0	0	944	
5	150 48	0	0	0	70	10	72	70	0	0	0	1618	
5	200 24	0	0	0	19	0	0	124	0	0	0	1001	
5	200 48	0	0	0	23	26	18	134	0	68	7	1602	

Tabla 4.26. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESCATRÓN. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; TOB, tobermorita; KAT, katoita, CALC, calcita; PORTL, portlandita; KAL, kalsilita; BUETS, buetschlita.

KOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	11.61	2.76	2.63	3.03	2.86	7.56	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	TOB	KAT	PORTL	CALC	BUETS	YESO	NUMERO
0.5	150	24	29	0	0	10	3	0	148	0	0	1565
0.5	150	48	0	0	0	20	15	0	170	0	0	1619
0.5	200	24	0	0	0	35	32	0	206	0	0	1553
0.5	200	48	0	0	0	34	39	0	165	0	0	1605
1	150	24	19	0	0	24	4	0	185	0	0	1566
1	150	48	0	0	0	44	13	0	147	0	0	1336
1	200	24	0	0	0	24	17	0	152	0	0	1553
1	200	48	0	0	0	34	34	0	185	0	0	1604
3	150	24	0	0	0	20	0	40	55	33	0	908
3	150	48	0	0	0	65	7	38	123	0	8	1620
3	200	24	0	0	0	21	0	0	133	0	0	917
3	200	48										
5	150	24	0	0	0	34	0	30	23	87	0	1505
5	150	48	0	0	0	51	5	59	66	0	0	1621
5	200	24										
5	200	48										

Tabla 4.27. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de TERUEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO
0.5	150	24	2	11	10	58	0	0	0	0	0	553
0.5	150	48	5	12	0	150	0	0	0	0	0	1113
0.5	200	24	0	0	0	26	57	0	0	3	0	557
0.5	200	48	0	0	0	0	247	0	15	26	0	1449
1	150	24	0	12	7	58	0	0	0	0	0	554
1	150	48	0	0	10	94	0	4	0	6	0	570
1	200	24	0	0	0	39	24	25	0	5	0	548
1	200	48	0	0	0	0	26	16	0	12	8	551
3	150	24	0	0	16	55	0	76	0	23	0	844
3	150	48	0	0	37	14	0	75	11	32	0	1111
3	200	24	0	0	0	0	0	45	114	10	0	858
3	200	48		0	33	0	0	0	170	5	9	1529
5	150	24	0	0	16	0	0	60	61	11	0	933
5	150	48	0	0	0	0	0	51	70	22	0	1115
5	200	24	0	0	20	0	0	20	142	20	0	987
5	200	48	0	0	31	0	0	0	185	3	10	1530

Tabla 4.28. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de TERUEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

		KOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	2.89		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	KM-SA	CÓDIGO	
0.5	150 24	16	6	7	0	0	0	0	0	0	558	
0.5	150 48	37	14	14	0	0	0	0	0	0	1114	
0.5	200 24	0	7	7	37	0	0	0	0	0	555	
0.5	200 48	0	0	16	173	0	0	13	0	0	1454	
1	150 24	9	5	5	22	0	0	0	0	0	559	
1	150 48	12	16	10	0	0	0	0	72	0	1093	
1	200 24	0	0	24	149	30	0	7	0	0	1466	
1	200 48	0	0	15	100	0	0	10	0	14	1349	
3	150 24	0	0	9	0	37	28	15	0	0	900	
3	150 48	0	0	0	0	69	47	15	0	0	1535	
3	200 24	0	0	5	0	0	0	9	0	0	909	
3	200 48	0	0	0	0	0	170	0	0	0	1531	
5	150 24	0	0	22	0	0	126	0	0	0	939	
5	150 48	0	0	0	0	0	90	0	0	0	1116	
5	200 24	0	0	6	0	0	165	0	0	0	978	
5	200 48	0	0	0	0	0	244	0	0	0	1532	

Tabla 4.29. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESCUCHA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO	
0.5	150 24	6	41	0	142	0	0	0	0	0	736	
0.5	150 48	0	14	0	0	133	0	0	0	0	587	
0.5	200 24	0	0	0	0	305	0	0	0	0	1608	
0.5	200 48	0	0	0	0	270	0	0	0	0	1446	
1	150 24	0	52	15	136	0	0	0	0	0	1343	
1	150 48	0	0	0	0	155	0	0	0	0	575	
1	200 24	0	0	0	0	132	24	7	17	0	1359	
1	200 48	0	0	0	0	213	0	0	42	36	1678	
3	150 24	0	0	0	0	0	149	36	27	0	847	
3	150 48	0	0	37	0	0	137	66	31	6	1706	
3	200 24	0	0	0	0	0	30	147	0	0	861	
3	200 48	0	0	0	0	0	27	175	25	13	1679	
5	150 24	0	0	0	0	0	70	72	20	0	936	
5	150 48	0	0	0	0	0	90	118	35	0	1707	
5	200 24	0	0	0	0	0	20	160	14	0	990	
5	200 48	0	0	0	0	0	27	191	34	0	1680	

Tabla 4.30. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESCUCHA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

		KOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	2.89		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	56	24	8	0	0	0	0	0	0	1363
0.5	150	48	71	22	12	1	0	0	0	0	0	1423
0.5	200	24	0	12	0	207	0	0	0	0	0	1555
0.5	200	48	0	0	8	168	0	0	0	0	0	1458
1	150	24	24	16	3	0	0	0	0	0	0	628
1	150	48	0	13	11	141	0	0	0	10	0	1257
1	200	24	0	0	0	176	0	0	0	0	0	1570
1	200	48	0	0	0	176	0	0	3	0	14	1351
3	150	24	0	0	0	0	68	0	0	0	0	903
3	150	48	0	0	0	133	30	0	0	0	83	1754
3	200	24	0	0	0	0	0	172	0	0	0	912
3	200	48	0	0	0	0	0	279	0	0	0	1781
5	150	24	0	0	0	0	29	103	0	0	0	971
5	150	48	0	0	0	0	48	80	0	0	40	1755
5	200	24	0	0	0	0	0	173	0	0	0	981
5	200	48	0	0	0	0	0	225	0	0	0	1782

Tabla 4.31. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de LA ROBLA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina; KATOI, katoita.

		NaOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4	2.76		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	KATOI	CÓDIGO	
0.5	150 24	6	10	0	117	0	0	0	0	0	0	733	
0.5	150 48	3	8	0	126	0	0	0	7	0	0	734	
0.5	200 24	0	0	0	25	37	21	0	19	0	0	676	
0.5	200 48	0	0	0	6	117	50	0	29	0	0	679	
1	150 24	0	0	0	59	0	11	0	0	0	0	627	
1	150 48	0	0	0	68	0	7	0	11	0	0	632	
1	200 24	0	0	0	0	31	77	0	34	0	0	682	
1	200 48	0	0	0	0	47	74	0	20	4	0	685	
3	150 24		0	0	0	0	80	22	14	0	0	850	
3	150 48	0	0	0	0	0	89	20	34	0	0	1622	
3	200 24	0	0	0	0	0	78	53	0	0	15	897	
3	200 48	0	0	0	0	0	85	69	0	0	0	1676	
5	150 24	0	0	0	0	0	95	23	14	0	47	942	
5	150 48	0	0	0	0	0	107	50	21	0	0	1749	
5	200 24	0	0	0	0	0	35	82	0	0	50	999	
5	200 48	0	0	0	0	0	47	108	0	0	0	1677	

Tabla 4.32. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de LA ROBLA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; CALC, calcita.

KOH											
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	2.93	3.02	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	CHAB	CALC	CÓDIGO
0.5	150	24	9	5	21	0	0	0	0	11	1368
0.5	150	48	5	0	13	0	0	0	0	7	1751
0.5	200	24	7	11	33	0	0	0	0	7	1571
0.5	200	48	1	0	27	0	3	0	0	0	1783
1	150	24	6	8	16	0	0	0	0	18	1381
1	150	48	0	0	0	25	0	0	28	0	1259
1	200	24	0	0	0	78	0	0	0	0	688
1	200	48	0	0	0	75	0	0	0	0	706
3	150	24	0	0	0	0	54	0	0	0	906
3	150	48	0	0	18	0	85	32	0	0	1752
3	200	24	0	0	0	0	0	140	0	0	915
3	200	48	0	0	0	0	0	141	0	0	1784
5	150	24	0	0	23	0	54	0	0	0	974
5	150	48	0	0	0	0	15	147	0	0	1753
5	200	24	0	0	0	0	0	150	0	0	1002
5	200	48	0	0	0	0	0	202	0	0	1785



Tabla 4.33. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de COMPOSTILLA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita.

NaOH											
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	CÓDIGO
0.5	150	24	0	10	0	179	0	0	0	0	1462
0.5	150	48	0	0	0	108	11	0	0	0	586
0.5	200	24	15	0	0	7	154	0	0	0	1671
0.5	200	48	0	0	0	49	177	0	0	0	1128
1	150	24	0	0	0	221	0	0	0	0	721
1	150	48	0	0	0	210	27	0	0	0	885
1	200	24	0	0	0	0	315	0	0	0	1470
1	200	48	0	0	0	0	253	0	0	15	1326
3	150	24	0	0	0	2	0	101	39	35	846
3	150	48	0	0	0	16	0	87	17	24	1745
3	200	24	0	0	0	0	0	20	140	11	860
3	200	48	0	0	17	0	0	10	137	19	1130
5	150	24	0	0	0	0	0	52	105	21	935
5	150	48	0	0	0	0	0	87	84	33	1746
5	200	24	0	0	0	0	0	10	165	0	989
5	200	48	0	0	0	0	0	47	192	14	1741

Tabla 4.34. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de COMPOSTILLA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

KOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	16	3	4	0	0	0	0	0	0	1364
0.5	150	48	19	3	2	3	0	0	0	0	0	1421
0.5	200	24	0	0	4	149	0	0	0	0	0	1471
0.5	200	48	0	0	0	128	0	0	4	0	0	1131
1	150	24	12	5	8	0	0	0	0	0	0	1383
1	150	48	4	0	0	43	0	0	0	97	0	1332
1	200	24	0	0	0	145	0	0	0	0	0	1467
1	200	48	0	0	0	127	0	0	7	0	0	1327
3	150	24	0	0	0	7	96	0	0	0	0	1437
3	150	48	0	0	0	0	74	0	0	0	0	1747
3	200	24	0	0	0	0	0	204	0	0	0	911
3	200	48	0	0	0	0	0	191	0	0	0	1127
5	150	24	0	0	0	0	12	130	0	0	0	941
5	150	48	0	0	0	0	77	40	4	0	11	1748
5	200	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	980
5	200	48	0	0	0	0	0	298	0	0	0	1742

Tabla 4.35. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de MEIRAMA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina; TERM, termonatrita.

NaOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	2.8	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	TERM	CÓDIGO
0.5	150	24	32	10	7	188	0	0	0	0	0	724
0.5	150	48	11	10	7	222	0	0	0	14	0	725
0.5	200	24	0	0	7	6	120	11	0	19	0	677
0.5	200	48	0	0	7	0	301	0	19	3	0	680
1	150	24	7	0	7	102	0	12	0	12	0	626
1	150	48	0	0	7	47	86	0	0	16	0	631
1	200	24	0	0	7	0	238	30	0	39	0	683
1	200	48	0	0	7	0	225	30	0	30	0	686
3	150	24	0	0	7	0	0	98	40	30	0	848
3	150	48	0	0	0	11	0	104	9	70	0	1702
3	200	24	0	0	9	0	0	50	165	16	0	862
3	200	48	0	0	7	0	0	34	178	59	0	1581
5	150	24	0	0	7	0	0	130	39	49	63	937
5	150	48	0	0	0	0	0	161	36	75	161	1703
5	200	24	0	0	7	0	0	20	165	36	0	997
5	200	48	0	0	0	0	0	27	224	60	0	1681

Tabla 4.36. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de MEIRAMA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; CALC, calcita.

KOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	3.03	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	CALC	CÓDIGO
0.5	150	24	52	10	2	11	0	0	0	0	0	1320
0.5	150	48	7	9	3	18	0	0	0	0	0	1425
0.5	200	24	15	4		172	0	0	11	0	4	1606
0.5	200	48	0	0	3	162	0	0	0	0	0	1578
1	150	24	36	6	2	86	0	0	0	0	10	1379
1	150	48	0	0	3	87	0	0	0	52	0	1254
1	200	24	0	0	3	123	0	0	19	0	0	689
1	200	48	0	0	3	140	0	0	18	0	0	707
3	150	24	0	0	3	0	50	26	14	0	0	904
3	150	48	23	0	0	0	58	0	28	0	0	1704
3	200	24	0	0	3	0	0	209	13	0	0	913
3	200	48	0	0	3	0	0	282	0	0	0	1579
5	150	24	0	0	3	0	14	102	0	0	0	972
5	150	48	0	0	0	0	30	129	21	0	0	1705
5	200	24	0	0	3	0	0	170	14	0	0	985
5	200	48	0	0	3	0	0	312	0	0	0	1580

Tabla 4.37. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de NARCEA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita.

NaOH											
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	CÓDIGO
0.5	150	24	3	8	10	216	0	0	0	0	1075
0.5	150	48	0	0	0	233	0	0	0	0	723
0.5	200	24	0	0	0	40	239	0	0	2	675
0.5	200	48	0	0	0	0	340	0	0	7	678
1	150	24	0	3	0	200	12	0	0	2	1339
1	150	48	0	0	0	5	285	0	0	14	892
1	200	24	0	0	0	0	273	0	0	17	883
1	200	48	0	0	0	0	307	0	0	14	684
3	150	24	0	0	0	5	0	45	34	11	849
3	150	48	0	0	0	0	0	50	101	12	1538
3	200	24	0	0	0	0	0	50	156	4	863
3	200	48	0	0	0	0	8	47	178	23	1653
5	150	24	0	0	0	0	0	20	121	14	938
5	150	48	0	0	0	0	0	78	144	23	1539
5	200	24	0	0	0	0	0	20	169	5	998
5	200	48	0	0	0	0	0	40	204	7	1737

Tabla 4.38. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de NARCEA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; KALIC, kalicinita.

KOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	2.83	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	KALIC	CÓDIGO
0.5	150	24	54	9	0	0	0	0	0	0	0	1662
0.5	150	48	51	7	3	3	0	0	0	0	0	1422
0.5	200	24	4	7	0	126	0	0	0	0	0	1551
0.5	200	48	0	0	0	165	0	0	0	0	0	1738
1	150	24	4	0	0	126	0	0	0	0	0	1380
1	150	48	0	0	0	151	0	0	7	0	0	1256
1	200	24	0	0	0	174	0	0	7	0	0	687
1	200	48	0	0	0	197	0	0	7	0	0	705
3	150	24	0	0	0	0	69	0	8	0	36	905
3	150	48	0	0	0	57	53	14	10	0	0	1536
3	200	24	0	0	0	0	0	208	10	0	0	914
3	200	48	0	0	0	0	0	208	10	0	0	1739
5	150	24	0	0	0	0	63	0	9	0	51	973
5	150	48	0	0	0	0	0	216	0	0	0	1537
5	200	24	0	0	0	0	0	174	6	0	0	986
5	200	48	0	0	0	0	0	272	0	0	0	1740

Tabla 4.39. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de AS PONTES. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO	
0.5	150 24	19	22	0	177	0	0	0	0	0	1463	
0.5	150 48	10	16	0	213	0	0	0	14	0	1944	
0.5	200 24	0	0	0	69	58	123	0	33	0	1469	
0.5	200 48	0	0	0	0	107	129	11	52	0	1533	
1	150 24	0	0	19	147	0	41	0	20	0	1344	
1	150 48	0	0	7	98	0	11	0	5	0	576	
1	200 24	0	0	0	0	14	83	0	38	50	1361	
1	200 48	0	0	0	0	108	118	0	26	40	1534	
3	150 24	3	2	0	11	0	120	10	17	0	845	
3	150 48	5	0	0	153	0	54	0	14	0	1945	
3	200 24	0	0	14	0	0	30	107	8	0	859	
3	200 48	0	0	0	0	0	52	0	9	64	1947	
5	150 24	0	0	0	0	0	162	61	15	0	1464	
5	150 48	0	0	0	0	0	210	34	16	0	1946	
5	200 24	0	0	10	0	0	30	118	20	0	988	
5	200 48	0	0	0	0	0	196	113	23	0	1948	

Tabla 4.40. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de AS PONTES. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CALC, calcita, CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

		KOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	3.03	2.93	2.89		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CALC	CHAB	KM-SA	CÓDIGO	
0.5	150 24	31	14	7	0	0	0	0	7	0	0	1365	
0.5	150 48	37	13	0	12	0	0	0	0	0	0	1420	
0.5	200 24	8	19	0	128	0	0	5	0	0	0	1609	
0.5	200 48	0	0	5	110	0	0	7	0	0	0	1459	
1	150 24	33	19	6	0	0	0	0	0	0	0	1663	
1	150 48	0	0	0	44	0	0	0	0	63	0	1255	
1	200 24	4	0	0	108	26	0	22	0	0	24	1610	
1	200 48	0	0	0	48	0	0	14	0	0	35	1949	
3	150 24	0	0	10	0	57	0	16	0	0	0	901	
3	150 48	0	0	0	17	50	0	9	0	0	69	1997	
3	200 24	0	0	11	0	0	170	11	0	0	0	910	
3	200 48	0	0	0	0	0	235	7	0	0	0	1950	
5	150 24	0	0	12	0	0	143	20	0	0	0	940	
5	150 48	0	0	23	0	34	175	0	0	0	0	1954	
5	200 24	0	0	15	0	0	166	0	0	0	0	979	
5	200 48	0	0	0	0	0	212	4	0	0	0	1951	



Tabla 4.41. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de CERCS. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; TOB, tobermorita; PORTL, portlandita; 25 1319 NaCaHSiO<sub>4</sub>.

		NaOH								
REFLEXIONS DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	11.61	2.76	2.63	2.84		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	TOB	KAT	PORTL	25 1319	CÓDIGO	
0.5	150 24									
0.5	150 48									
0.5	200 24									
0.5	200 48									
1	150 24									
1	150 48	0	0	0	0	34	0	0	577	
1	200 24									
1	200 48									
3	150 24	0	0	0	24	76	0	0	851	
3	150 48									
3	200 24	0	0	12	15	7	0	0	898	
3	200 48									
5	150 24	0	0	3	19	121	20	0	943	
5	150 48									
5	200 24	0	0	0	0	0	57	92	1000	
5	200 48									

Tabla 4.42. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de CERCS. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; TOB, tobermorita; CALC, calcita; KAT, katoita; PORTL, portlandita; BUETS, Buetschlita; L-F, Linde F.

		KOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	11.61	3.03	2.76	2.63	2.86	6.97		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	TOB	CALC	KAT	PORTL	BUETS	L-F	CÓDIGO	
0.5	150 24											
0.5	150 48											
0.5	200 24											
0.5	200 48											
1	150 24											
1	150 48	0	0	0	40	16	65	0	0	0	1337	
1	200 24											
1	200 48											
3	150 24	0	0	0	47	0	44	7	0	0	907	
3	150 48											
3	200 24	0	0	0	28	118	52	0	0	0	916	
3	200 48											
5	150 24	0	0		11	6	20	0	94	0	975	
5	150 48											
5	200 24	0	0	0	16	0	73	4	17	15	1003	

Tabla 4.43. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de PUERTOLLANO. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita.

		NaOH									
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	CÓDIGO
0.5	150	24	23	45	5	139	0	0	0	12	1167
0.5	150	48	0	44	5	195	0	0	0	0	1955
0.5	200	24	22	7	0	0	197	0	0	0	1655
0.5	200	48	0	0	0	10	379	0	0	0	1450
1	150	24	0	48	6	150	0	0	0	0	1189
1	150	48	0	60	0	208	0	0	0	0	1444
1	200	24	0	12	0	0	402	0	0	0	1656
1	200	48	0	0	0	0	197	0	0	0	1330
3	150	24	0	23	7	2	0	72	47	11	1169
3	150	48	0	0	0	53	0	144	11	0	1561
3	200	24	7	0	0	0	9	0	213	0	1657
3	200	48	0	0	0	0	232	78	0	0	1960
5	150	24	0	0	0	0	0	0	160	0	1221
5	150	48	0	0	0	0	0	0	173	0	1993
5	200	24	0	0	0	0	0	0	276	25	1658
5	200	48	0	0	0	0	0	0	222	23	1961

Tabla 4.44. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de PUERTOLLANO. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; PERL, perliolita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

KOH													
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	16.4	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	PERL	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	51	17	4	0	0	0	0	0	0	0	1173
0.5	150	48	65	12	0	0	0	0	0	0	0	0	1956
0.5	200	24	0	0	0	230	0	0	0	0	8	0	1572
0.5	200	48	0	0	0	175	0	0	0	0	8	0	1456
1	150	24	2	31	0	137	0	0	0	0	0	0	1188
1	150	48	0	24	2	170	0	0	0	0	0	0	1183
1	200	24	0	0	0	169	0	0	0	0	22	0	1573
1	200	48	0	0	0	157	0	0	0	0	12	0	1331
3	150	24	0	10	2	116	0	0	0	0	0	0	1177
3	150	48	0	0	0	159	6	0	0	0	0	15	1957
3	200	24	0	0	0	0	0	321	0	0	0	0	1574
3	200	48	0	0	0	0	14	64	0	0	0	59	1962
5	150	24	0	0	0	0	0	270	0	0	0	0	1222
5	150	48	0	0	0	0	0	75	0	0	0	34	1958
5	200	24	0	0	0	0	0	284	0	0	0	0	1575
5	200	48	0	0	0	0	0	292	0	0	0	0	1963

Tabla 4.45. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESPIEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina; HERSCH, herschelita.

		NaOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4	2.93		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	HERSCH	CÓDIGO	
0.5	150 24	10	17	5	86	0	0	0	0	0	0	1172	
0.5	150 48	1	11	0	231	0	0	0	0	0	24	1789	
0.5	200 24	0	0	17	222	32	0	0	0	0	0	1227	
0.5	200 48	0	0	0	123	158	0	0	5	9	0	1448	
1	150 24	1	14	0	148	0	0	0	0	0	0	1187	
1	150 48	0	21	0	244	0	5	0	0	0	72	1442	
1	200 24	0	0	0	0	186	0	0	11	37	0	1328	
1	200 48	0	0	0	16	320	0	0	0	0	0	1935	
3	150 24	0	0	0	5	0	157	52	0	0	0	1586	
3	150 48	0	0	0	74	0	98	0	0	0	20	1790	
3	200 24	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0	1229	
3	200 48	0	0	0	0	30	90	44	11	25	0	1936	
5	150 24	0	0	0	0	0	65	105	0	0	0	1223	
5	150 48	0	0	0	0	0	34	153	18	6	0	1791	
5	200 24	0	0	0	0	0	0	175	0	0	0	1230	
5	200 48	0	0	0	0	0	10	212	0	0	0	1937	

Tabla 4.46. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de ESPIEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

KOH											
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	2.93	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	CHAB	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	9	7	8	0	0	0	0	0	1166
0.5	150	48	7	12	0	0	0	0	0	0	1792
0.5	200	24	6	19	0	82	0	0	0	0	1659
0.5	200	48	0	0	0	154	0	0	0	0	1786
1	150	24	3	12	5	46	0	0	0	0	1186
1	150	48	7	15	4	9	0	0	0	0	1180
1	200	24	0	0	0	169	0	0	0	0	1660
1	200	48	0	0	0	158	0	0	0	0	1329
3	150	24	0	12	4	0	50	0	2	0	1168
3	150	48	0	0	0	0	26	0	25	0	1793
3	200	24	0	0	0	0	26	121	0	46	1669
3	200	48	0	0	0	0	0	195	0	0	1938
5	150	24	0	0	0	0	75	26	0	0	1224
5	150	48	0	0	0	0	107	0	0	28	1794
5	200	24	0	0	0	0	0	276	0	0	1670
5	200	48	0	0	0	0	0	267	0	0	1939

Tabla 4.47. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de LOS BARRIOS. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO	
0.5	150 24	0	68	0	198	0	0	0	0	0	1568	
0.5	150 48	0	36	0	206	0	0	0	19	0	1503	
0.5	200 24	0	0	0	215	10	83	0	16	0	1484	
0.5	200 48	0	0	0	231	0	27		10	0	1766	
1	150 24	8	14	0	226	0	26	0	10	0	1664	
1	150 48	0	0	0	118	0	37	0	9	0	1504	
1	200 24	0	0	0	0	0	149	14	30	68	1485	
1	200 48	0	0	0	63	21	103	0	29	6	1767	
3	150 24	0	0	0	55	0	130	13	7	0	1665	
3	150 48	0	0	0	63	0	115	0	4	0	1505	
3	200 24	0	0	0	0	0	174	43	19	0	1486	
3	200 48	0	0	0	0	0	51	14	20	0	1768	
5	150 24	0	0	0	0	0	256	15	24	0	1666	
5	150 48	0	0	0	0	0	236	0	0	0	1941	
5	200 24	0	0	0	0	0	80	99	21	0	1672	
5	200 48	0	0	0	0	0	103	76	21	6	1769	

Tabla 4.48. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de LOS BARRIOS. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CALC, calcita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

KOH													
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	3.03	2.93	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CALC	CHAB	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	18	83	0	0	0	0	0	16	0	0	1481
0.5	150	48	12	84	0	0	0	0	0	0	0	0	1506
0.5	200	24	0	0	0	115	0	0	16	0	0	0	1487
0.5	200	48	7	20	0	110	0	33	15	0	0	0	1770
1	150	24	9	76	0	35	0	0	0	0	61	0	1482
1	150	48	0	0	0	95	0	0	0	0	34	0	1507
1	200	24	0	0	0	39	63	0	17	0	0	34	1673
1	200	48	0	0	0	21	0	33	20	0	0	0	1771
3	150	24	0	0	0	0	127	0	0	0	0	6	1480
3	150	48	0	0	0	0	107	0	12	0	0	44	1942
3	200	24	0	0	0	0	0	286	0	0	0	0	1489
3	200	48	0	0	0	0	0	219	0	0	0	0	1940
5	150	24	0	0	0	0	0	291	0	0	0	0	1483
5	150	48	0	0	0	0	20	194	0	0	0	13	1943
5	200	24	0	0	0	0	0	284	0	0	0	0	1674
5	200	48	0	0	0	0	0	243	0	0	0	10	1952



Tabla 4.49. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SOTO DE RIBERA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXIONS DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO	
0.5	150 24	0	4	0	174	34	0	0	0	0	1461	
0.5	150 48	12	23	0	107	0	0	0	0	0	1643	
0.5	200 24	0	3	0	113	133	0	0	2	0	1213	
0.5	200 48	0	0	0	0	264	0	0	9	0	15	
1	150 24	0	35	5	167	0	0	0	0	0	1191	
1	150 48	0	26	0	234	0	0	0	0	0	1443	
1	200 24	0	0	0	0	193	0	0	29	61	1214	
1	200 48	0	0	0	0	280	0	0	17	55	1648	
3	150 24	0	0	0	0	0	0	67	0	0	1460	
3	150 48	0	0	0	80	0	133	49	0	0	1756	
3	200 24	0	0	0	0	14	50	154	14	9	1215	
3	200 48	0	0	0	0	0	40	189	23	27	1649	
5	150 24	0	0	0	0	0	0	142	0	0	1219	
5	150 48	0	0	0	0	0	80	159	22	0	1644	
5	200 24	0	0	0	0	0	0	150	0	0	1216	
5	200 48	0	0	0	0	0	54	224	12	0	1650	

Tabla 4.50. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SOTO DE RIBERA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; KM-SA, clinzoisita.

KOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	KM SA	CÓDIGO
0.5	150	24	18	25	2	0	0	0	0	0	0	1367
0.5	150	48	27	26	0	0	0	4	0	0	0	1645
0.5	200	24	0	10	0	119	0	0	0	0	0	1217
0.5	200	48	0	0	0	145	0	0	0	0	0	1457
1	150	24	0	0	0	14	22	0	0	35	0	1190
1	150	48	0	0	0	117	0	0	7	60	0	1293
1	200	24	0	0	0	142	0	0	0	0	0	1218
1	200	48	0	0	4	159	0	0	6	0	17	1350
3	150	24	0	0	0	0	60	0	0	0	71	1437
3	150	48	0	0	0	0	50	40	0	0	82	1646
3	200	24	0	0	0	0	0	195	0	0	0	1225
3	200	48	0	0	0	0	0	309	0	0	0	1651
5	150	24	0	0	0	0	26	85	0	0	0	1220
5	150	48	0	0	0	0	24	178	0	0	58	1647
5	200	24	0	0	0	0	0	172	0	0	0	1226
5	200	48	0	0	0	0	0	254	0	0	0	1979

Tabla 4.51. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de DOU HE. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO
0.5	150	24	0	74	0	100	5	0	0	0	0	1465
0.5	150	48	0	30	0	42	25	0	0	0	0	588
0.5	200	24	0	10	0	0	301	0	0	0	0	1918
0.5	200	48	0	0	0	0	408	22	0	0	0	1447
1	150	24	0	56	0	220	28	0	0	0	0	1667
1	150	48	0	0	0	153	21	0	0	0	0	574
1	200	24	0	0	0	63	57	0	25	0	7	1759
1	200	48	0	0	0	42	324	56	0	0	0	1974
3	150	24	0	0	0	84	0	134	0	0	54	1717
3	150	48	0	0	0	145	51	53	0	0	0	1959
3	200	24	0	0	0	0	9	0	110	0	5	1760
3	200	48	0	0	0	0	215	0	0	8	90	1964
5	150	24	0	0	0	0	0	188	76	0	83	1718
5	150	48	0	0	0	0	0	298	47	0	0	1992
5	200	24	0	0	0	0	0	27	164	0	7	1761
5	200	48	0	0	0	0	0	58	169	0	0	1965

Tabla 4.52. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de DOU HE. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

KOH											
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.89	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	KM-SA	CÓDIGO
0.5	150	24	4	85	0	95	0	0	0	0	1366
0.5	150	48	0	119	0	159	0	0	0	0	1967
0.5	200	24	8	59	0	153	0	0	0	0	1762
0.5	200	48	0	32	0	246	0	0	0	0	1975
1	150	24	0	57	0	176	0	0	0	0	1382
1	150	48	0	14	0	189	0	0	0	0	1338
1	200	24	0	0	0	146	38	11	0	0	1763
1	200	48	0	0	0	77	67	29	0	66	1976
3	150	24	0	0	0	0	89	0	0	106	1479
3	150	48	0	0	0	0	88	95	0	163	1968
3	200	24	0	0	0	0	0	325	0	0	1764
3	200	48	0	0	0	0	0	313	0	0	1977
5	150	24	0	0	0	0	134	0	0	0	1719
5	150	48	0	0	0	0	62	207	0	30	1969
5	200	24	0	0	0	0	0	339	0	0	1919
5	200	48	0	0	0	0	0	251	0	0	1978

Tabla 4.53. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SA-1. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina; KAT, katoita.

		NaOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4	2.76		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	KAT	CÓDIGO	
0.5	150 24												
0.5	150 48	0	85	0	202	0	0	0	0	0	0	1970	
0.5	200 24	0	10	0	0	295	0	0	0	0	0	1920	
0.5	200 48											1340	
1	150 24	0	3	0	200	12	0	0	2	0	0	1333	
1	150 48	0	1	0	245	23	0	0	18	0	0	1356	
1	200 24	0	0	0	0	150	100	13	9	20	0		
1	200 48	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	1585	
3	150 24												
3	150 48	0	0	0	202	0	72	0	12	0	0	1971	
3	200 24	0	0	0	0	0	103	0	0	103	0	1921	
3	200 48												
5	150 24	0	0	0	0	0	203	106	0	0	72	1584	
5	150 48	0	0	0	0	0	259	21	7	0	0	1972	
5	200 24												
5	200 48												

Tabla 4.54. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SA-1. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CALC, calcita; CHAB, Chabazita; KM-SA, clinzoisita.

		KOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	3.03	2.93	2.89		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CALC	CHAB	KM SA	CÓDIGO
0.5	150	24	26	83	0	0	0	0	0	4	0	0	1720
0.5	150	48	19	57	0	0	0	0	0	0	0	0	1994
0.5	200	24	0	64	0	213	0	0	0	0	0	0	1921
0.5	200	48											
1	150	24	14	73	0	33	0	0	0	3	0	0	1721
1	150	48	0	48	0	172	0	0	0	0	48	0	1439
1	200	24	0	0	0	100	0	0	0	0	0	43	1921
1	200	48	0	0	0	43	0	0	10	0	0	64	1346
3	150	24	0	27	0	0	97	0	0	0	94	0	1722
3	150	48	0	0	0	80	59	0	0	0	0	90	1995
3	200	24											
3	200	48											
5	150	24	0	0	0	0	103	87	0	0	0	0	1724
5	150	48	0	0	0	0	52	205	0	0	0	21	1996
5	200	24											
5	200	48											



Tabla 4.56. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SA-2. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CALC, calcita; CHAB, Chabazita; KM-SA,  $\text{K}_4\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_9$ .

		KOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	3.03	2.93	2.89		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CALC	CHAB	KM-SA	CÓDIGO	
0.5	150 24	52	45	0	0	0	0	0	9	0	0	1728	
0.5	150 48												
0.5	200 24												
0.5	200 48												
1	150 24	35	33	0	22	0	0	0	0	10	0	1729	
1	150 48	0	19	0	118	0	0	0	0	14	0	1730	
1	200 24												
1	200 48	0	0	38	0	0	0	0	5	0	111	1347	
3	150 24												
3	150 48												
3	200 24												
3	200 48												
5	150 24												
5	150 48												
5	200 24												
5	200 48												





Tabla 4.58. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de SA-3. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CALC, calcita; CHAB, Chabazita; KM-SA, clinzoisita.

		KOH											
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	3.03	2.93	2.89		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CALC	CHAB	KM SA	CÓDIGO
0.5	150	24											
0.5	150	48											
0.5	200	24											
0.5	200	48											
1	150	24											
1	150	48	0	73	0	190	0	0	0	7	0	0	1441
1	200	24											
1	200	48	0	0	0	44	0	0	7	0	0	40	1348
3	150	24											
3	150	48											
3	200	24											
3	200	48											
5	150	24											
5	150	48											
5	200	24											
5	200	48											

Tabla 4.59. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de PAIPA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

NaOH												
REFLEXION DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO
0.5	150	24	55	29	2	79	0	0	3	0	0	2372
0.5	150	48	9	39	3	101	0	0	3	0	0	2373
0.5	200	24	0	14	2	59	91	0	0	0	0	2389
0.5	200	48										
1	150	24	0	42	3	109	0	0	2	0	0	2373
1	150	48										
1	200	24	0	0	2	0	250	0	0	0	0	2390
1	200	48										
3	150	24	1	28	4	114	15	16	0	0		2378
3	150	48										
3	200	24	0	0	3	0	123	55	12	0	3	2391
3	200	48										
5	150	24	0	0	6	0	0	63	30	0		2380
5	150	48										
5	200	24	0	0	3	0	0	0	134	4	0	2392
5	200	48										

Tabla 4.60. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de TASAJERO. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina.

		NaOH										
REFLEXION DRX (Å)		3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4		
Concentración (M)	T t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	CÓDIGO	
0.5	150 24	41	46	3	60	0	0	3	0	0	2375	
0.5	150 48	4	58	4	76	0	0	3	0	0	2376	
0.5	200 24	0	40	2	71	65	0	0	0	0	2393	
0.5	200 48											
1	150 24	2	58	4	82	0	0	1	0	0	2377	
1	150 48											
1	200 24	0	0	2	0	127	0	0	0	4	2394	
1	200 48											
3	150 24	0	42	5	104	0	22	0	0	0	2380	
3	150 48											
3	200 24											
3	200 48											
5	150 24	0	0	3	0	0	72	53	2	0	2381	
5	150 48											
5	200 24											
5	200 48											

Tabla 4.61. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $2 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de LOS BARRIOS. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; HERSC, Herschelita; CALC, calcita.

NaOH													
REFLEXIONES DRX (Å)	3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	2.93	3.03			
Concentración (M)	T	T	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	HERSCH	CALC	CÓDIGO
0.5	150	3	15	73	0	0	0	0	0	0	0	9	1843
0.5	150	8	15	77	0	0	0	0	0	0	0	5	1846
0.5	200	3	27	64	0	5	0	0	0	0	0	5	1876
0.5	200	8	16	67	0	29	0	0	0	0	0	3	1892
1	150	3	13	80	0	0	0	0	0	0	0	11	1844
1	150	8	21	75	0	30	0	0	0	0	0	9	1847
1	200	3	14	82	0	21	0	0	0	0	0	7	1877
1	200	8	9	77	0	114	0	5	0	0	0	3	1893
2	150	3	13	89	0	91	0	0	0	0	0	20	1845
2	150	8	4	76	0	137	0	0	0	0	0	18	1848
2	200	3	8	73	0	110	0	32	0	0	0	13	1878
2	200	8	0	41	0	119	0	60	0	7	0	0	1894
3	150	3	16	58	0	37	0	0	0	0	3	3	1851
3	150	8	4	40	0	110	0	4	0	0	2	3	1853
3	200	3	10	71	0	118	0	21	0	0	0	13	1879
3	200	8	0	47	0	121	0	37	0	6	0	0	1895
5	150	3	9	78	0	0	0	14	0	0	26	6	1852
5	150	8	2	63	0	6	0	63	0	0	11	0	1854
5	200	3	0	21	0	8	0	50	25	0	0	0	1880
5	200	8	0	0	0	0	0	44	94	0	0	0	1896

Tabla 4.62. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $2 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de NARCEA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita; NEPH, nefelina; HERSCH, herschelita; CALC, calcita.

NaOH															
REFLEXIONES DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	4.4	2.93	3.03		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	NEPH	HERSCH	CALC	CÓDIGO	
2	150	3	53	4		0	0	0	0	0	0	53	0	1472	
2	150	8	48	0	0	0	0	0	0	0	0	48	0	1474	
2	150	24	39	0	0	37	0	0	0	0	0	43	0	1476	
2	200	3	44	0	0	13	12	10	0	0	0	115	6	1525	
2	200	9	52	0	0	0	51	0	0	0	10	109	14	1526	
5	150	3	20	0	0	0	0	0	0	0	0	141	37	1498	
5	150	9	32	0	0	0	0	0	0	0	0	177	10	1499	
5	150	24	0	0	0	32	0	18	0	0	0	163	18	1501	
5	200	3	14	0	0	0	17	0	48	14	0	114	12	1527	
5	200	9	4	0	0	0	39	0	90	20	0	50	7	1528	

Tabla 4.63. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando una relación de activante/ceniza volante de  $2 \text{ ml g}^{-1}$  para la ceniza volante de NARCEA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; KM, phillipsita; L-F, Linde F; KAL, kalsilita; TOB, tobermorita; CHAB, Chabazita; PERL, perliailita.

KOH												
REFLEXIONES DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.27+3.18	6.97	3.11	11.61	2.93	16.4	
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	KM	L-F	KAL	TOB	CHAB	PERL	CÓDIGO
2	150	3	45	3	0	0	0	0	0	0	0	1473
2	150	8	46	0	0	0	9.6	0	0	0	0	1475
2	150	24	42	0	0	19	0	0	0	0	0	1477
5	150	9	22	0	0	29	8	0	0	17	7	1500
5	150	24	0	0	0	117	0	0	0	23	0	1502
5	200	9	0	0	0	36	0	35	8	0	20	1524
5	200	24	0	0	0	61	0	109	10	0	24	1525

Tabla 4.64. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de zeolitización a escala de laboratorio utilizando diferentes relaciones de activante/ceniza volante de (0.3, 0.6 y 1.0 ml g<sup>-1</sup>) para la ceniza volante de TERUEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). L/S, relación solución activante/ceniza volante en ml g<sup>-1</sup>; T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo; MUL, mullita; MAG, magnetita; CAL, calcita; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; HERSCH, Herschelita; TOB, tobermorita.

NaOH														
REFLEXIÓN DRX (Å)				3.34	3.39	2.51	3.03	3.18	3.7	3.27	2.93	11.61		
ConCentración (M)	L/S	T	t	QZ	MUL	MAG	CAL	NAP1	SODAL	CANC	HERSCH	TOB	CÓDIGO	
12.5	0.3	150	12	13	25	37	0	0	19	0	16	0	2091	
12.5	0.6	150	12	0	9	34	0	0	24	44	0	0	2092	
12.5	1.0	150	12	0	0	0	0	0	0	150	0	19	2093	
6.2	0.3	150	12	9	29	0	0	0	12	0	47	0	2100	
6.2	0.6	150	12	10	28	23	0	0	20	0	23	0	2200	
6.2	1.0	150	12	14	19	15	0	0	27	0	10	0	2201	
3	0.3	150	6	48	22	0	7	10	0	0	13	0	2171	
3	0.6	150	12	26	29	0	0	0	5	0	114	0	2101	
3	0.6	150	6	48	22	0	8	7	7	0	78	0	2169	
3	1.0	150	6	40	30	0	11	20	7	0	86	0	2170	
3	0.6	150	3	42	19	0	6	0	0	0	90	0	2186	
3	1.0	150	3	38	12	0	9	0	0	0	103	0	2187	
3	0.3	200	3	47	27	17	7	0	9	0	30	0	2190	
3	0.6	200	3	8	32	13	5	0	8	0	50	12	2191	
3	1.0	200	3	2	32	19	6	0	0	7	34	15	2192	
2	1.0	150	12	35	22	0	4	66	0	0	35	0	2102	



4.3.1.2. Síntesis convencional a escala de kilogramos

Estos experimentos se diseñaron para síntesis de la zeolita NaP1 a partir de la ceniza de Teruel y de Narcea. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios produciéndose la síntesis de ésta en las cenizas volantes seleccionadas entre el 25 y 75%.

La Tabla 4.65 resume los resultados obtenidos a partir de los experimentos a escala de kilogramo mediante la activación con NaOH y relación de solución activante/ceniza volante de 2 ml g<sup>-1</sup>.

Tabla 4.65. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de síntesis convencional a escala de kilogramos utilizando una relación de activante/ceniza volante de 2 ml g<sup>-1</sup> para la ceniza volante de TERUEL y NARCEA. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura en °C; t, tiempo en h; QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; ANAL, analcima.

TERUEL										
NaOH										
REFLEXIONES DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.27		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	CANC	CÓDIGO	
2	150	24	5	27	60	155	0	0	1881	
2	150	16	0	4	60	67	18	7	2061	

NARCEA										
NaOH										
REFLEXIONES DRX (Å)			3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.27		
Concentración (M)	T	t	QZ	MUL	MAG	NAP1	ANAL	CANC	CÓDIGO	
3	125	9	0	0	0	259	0	36	2084	
3	150	9	0	0	0	114	199	0	2085	
5	150	9	0	0	0	0	155	0	2060	

Se observa que en la ceniza volante de Teruel la disolución del cuarzo y la mullita no es completa mientras que en Narcea se produce la disolución total de estas fases.

