

---

## ÍNDICES.

---

---

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CAPÍTULO 1:	INTRODUCCIÓN.....	21
CAPÍTULO 2:	TRATAMIENTO Y REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES ..	27
2.1.	Breve historia del tratamiento de las aguas residuales. ....	27
2.2.	Características de las aguas residuales.....	39
2.3.	Fundamentos básicos del tratamiento de aguas residuales urbanas. ...	45
2.4.	Tratamientos avanzados para la reutilización de aguas residuales. ....	58
CAPÍTULO 3:	PROPUESTA METODOLÓGICA.....	89
3.1.	El método Delphi .....	89
3.2.	El método AHP.....	97
3.3.	El método VIKOR .....	110
CAPÍTULO 4:	APLICACIÓN PRÁCTICA.....	115
4.1.	Fase preliminar: La definición del árbol jerárquico.....	115
4.2.	Fase 1: La evaluación de criterios y alternativas. ....	125
4.3.	Fase 2: Solución de compromiso y análisis de estabilidad.....	148
CAPÍTULO 5:	CONCLUSIONES.....	155
CAPÍTULO 6:	REFERENCIAS.....	161
ANEXO:	PUBLICACIÓN.....	173

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.- Obras de ampliación y tratamiento terciario de la EDAR de Castellón.....	21
Ilustración 2.- Tecnologías de desinfección.....	22
Ilustración 3.- Usos del agua regenerada.....	23
Ilustración 4.- Canalizaciones en Mohenjo-Daro.....	28
Ilustración 5.- Letrina en Knossos (Creta).....	28
Ilustración 6.- Tuberías de terracota.....	29
Ilustración 7.- Letrinas Romanas.....	29
Ilustración 8.- Cloaca Maxima.....	30
Ilustración 9.- Salida de la Cloaca Maxima.....	30
Ilustración 10.- Sátira de la revista Punch, que demuestra la contaminación del río Támesis en 1858 con el título de "La carretera en silencio hombre (Föhl & Hamm, 1985).....	31
Ilustración 11.- Sir Edwin Chadwick.....	33
Ilustración 12.- Fosa séptica Foie Mouras.....	34
Ilustración 13.- Modificación del tanque séptico original propuesto por Mouras.....	35
Ilustración 14.- Tanque séptico de Donald Cameron. (Fuente: <a href="http://www.teecsa.com">www.teecsa.com</a> ).....	35
Ilustración 15.- Fuentes de Contaminación. (Fuente: Hernández Muñoz, 2001). ..	40
Ilustración 16.- Vertido industrial.....	42
Ilustración 17.- Elementos constituyentes de las instalaciones para el tratamiento de las aguas residuales urbanas (Centa, 2006). ..	45
Ilustración 18.- Configuración típica de una planta convencional de tratamiento de aguas residuales.....	47
Ilustración 19.- Pozo de gruesos.....	48
Ilustración 20.- Reja de desbaste automática.....	48
Ilustración 21.- Rototamiz.....	49

---

Ilustración 22.- Desarenador-desengrador aireado. ....	50
Ilustración 23.- Decantador Primario. ....	51
Ilustración 24.-Parrilla de difusores en reactor biológico. ....	52
Ilustración 25.- Esquema de Tratamiento Secundario en la depuración de las aguas residuales urbanas.....	53
Ilustración 26.- Canal de Cloración.....	54
Ilustración 27.- Espesador de fangos por flotación.....	55
Ilustración 28.- Digestor Anaerobio para estabilización de fangos.....	55
Ilustración 29.- Equipo de acondicionamiento químico de lodos. ....	56
Ilustración 30.- Decantadora Centrífuga. ....	56
Ilustración 31.- Esquema típico del horno donde se lleva a cabo la incineración..	57
Ilustración 32.- Riego de zonas públicas.....	59
Ilustración 33.- Protección Contra incendios .....	60
Ilustración 34.- Sistema tipo de refrigeración. ....	61
Ilustración 35.- Industria papelera. ....	62
Ilustración 36.- Riego agrícola. ....	62
Ilustración 37.- Humedales naturales y/o artificiales.....	65
Ilustración 38.- Estanques artificiales.....	65
Ilustración 39.- Recarga de acuíferos mediante canales de infiltración.....	67
Ilustración 40.- estación de regeneración avanzada de Goreangab (Namibia). ....	70
Ilustración 41.- Laberinto de cloración de una EDAR.....	74
Ilustración 42.- Proceso de generación del ozono (Fernández Troyano, 2014).....	76
Ilustración 43.- Módulo de desinfección UV. ....	78
Ilustración 44.- Esquema de un reactor UV.....	80
Ilustración 45.- Diagrama conceptual de un sistema de separación por membranas (P1>P2). (González Gálvez, 2007). ....	82

