

Indice

Indice.....	i
0. Estructura de la tesis	1
1. Introducción y Estado del Arte.....	3
1.1 El cristal resonador de cuarzo.....	3
1.2 Evolución del Cristal de Cuarzo como Sensor	8
1.3 Descripción del modelo de líneas de transmisión (TLM).....	13
1.4 Fenómenos no considerados en la teoría general del cristal resonador de cuarzo en medios líquidos	18
1.5 Modelos de rugosidad.....	22
1.5.1 Modelos para rugosidad "fuerte" de Daikhin et Urbakh y Etchenique	23
1.5.2 Modelo para rugosidades suaves de Daikhin et Urbakh.....	25
1.5.3 Aplicación de los modelos de rugosidad Daikhin et Urbakh para la interpretación de resultados experimentales	27
1.5.4 Modelo de rugosidad de Arnau	29
2. Objetivos.....	33
3. Aportación. Parte 1: Estudio del Modelo de Rugosidad de Arnau .35	
3.1 Introducción.....	35
3.2 Análisis Numérico	36
3.2.1 Análisis de la relación R_L/X_L	36
3.2.2 Análisis de los valores absolutos de R_L y X_L	40
3.3 Comparación con los Modelos de rugosidad "fuerte" de Daikhin et Urbakh y Etchenique	47
3.4 Estudio del Término de Stokes	51
3.5 Comparación del Modelo de Arnau con simulaciones realizadas con el Método de los Volúmenes Finitos	52
3.6 Conclusión.....	56
4. Aportación. Parte 2: Estudio de la rugosidad de un recubrimiento polimérico mediante el modelo de Arnau	57
4.1 Introducción.....	57
4.2 Descripción del Experimento: Material y Métodos.....	58
4.3 Discusión	59

4.3.1 Densidad de Masa, Rugosidad Superficial y Eficiencia en Régimen Gravimétrico	60
4.3.2 Contribución de la Rugosidad sobre las Propiedades Viscoelásticas Efectivas del Recubrimiento.....	66
5. Aportación. Parte 3: Corrección del modelo de rugosidad de Arnau mediante la aplicación de Condiciones Contorno Armónicas	73
5.1 Introducción.....	73
5.2 Introducción al sistema de ecuaciones de Navier-Stokes	75
5.3 Planteamiento del problema	77
5.3.1 Soluciones periódicas fundamentales para la ecuación de Navier-Stokes	78
5.3.2 Aplicación de la técnica de Ewald en la búsqueda de una expresión analítica cerrada para el campo de velocidades	89
5.3.3 Cálculo de la fuerza de arrastre en la distribución de esferas..	93
5.4 Conclusiones.....	94
6. Aportación. Parte 4: Modelado por medio del Método de los Elementos Finitos de una QCM.....	95
6.1 Introducción.....	95
6.2 Determinación del software de simulación FEM	95
6.3 Modelado del cristal resonador de cuarzo en corte AT	96
6.4 Modos fundamentales del cristal de cuarzo.....	101
6.5 Respuesta en frecuencia del cristal de cuarzo.....	107
6.6 Conclusiones.....	112
7. Aportación. Parte 5: Modelado mediante el método de los volúmenes finitos del efecto sobre la impedancia acústica de la rugosidad superficial	115
7.1 Introducción.....	115
7.2 Fundamentos de la modelización.....	116
7.2.1 Diseño geométrico y mallado	117
7.2.2 Diseño temporal de la simulación	118
7.2.3 Ecuación de estado	118
7.2.4 Modelado de flujo.....	119
7.2.5 Condiciones de contorno	120
7.2.6 Estado inicial	121
7.2.7 Convergencia.....	121
7.2.8 Cálculo de resultados.....	122
7.3 Superficie plana.....	124
7.4 Esfera aislada.....	128
7.5 Superficie de casquetes.....	132

7.5.1 Interpretación física del efecto de interferencia entre casquetes	134
7.4.2 Identificación de los parámetros físicos geométricos más influyentes en la respuesta rugosa del sensor	138
7.6 Modelo semi-empírico del efecto sobre la impedancia acústica de la rugosidad superficial.....	151
7.7 Desarrollo de una corrección armónica semi-empírica del modelo de Arnau	153
7.7.1 Planteamiento de una descripción matemática del efecto interferente.....	153
7.7.2 Obtención de las funciones de variación de los coeficientes de corrección en función del radio de los casquetes.....	163
7.7.3 Estudio de la bondad de la aplicación inversa del modelo corregido de Arnau	166
7.8 Estudio de la respuesta de superficies rugosas aleatorias	169
7.8.1 Estudio de la respuesta rugosa en los modelos de superficies aleatorias.....	170
7.8.2 Extracción de características geométricas de las superficies rugosas aleatorias mediante el modelo corregido de Arnau	179
7.8.3 Extracción de características geométricas de las superficies rugosas aleatorias mediante la aplicación del modelo empírico y correlación con el modelo extendido de Arnau	184
7.8.4 Correlación de los parámetros extraídos mediante la aplicación del modelo corregido de Arnau con los parámetros geométricos reales AFM.	186
8. Futuras líneas	193
9. Conclusiones.....	195
10. Bibliografía.....	197
Apéndice A. Deducción de los Modelos de Rugosidad de Daikhin y Etchenique	211
A.1 Introducción	211
A.2 Descripción del modelo de rugosidad "fuerte"	212
A.3 Descripción del modelo rugosidad "suave"	227
Apéndice B. Método de Ewald para acelerar la convergencia de los desarrollos en serie de Fourier	235
B.1 Introducción	235
B.2 Desarrollo de Ewald.....	235

Apéndice C. Introducción al Método de los Elementos Finitos	243
C.1 Introducción	243
C.2 Características principales del método de los elementos finitos..	244
C.3 Descripción general del método.....	245
C.4 Campos acoplados	248
C.5 Interacción líquido-estructura (FSI).....	249
C.5.1 Clasificación de los problemas FSI.....	249
Apéndice D. Introducción al Método de los Volúmenes Finitos	251
D.1 Introducción.....	251
D.2 Discretización de las ecuaciones de Navier-Stokes	251
D.2.1 Discretización de los términos transitorios.....	254
D.2.2 Funciones de forma	255
D.2.3 Discretización de los términos de difusión	256
D.2.4 Discretización del término gradiente de presión.....	257
D.2.5 Discretización del término de advección	257
D.3 Inclusión de los efectos de deformación en la malla	258
D.4 Errores de discretización.....	259
D.4.1 Difusión numérica	259
D.4.2 Dispersión Numérica	260
D.5 Malla	261
D.5.1 Generación de la malla	261
D.6 Condiciones de contorno	262
D.6.1 Entrada.....	262
D.6.2 Salida	263
D.6.3 Abierto	263
D.6.4 Muro	263
D.6.5 Plano de simetría	263
D.6.6 Plano periódico	264
D.7 Solución del sistema de ecuaciones algebraico	264
D.7.1 Construcción del sistema global de ecuaciones	264
D.7.2 Solución del sistema global ecuaciones.....	265
D.8 Convergencia	266
Apéndice E. Modelado por medio del Método de los Elementos Finitos de un sensor LFE	267
E.1 Introducción	267
E.2 Resultados experimentales y simulaciones	269
E.3 Conclusiones	277