En la ceniza volante de Teruel al utilizar una temperatura de 125 °C se obtiene principalmente analcima mientras que a temperaturas de 150 °C se produce mayoritariamente la síntesis de NaP1.

En la ceniza volante de Narcea se obtiene un producto prácticamente monomineral de NaP1 (60%) bajo condiciones de activación 3 M, 125 °C y 9 horas. Al incrementar la temperatura a 150 °C se obtiene NaP1 y analcima. Mediante el incremento de la concentración de NaOH (5M) se obtiene principalmente la síntesis de analcima y trazas de cancrinita.

Las diferencias producidas con respecto a los ensayos de laboratorio pueden deberse al tipo de reactor utilizado para la síntesis, mientras que en el ensayo de laboratorio se utilizaron bombas Parr, en los ensayos a escala de kilogramos se utilizó un reactor Bachiller con un sistema mecánico de agitación.

### **4.3.1.3. Síntesis con microondas**

Los resultados de síntesis mediante microondas (Tablas 4.66 a 68) presentan un rendimiento de síntesis de zeolitas similar al obtenido por activación clásica bajo condiciones alcalinas similares. Como característica destacable se resalta la fuerte disminución en el tiempo de activación, obteniéndose rendimientos considerables en tan solo 30 minutos.

Durante la síntesis de zeolitas por este método el periodo de cristalización no tiene la misma relevancia que en los procesos convencionales de activación, debido a que en la síntesis con microondas la nucleación y cristalización son prácticamente simultáneas debido a la saturación inducida por la rápida disolución del silicio y el aluminio a partir del vidrio.

En este tipo de síntesis es el estado de mezcla inducido por la difusión de los diferentes elementos actuantes es el que controla la síntesis de zeolitas. El efecto de las microondas acelera la disolución de silicio y aluminio con respecto a los métodos convencionales, y consecuentemente este estado de mezcla se alcanza más rápidamente.

Se observa también que la disolución del cuarzo y la mullita es mucho menor en los experimentos con microondas para un tiempo de 30 minutos con respecto a los experimentos convencionales con 24 horas de activación.

Desde el punto de vista de las aplicaciones las principales zeolitas obtenidas fueron: NaP1 y Linde F. La ceniza volante de Teruel fue la más estudiada debido al rendimiento intermedio de síntesis que presenta. Las mejores condiciones de síntesis para la NaP1 (55%) se lograron mediante la activación con concentración 1M NaOH, relación activante/ceniza volante de 10 ml g<sup>-1</sup>, 175 °C y 30 minutos.

Tabla 4.66. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de síntesis mediante microondas utilizando 5 gramos de muestra en el volumen indicado en la tabla para la ceniza volante de TERUEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura (°C); VOL; volumen (ml), t, tiempo (min); QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; TOB, tobermorita.

NaOH												
REFLEXION DRX (Å)				3.34	3.39	2.51	3.18	3.44	3.7	3.27	11.61	
Concentración (M)	T	Vol	T	QZ	MUL	MAG	NaP1	ANAL	SODAL	CANC	TOB	CÓDIGO
0.5	200	20	10	64	38	14	0	0	44	0	0	m 1-3
1	175	50	10	60	23	58	0	0	0	0	0	m 3-15
1	175	50	30	34	30	55	178	0	0	0	0	m 3-18
1	175	100	10	75	19	66	0	0	0	0	0	m 3-8
1	175	100	30	49	35	21	10	0	12	0	0	m 3-2
1	225	50	5	16	26	17	0	0	7	0	0	m 2-13
1	225	50	10	9	35	13	21	0	42	0	0	m 2-11
1	225	50	30	0	5	75	9	258	46	0	0	m 3-13
1	225	100	10	26	41	60	19	0	49	0	3	m 3-16
1	225	100	30	5	5	76	7	109	89	4	44	m 3-7
3	200	75	20	5	8	35	0	0	135	12	46	m 3-1
5	175	50	10	28	17	46	0	0	98	9	14	m 3-9
5	175	50	30	8	8	38	0	0	148	0	34	m 3-6
5	175	100	10	22	13	38	0	0	97	0	29	m 3-11
5	175	100	30	12	8	47	0	0	167	0	76	m 3-17
5	225	50	10	1	7	48	0	0	143	54	36	m 3-14
5	225	50	30	0	0	64	0	0	143	164	2	m 3-5
5	225	100	10	0	0	55	0	0	146	25	30	m 3-3
5	225	100	30	0	0	45	0	0	120	40	20	m 3-12

Tabla 4.67. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de síntesis mediante microondas utilizando 5 gramos de muestra en el volumen indicado en la tabla para la ceniza volante de TERUEL. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). T, temperatura (°C); VOL; volumen (ml), t, tiempo (min); QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; L-F, Linde F; KAL, kalsilta.

KOH										
REFLEXION DRX (Å)	3.34 3.39 2.51 6.97 3.11									
Concentración (M)	T	VOL	t	QZ	MUL	MAG	L-F	KAL	CÓDIGO	
1	175	50	10	35	7	35	14	0	m 4-15	
1	175	50	30	24	5	35	3	0	m 4-18	
1	175	100	10	42	14	38	0	0	m 4-8	
1	175	100	30	19	16	35	0	0	m 4-2	
1	225	50	10	19	16	35	0	0	m 4-4	
1	225	50	30	25	6	30	0	0	m 4-13	
1	225	100	10	33	7	31	14	0	m 4-16	
1	225	100	30	30	14	38	0	0	m 4-7	
3	200	75	20	30	18	44	16	0	m 4-19	
5	175	50	10	50	20	40	0	0	m 4-9	
5	175	50	30	40	5	38	69	0	m 4-6	
5	175	100	10	59	14	50	0	0	m 4-11	
5	175	100	30	26	9	32	62	0	m 4-17	
5	225	50	10	27	12	30	48	5	m 4-14	
5	225	50	30	6	0	22	76	55	m 4-5	
5	225	100	10	24	3	30	32	13	m 4-3	
5	225	100	30	3	0	28	0	135	m 4-12	

#### 4. Resultados y discusión

En las demás cenizas volantes se obtuvieron resultados medios de síntesis, tan solo se llegaron a valores máximos de NaP1 de 40% en Meirama y en Puertollano, siendo la sodalita el producto zeolítico mayoritario obtenido en casi todos los experimentos. La phillipsita no pudo obtenerse mediante la síntesis con microondas, produciéndose en su lugar la síntesis de Linde-F.

La síntesis mediante microondas a temperaturas de 150 °C y con concentraciones de solución activante altas produce la formación de Linde F en lugar de kalsilita como los experimentos convencionales. La kalsilita solo fue obtenida a temperaturas de 225 °C.

**Tabla 4.68. Condiciones de síntesis y productos obtenidos a partir de los ensayos de síntesis mediante microondas utilizando el peso indicado en la tabla en gramos por 50 ml de solución de NaOH en reactores de 90 ml. Las unidades son intensidades normalizadas de DRX de la principal reflexión de cada producto sintetizado (proporcional a su contenido). Concentración (M), T, temperatura (°C); t, tiempo (minutos); Peso (g) QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; CALC, calcita; HERSCH, herschelita.**

COMPOSTILLA									
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	NAP1	CÓDIGO
2	150	10	10	23	13	0	0	0	J01-1579
2	150	30	20	13	4	0	0	0	J01-1601
2	200	10	20	19	3	0	0	0	J01-1594
2	200	30	10	12	6	0	5	59	J01-1571
3.5	175	20	15	3	0	25	0	0	J01-1629
3.5	175	20	15	17	4	0	17	0	J01-1622
5	150	10	20	20	2	0	17	0	J01-1615
5	150	30	10	21	4	0	12	0	J01-1587
5	200	10	10	5	4	2	68	0	J01-1562
5	200	30	20	13	4	11	69	0	J01-1608

DOU HE									
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	NaP1	CÓDIGO
2	150	10	10	13	152	0	0	0	J01-1577
2	200	30	10	10	139	0	0	136	J01-1569
3.5	175	20	15	6	156	0	34	12	J01-1620
5	150	30	10	7	139	0	53	0	J01-1585
5	200	10	10	3	125	4	67	0	J01-1560

Tabla 4.68. Continuación

ESPIEL									
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	HERSC	CÓDIGO
2	150	10	10	12	10	0	0	0	J01-1584
2	150	30	20	9	11	0	0	0	J01-1606
2	200	10	20	8	14	0	0	0	J01-1599
2	200	30	10	16	14	0	0	0	J01-1576
3.5	175	20	15	7	10	0	9	0	J01-1627
3.5	175	20	15	2	0	6	0	0	J01-1633
5	150	10	20	11	11	0	10	0	J01-1619
5	150	30	10	1	4	0	4	0	J01-1592
5	200	30	20	7	19	19	110	12	J01-1613
5	200	10	10	5	14	7	80	0	J01-1567

LA ROBLA										
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	CALC	HERSCH	CÓDIGO
2	150	10	10	27	5	0	0	0	0	J01-1580
2	150	30	20	20	15	0	0	9	0	J01-1602
2	200	10	20	22	7	0	0	12	0	J01-1595
2	200	30	10	21	10	0	14	12	0	J01-1572
3.5	175	20	15	22	11	0	13	0	0	J01-1623
3.5	175	20	15	5	0	24	7	0	0	J01-1630
5	150	10	20	22	9	0	18	8	0	J01-1616
5	150	30	10	23	10	0	40	0	0	J01-1588
5	200	10	10	23	11	0	47	0	0	J01-1563
5	200	30	20	6	9	17	46	0	12	J01-1609

LOS BARRIOS										
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	CALC	NaP1	CÓDIGO
2	150	10	10	24	88	0	0	0	0	J01-1581
2	150	30	20	20	80	0	0	6	0	J01-1603
2	200	10	20	20	80	4	0	17	0	J01-1596
2	200	30	10	15	89	3	0	14	18	J01-1573
3.5	175	20	15	27	87	0	9	9	0	J01-1624
5	150	30	10	15	78	5	43	15	0	J01-1589
5	200	10	10	14	84	0	40	10	0	J01-1564

#### 4. Resultados y discusión

Tabla 4.68. Continuación.

MEIRAMA										
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	NaP1	CÓDIGO	
2	150	10	10	53	5	0	0	23	J01-1583	
2	150	30	20	59	3	0	0	25	J01-1605	
2	200	10	20	42	6	2	0	21	J01-1598	
2	200	30	10	62	4	0	5	92	J01-1575	
3.5	175	20	15	49	15	0	30	0	J01-1626	
3.5	175	20	15	3	0	16	0	0	J01-1632	
5	150	30	10	58	4	0	96	12	J01-1591	
5	150	10	20	108	3	0	24	24	J01-1618	
5	200	10	10	31	1	0	104	4	J01-1566	
5	200	30	20	41	0	10	84	7	J01-1612	

PUERTOLLANO										
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	HERSCH	NaP1	CÓDIGO
2	150	10	10	65	20	0	0	0	0	J01-1578
2	150	30	20	81	42	0	0	0	0	J01-1600
2	200	10	20	73	27	0	0	0	0	J01-1593
2	200	30	10	57	50	0	0	0	96	J01-1570
3.5	175	20	15	20	0	15	0	27	0	J01-1628
3.5	175	20	15	68	39	0	0	0	0	J01-1621
5	150	10	20	49	27	0	15	0	0	J01-1614
5	150	30	10	54	52	0	29	0	0	J01-1586
5	200	10	10	45	42	31	71	0	0	J01-1561
5	200	30	20	3	30	79	0	0	16	J01-1607

TERUEL										
Concentración (M)	T	t	PESO	QZ	MUL	CANC	SODAL	HERSC	NaP1	CÓDIGO
2	150	10	10	65	14	0	0	0	0	J01-1582
2	150	30	20	63	12	0	0	0	0	J01-1604
2	200	10	20	55	11	0	0	0	0	J01-1597
2	200	30	10	34	21	0	7	0	23	J01-1574
3.5	175	20	15	17	0	27	5	0	0	J01-1631
3.5	175	20	15	63	2	0	19	0	24	J01-1625
5	150	10	20	42	18	0	18	0	0	J01-1617
5	150	30	10	31	18	0	38	0	0	J01-1590
5	200	10	10	25	21	0	42	0	0	J01-1565
5	200	30	20	27	25	11	41	13	0	J01-1611

#### **4.3.2. SÍNTESIS A ESCALA DE PLANTA PILOTO**

Una vez confirmada la obtención de NaP1 en los experimentos realizados a escala de kilogramos, se desarrollaron pruebas a escala de planta piloto encaminadas hacia la síntesis de esta zeolita. La ceniza volante de Teruel fue seleccionada y las condiciones de síntesis aplicadas fueron: 2 M NaOH, relación solución activante/ceniza volante de 2 ml g<sup>-1</sup>, 150 °C y 24 horas.

La Tabla 4.69 resume las condiciones de trabajo utilizadas en la a escala de planta piloto. En un primer paso el reactor (Figuras 4.31 y 32) fue cargado con agua osmotizada y NaOH para obtener una solución 2 M, esta solución fue agitada durante 15 minutos, después de lo cual se adicionó la ceniza volante y se continuó agitando durante 1 hora para obtener una mezcla homogénea. Una vez transcurrido este tiempo se cerró completamente el reactor y se dió inicio al calentamiento mediante camisa de vapor hasta llegar a la temperatura de 150 °C y una presión 33.5 kg cm<sup>-2</sup>. La temperatura y la presión fueron controladas de forma automática durante las 24 horas del experimento.

Al final de la reacción se refrigeró el reactor mediante liberación de presión a través de una válvula manual y el intercambiador de gases hasta despresurización completa alcanzándose una temperatura entre 110-115 °C después de dos horas.

Se obtuvieron muestras del reactor en caliente y en agitación para controlar que la mezcla no se aglomerase, lo cual pudiera dificultar la descarga del reactor y la filtración.

El paso siguiente fue la adición de 1000 l de agua osmotizada previamente calentada en otro reactor a 85 °C y se mantuvo durante 45 min a 90 °C con el fin de fluidificar aún más el producto.

Luego se procedió al lavado del producto zeolítico con 2000 l de agua osmotizada a 85 °C para eliminar el exceso de sosa y se bombeó aire a través de filtros-prensa neumáticos (Figura 4.33) hasta obtener un producto de una humedad relativamente baja. Previamente al lavado del producto se hace pasar agua a 85 °C para precalentar todos los conductos anexos a la bomba y al filtro manual y prevenir posibles atascamientos.

La filtración se realizó a 90 °C con una bomba neumática asistida por aire durante aproximadamente 1 hora, y recogiendo un total de 2926 litros de solución filtrada con un pH de 12.8 y un contenido de 0.5% de NaOH.



#### 4. Resultados y discusión

---

El producto se descargó manualmente y se empaquetó en bidones (Figura 4.34).

**Tabla 4.69. Parámetros de síntesis de zeolitas utilizados durante el experimento a escala de planta piloto.**

<p><b>Síntesis:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Reactor R-410-A de acero inoxidable 304 con una capacidad de 10 m<sup>3</sup></li><li>• Ceniza volante de Teruel (1100kg)</li><li>• 352 kg de solución de NaOH al 50%</li><li>• Relación de 2 litros de solución por kg de ceniza volante</li><li>• Tiempo de reacción 24 horas</li><li>• Temperatura de 150 °C</li><li>• Presión de 3.6 kg cm<sup>2</sup></li><li>• Enfriamiento de 2h</li></ul> <p><b>Filtrado y lavado</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• 55 filtros prensa de polipropileno</li><li>• Temperatura de 90 °C</li><li>• Tiempo de 1 hora</li><li>• Temperatura del agua de lavado 85 °C</li><li>• Tiempo de lavado 40 minutos</li><li>• Secado con aire: 12 horas</li></ul> <p><b>Descarga:</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Manual en barcas de 400kg de capacidad</li><li>• Peso total húmedo 2603 kg</li><li>• Residuo seco 52%</li><li>• Peso neto estimado 1354 kg</li></ul> <p><b>Residuos</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Volumen aproximado 2926 l (<math>\rho=1.008 \text{ g ml}^{-1}</math>)</li><li>• NaOH residual en aguas: 8.4% con respecto al original</li><li>• pH=12.8</li></ul>
---



Figura 4.31. Cuerpo del reactor R-410-A utilizado en el experimento a escala piloto.



Figura 4.32. Parte superior del reactor R-410-A utilizado en el experimento a escala piloto.



Figura 4.33. Filtro prensa F-406 de polipropileno utilizados en el experimento a escala piloto.

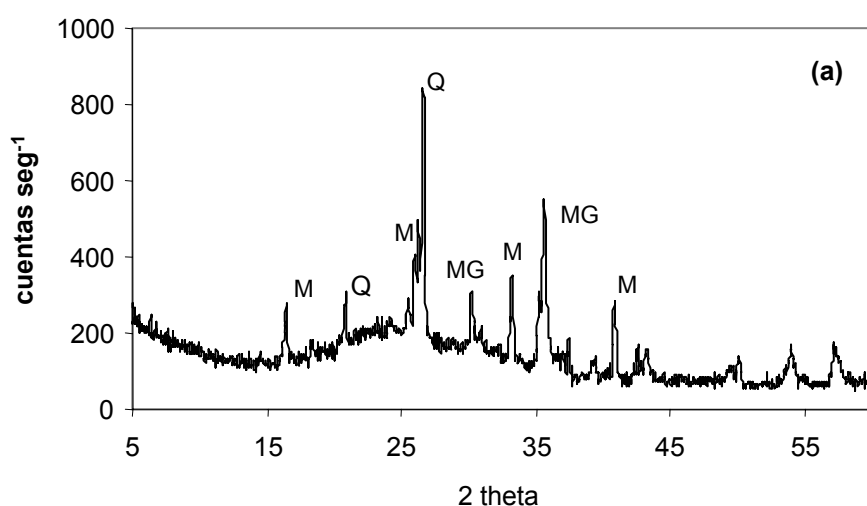


Figura 4.34. Empaquetamiento en bidones de plástico del producto zeolítico obtenido.

La Figura 4.35. muestra los espectros de DRX de la ceniza volante original de Teruel (a), de los productos zeolíticos resultantes de los experimentos de síntesis a escala de laboratorio (b), a escala de kilogramo (c) y del producto resultante del experimento a escala de planta piloto (d) y en la Tabla 4.70 se resumen los resultados para el mismo experimento en la escala de gramos, kilogramos y escala de planta piloto. En estos experimentos se obtiene mayoritariamente NaP1, llegando a formarse un producto prácticamente monomineral de NaP1 en la escala de kilogramos, mientras que en la escala de gramos y piloto además de NaP1 se produce trazas de analcima, sodalita y herschelita (Figura 4.35).

**Tabla 4.70. Comparación entre los resultados de síntesis de zeolitas para los ensayos en laboratorio a escala de kilogramos (1882) y el realizado a escala piloto (2006), mediante el uso de la ceniza volante de TERUEL y relación de  $2 \text{ ml g}^{-1}$ . T, temperatura °C; t, tiempo (horas); QZ, cuarzo MUL, mullita; MAG, magnetita; ANAL, analcima; SODAL, sodalita; CANC, cancrinita; HERSCH, herschelita.**

Escala	Concentración (M)	NaOH							
		T	t	QZ	MUL	NAP1	ANAL	SODAL	HERSCH
Gramos	2	150	24	25	20	70	0	17	3
Kilogramos	2	150	24	5	8	155	0	0	0
Planta piloto	2	150	24	0	5	92	10	10	0



**Figura 4.35. Espectros de DRX de la ceniza volante de Teruel (a), del producto obtenido en los experimentos de síntesis a escala de gramos (b), escala de kilogramos (c) y de planta piloto utilizando esta ceniza volante, mediante activación con NaOH 2M como activante, una relación de  $2 \text{ ml g}^{-1}$ ,  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ , y 24 horas. M, mullita; Q, cuarzo, MG, magnetita, P1, NaP1; A, analcima; S, sodalita.**

#### 4. Resultados y discusión

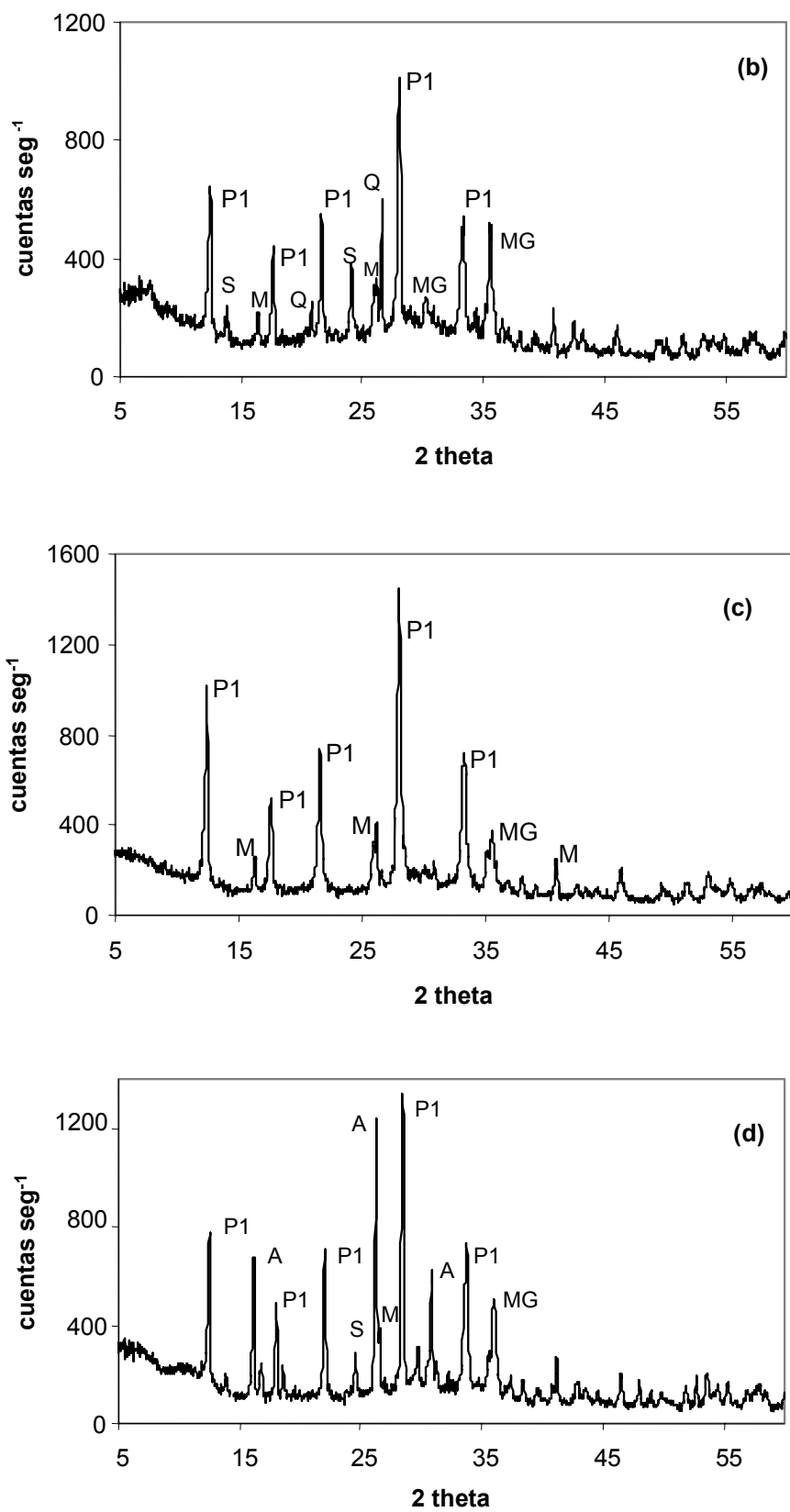


Figura 4.35. Continuación.

A pesar de que los resultados pueden considerarse como satisfactorios, la realización de algunos ajustes favorecerían la reducción de costos de cara a una aplicación industrial del proceso:

- Es posible llegar a una reducción del tiempo de reacción en varias horas mediante la utilización de una ceniza volante más adecuada u optimizando las condiciones de síntesis.
- El gran consumo de agua utilizado para la síntesis ( $2 \text{ l kg}^{-1}$  en la activación más  $1 \text{ l kg}^{-1}$  para el lavado del material zeolítico) puede reducir su aplicación industrial. Además, existen costes adicionales debido a que con las condiciones utilizadas las aguas residuales producidas presentan un exceso aproximado del 8% de NaOH con respecto al introducido originalmente. Ello conlleva una pérdida de NaOH.
- La realización del ensayo demostró que desde el punto de vista económico el lavado y el filtrado son factores importantes a tener en cuenta dentro de la aplicación industrial del proceso de síntesis. Dado que solo existe un 8% de exceso de NaOH el proceso se podría optimizar para evitar esta pérdida de sosa.
- La reducción de la relación activante/ceniza volante también sería una buena solución para la reducción de costos debidos al consumo de agua, pero esta reducción está limitada debido a los problemas de extracción del producto zeolítico del reactor por su rápido endurecimiento cuando la relación es  $< 2 \text{ l kg}^{-1}$ .

Los resultados obtenidos han de considerarse como desarrollos preliminares dado que quedan todavía importantes cuestiones definir relativas a la naturaleza del proceso: continuo, semi-continuo o tipo "batch", la optimización del consumo de agua y de la concentración de la solución alcalina, las posibilidades del reciclado del agua y el destino final de las aguas residuales

Ensayos preliminares de intercambio iónico muestran que el producto zeolítico obtenido a partir de la escala piloto presenta un buen rendimiento de intercambio de metales pesados como el Ni, Cd, Zn, Pb, Cr y Cu. En el capítulo de aplicaciones de las zeolitas obtenidas se encuentran detallados los resultados de su utilización como intercambiadores iónicos.

### 4.3.3. CONCLUSIONES

- Se han obtenido hasta 11 tipos de zeolitas diferentes a partir de las cenizas volantes (Tabla 4.71).
- En los ensayos de síntesis, tanto en el sistema convencional como mediante el uso de microondas se han sintetizado las siguientes zeolitas, clasificadas de acuerdo al interés en cuanto aplicaciones:

Con alto potencial de aplicabilidad:

NaP1, philipsita, K-chabazita, Linde F y herschelita,

Con bajo potencial de aplicabilidad:

Perialita, nefelina, sodalita, cancrinita y kalsilita

De acuerdo con esta clasificación las mejores cenizas volantes para la síntesis de los productos de alta aplicabilidad son. Para NaP1: Meirama, Narcea, Soto de Ribera, los Barrios, Espiel, Dou He, SA1, SA2 y SA3. Para la philipsita: Escucha, Narcea, Teruel, Meirama, Espiel, Soto de Ribera, Dou He, SA1, SA2, y SA3, para la Linde-F: Narcea, Los Barrios y Dou He. Para la k-Chabazita; Teruel, Soto de Ribera, Compostilla y SA-1. La herschelita: cenizas volantes de Narcea y Espiel.

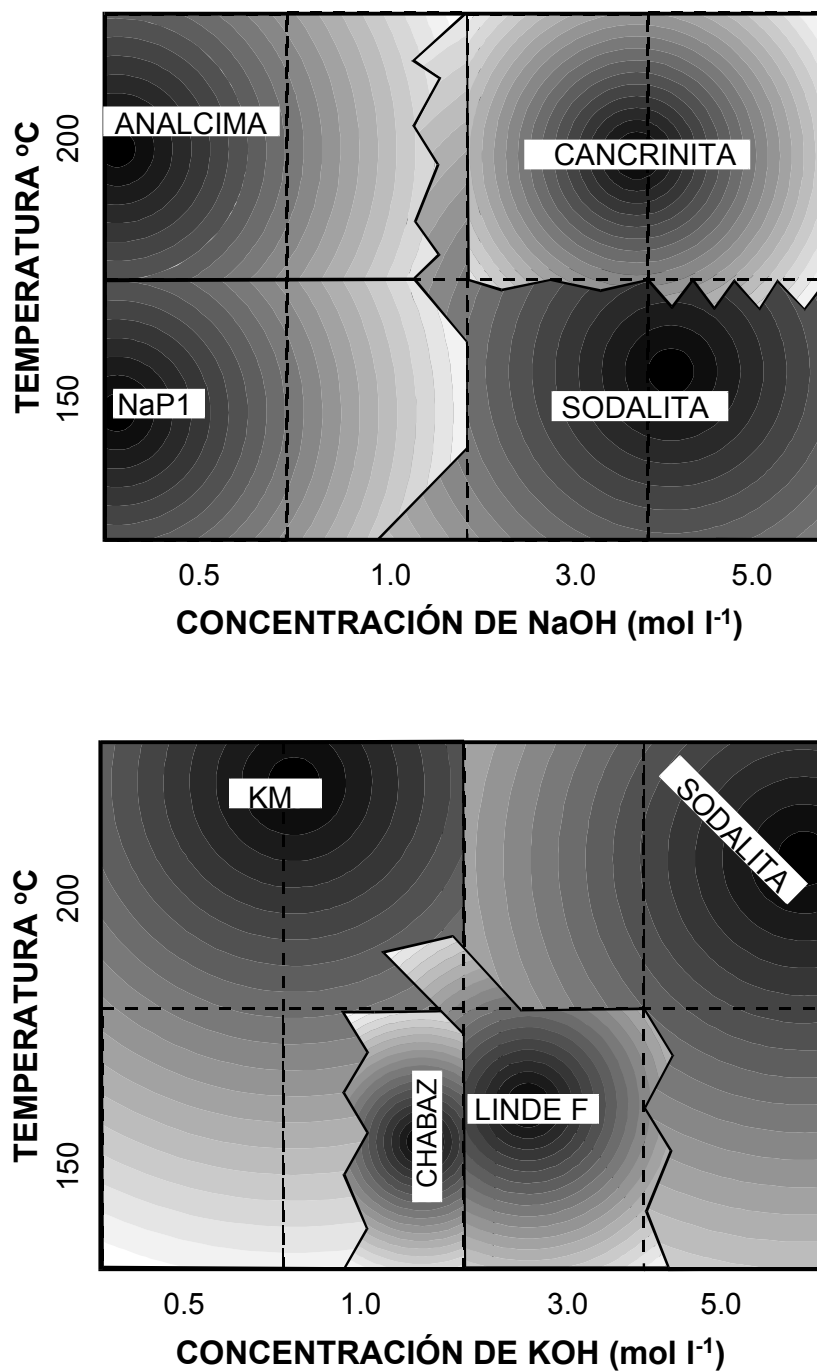
- La Tabla 4.71 resume los valores máximos de intensidad obtenidos durante los experimentos con una relación de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para cada zeolita sintetizada y la ceniza volante a la cual corresponde.
- Se han optimizado las condiciones de síntesis para cada zeolita y ceniza. La Figura 4.36 muestra el ejemplo de estas condiciones en la relación activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  para todas las cenizas volantes en 24 horas, tanto para la síntesis con NaOH y KOH como solución activante.
- En la Figura 4.37 se aprecian las mejores condiciones de síntesis para las cenizas volantes de Narcea, Los Barrios y Teruel mediante activación con NaOH utilizando una relación de solución activante/ceniza volante de  $2 \text{ ml g}^{-1}$  y un tiempo de 9 horas. Durante la utilización de esta relación la disminución en el tiempo de síntesis fue bastante importante.

Tabla 4.71. Valores máximos de intensidad de DRX expresados en cuentas por segundo (cps) proporcional al contenido de cada fase presente en la muestra para cada zeolita alcanzados durante la síntesis a escala de laboratorio mediante la relación 18 ml g<sup>-1</sup> para cada ceniza volante estudiada.

	Escatrón	Teruel	Escucha	Robla	Compostilla	Meirama	Narcea	As Pontes	Cercs	Puertollano
NaP1	0	150	142	126	221	222	233	213	0	208
Analcima	0	<b>247</b>	<b>305</b>	117	<b>315</b>	301	<b>340</b>	108	0	<b>402</b>
Sodalita	0	76	149	107	101	161	78	210	0	144
Cancrinita	0	185	191	108	192	224	204	118	0	276
Tobermorita	70	32	35	34	35	75	23	52	47	25
Herschelita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nefelina	0	10	36	4	0	0	0	64	0	0
Katoita	38	0	0	50	0	0	0	0	<b>121</b>	0
Phillipsita	0	173	207	78	145	172	197	128	0	230
Linde F	0	69	68	85	96	58	69	57	0	14
Kalsilita	0	244	279	<b>202</b>	298	<b>312</b>	208	<b>235</b>	0	321
K-chabazita	0	72	10	28	97	52	0	63	0	0
Perliaita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22

	Espiel	Barrios	S. De Ribera	Dou He	SA-1	SA-2	SA-3	Paipa	Tasajero	Máximo
NaP1	244	231	234	220	245	<b>239</b>	<b>191</b>	114	104	245
Analcima	<b>320</b>	21	280	<b>408</b>	<b>295</b>	0	60	<b>250</b>	<b>127</b>	408
Sodalita	157	256	133	298	259	213	0	63	72	298
Cancrinita	212	99	224	169	106	36	10	134	53	276
Tobermorita	11	30	29	8	18	42	19	4	2	75
Herschelita	72	0	0	0	0	0	0	0	0	72
Nefelina	37	68	61	90	103	43	0	3	4	103
Katoita	0	0	0	0	72	0	0	0	0	73
Phillipsita	169	115	159	246	213	118	190	0	0	246
Linde F	107	127	60	134	103	0	0	0	0	134
Kalsilita	276	<b>286</b>	<b>309</b>	339	205	0	0	0	0	339
K-chabazita	25	34	60	0	94	14	0	0	0	97
Perliaita	0	0	0	0	0	0	0	0	0	22





- Figura 4.36. Productos zeolíticos obtenidos durante los estudios de síntesis para todas las cenizas volantes con los parámetros aplicados a la relación solución activante/ceniza volante de 18 ml g<sup>-1</sup>.

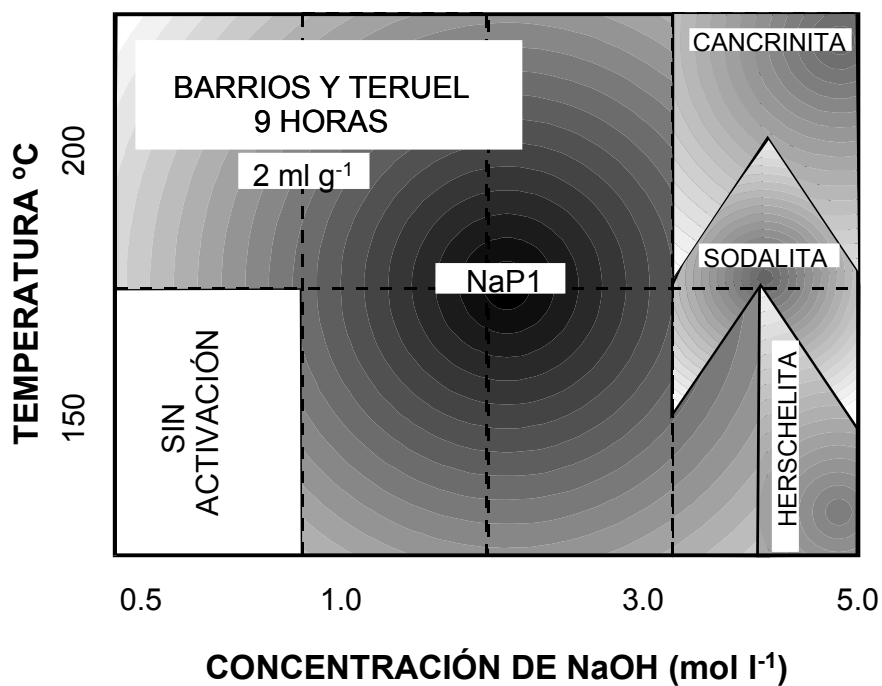
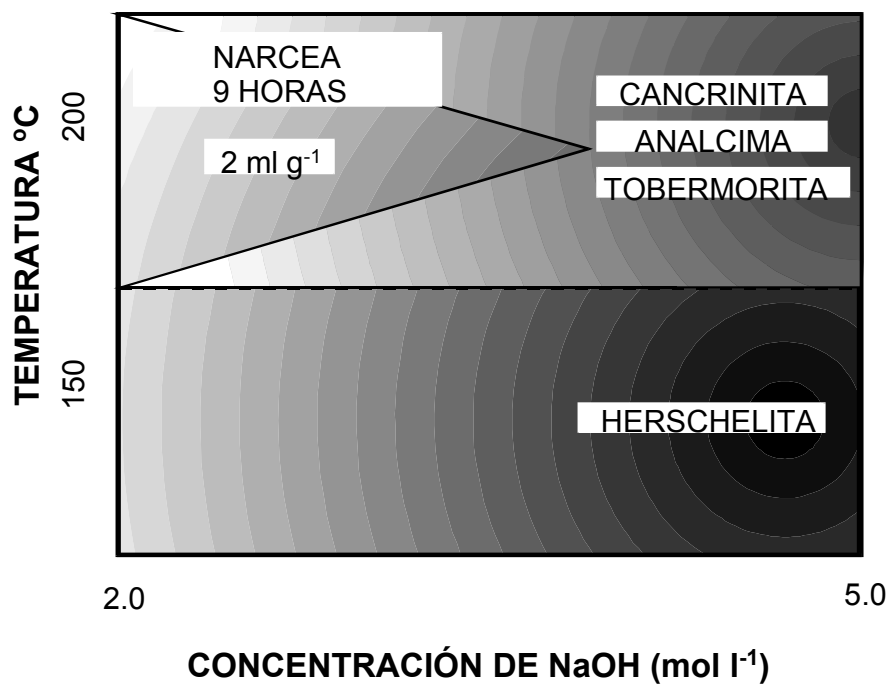
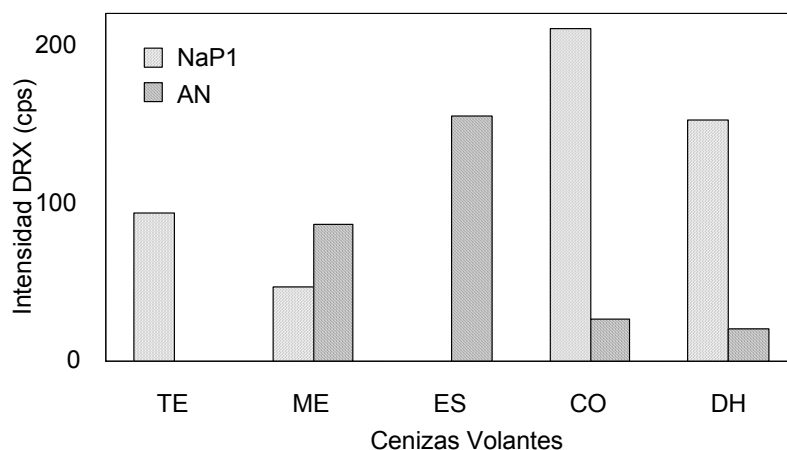


Figura 4.37. Productos zeolíticos obtenidos durante los estudios de síntesis para las cenizas volantes de Narcea, Los Barrios y Teruel, con los parámetros aplicados a la relación solución activante/ceniza volante de 2 ml g<sup>-1</sup>.

- Durante los experimentos de relación activante/ceniza volante de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  el vidrio se disuelve primero, seguido del cuarzo y finalmente la mullita. Por consiguiente de la composición química del vidrio depende la obtención de un tipo u otro de zeolitas dado que controla la primera nucleación de las zeolitas. Por tanto, utilizando las mismas condiciones de síntesis se obtienen diferentes zeolitas dependiendo de las propiedades de las cenizas de partida. En la Figura 4.38 se puede ver este comportamiento el cual se hace muy patente en las cenizas volantes de Teruel y Escucha las cuales presentan una composición química similar pero proporciones de cuarzo, vidrio y mullita diferentes y por tanto la composición del vidrio también diferente. Mientras que en Teruel obtenemos NaP1 mayoritariamente bajo las condiciones de  $1 \text{ M NaOH}$ ,  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  y 48 horas, en la ceniza volante de Escucha obtenemos principalmente analcima.



**Figura 4.38. Resultados de síntesis de NaP1 bajo condiciones de activación con  $1 \text{ M NaOH}$ ,  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  y 48 horas para las cenizas volantes de Teruel (TE), Meirama (ME), Escucha (ES), Compostilla (CO) y Dou He (DH). Los resultados están expresados en intensidad de DRX cps (cuentas por segundo) proporcional a la concentración de fase presente en la muestra.**

- Durante los experimentos de  $2 \text{ ml g}^{-1}$  se observa la disolución de la mullita antes que el cuarzo lo que puede conllevar a la síntesis de diferentes tipos de zeolitas con respecto a los experimentos de  $18 \text{ ml g}^{-1}$  bajo las mismas condiciones de concentración de activante, tiempo y temperatura.
- La síntesis mediante microondas presenta como característica principal la disminución en el tiempo de activación, obteniéndose rendimientos considerables en tan solo 30 minutos. En este proceso de síntesis la nucleación y cristalización son prácticamente simultáneas debido a la saturación inducida por la rápida disolución del silicio y el aluminio a partir del vidrio.

- Los experimentos a escala de kilogramos presentaron un buen rendimiento bastante similar a los obtenidos a escala de gramos para la ceniza volante de Teruel, mientras que en la ceniza volante de Narcea no se obtuvo como se esperaba la herschelita, produciéndose la digestión del cuarzo y obteniéndose mayoritariamente NaP1. Ésto puede deberse a que en los experimentos a escala de gramos fueron realizados sin agitación.
- Los experimentos llevados a escala de planta piloto (1.4 Tm en 24 h) dieron muy buenos resultados, lográndose la síntesis de NaP1 con algunas trazas de otros productos zeolíticos. Los resultados obtenidos han de considerarse como desarrollos preliminares dado que quedan todavía importantes cuestiones definir relativas a la naturaleza del proceso: continuo, semi-continuo o tipo "batch", la optimización del consumo de agua y de la concentración de la solución alcalina, las posibilidades del reciclado del agua y el destino final de las aguas residuales.

#### **4.4. APLICACIONES DE LAS ZEOLITAS SINTETIZADAS**

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalinos, con elementos del grupo I y II como iones de signo contrario. Su estructura está formada por tetraedros de  $[\text{SiO}_4]^{4-}$  y  $[\text{AlO}_4]^{5-}$  unidos en los vértices por medio de oxígenos compartidos. Los tetraedros conforman una estructura tridimensional, con gran cantidad de espacios abiertos y vacíos. Estos espacios vacíos son los que definen muchas de las propiedades especiales de las zeolitas, tales como la adsorción de moléculas en los canales internos.

La sustitución de Si (IV) por Al (III) en los tetraedros explica la carga negativa de la estructura lo que conlleva a una alta capacidad de intercambio iónico (hasta  $6 \text{ meq g}^{-1}$ ) cuando los espacios abiertos permiten el acceso de los cationes.

Como consecuencia de la particular estructura de las zeolitas, éstas poseen un amplio rango de aplicaciones industriales (Breck, 1984):

- Intercambio iónico: Capacidad de intercambiar  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  por otros cationes basados en la selectividad iónica.
- Retención de gases: Capacidad de absorber selectivamente moléculas específicas de gases.
- Adsorción de agua: Capacidad de adsorber reversiblemente agua sin que ningún proceso de desorción química o física cambie la matriz de la zeolita.