Ilustración 46.-Espectro de filtración. (Fuente: <a href="http://procesosbio.wikispaces.com">http://procesosbio.wikispaces.com</a> ) .....	82
Ilustración 47.- Humedal Artificial de juncos. ....	84
Ilustración 48.- Humedal Artificial de Flujo Libre. ....	86
Ilustración 49.- Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.....	86
Ilustración 50.- Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Vertical. ....	87
Ilustración 51.- Oráculo de Delfos en Grecia.....	90
Ilustración 52.- Etapas básicas de la técnica Delphi .....	96
Ilustración 53.- Thomas Saaty. ....	99
Ilustración 54.- Diagrama tipo de jerarquías.....	103
Ilustración 55. Años de experiencia laboral de los expertos.....	116
Ilustración 56.- Procedencia laboral de los expertos consultados. ....	116
Ilustración 57.- Estructura jerárquica del modelo.....	119
Ilustración 58.- Tipología de los criterios adoptados. ....	122
Ilustración 59.- Esquema del procedimiento de la Fase Preliminar .....	124
Ilustración 60.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Fiabilidad del Sistema" .....	135
Ilustración 61.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Simplicidad Operacional" .....	136
Ilustración 62.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Eficiencia en la Reducción de Patógenos". ....	137
Ilustración 63.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Costo de Capital". ....	138
Ilustración 64.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Costes de Operación y Mantenimiento". ....	139
Ilustración 65.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Tratamientos Adicionales".....	140
Ilustración 66.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Impactos Ambientales".....	141

Ilustración 67.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Uso de Recursos Naturales" ..... 142

Ilustración 68.- Valoración de las alternativas de desinfección según el criterio "Riesgos de Seguridad" ..... 143

Ilustración 69.- Resultado global de prioridades de las alternativas..... 145

Ilustración 70.- Esquema del procedimiento de la Fase 1 (a) ..... 146

Ilustración 71.- Esquema del procedimiento de la Fase 1 (b) ..... 147

Ilustración 72.- Esquema del procedimiento de la Fase 1 (c)..... 148

Ilustración 73.- Pesos de cada criterio con respecto al objetivo global. .... 156

Ilustración 74.- Pesos de cada alternativa técnica para cada criterio. .... 157

Ilustración 75.- Prioridades Globales para cada una de las alternativas de desinfección..... 158

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Composición típica de las aguas residuales urbanas (Metcalf & Eddy, 1995).

Tabla 2.- Requisitos de los vertidos procedentes de instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas (DIRECTIVA 91/271/CEE)

Tabla 3.- Agentes potencialmente infecciosos presentes en aguas residuales domésticas no tratadas

Tabla 4.- Principales Tecnologías de Regeneración.

Tabla 5.- Escala fundamental propuesta por Saaty para comparaciones por pares (Saaty, 2012).

Tabla 6.- Esquema general de la matriz de comparación por pares de los criterios.

Tabla 7.- Valor máximo de CR admisible (MCR).

Tabla 8.- Índice de consistencia aleatorio (RCI).

Tabla 9.- Segundo cuestionario: Evaluación de los criterios.

Tabla 10.- Resultados de la evaluación de los criterios.

Tabla 11.- Matriz de comparación por pares de los criterios (A).

Tabla 12.- Matriz de comparación por pares de los criterios normalizada ( $A_N$ ).

Tabla 13.- Vector de prioridades ( $\omega$ ).

Tabla 14.- Peso relativo de los criterios.

Tabla 15.- Tercer cuestionario: Evaluación de las Alternativas.

Tablas 16-24.- Resultados de las evaluaciones de las alternativas.

Tablas 25-33.- Vector de prioridades y análisis de la consistencia de la matriz de comparación por pares de las alternativas para cada criterio.

Tabla 34.- Matriz de Vectores Prioritarios de las Alternativas.

Tabla 35.- Resultado global de prioridades.

Tabla 36.- Resultado global de prioridades

Tabla 37.- Resultado de valores  $S_i$  y  $R_i$ .

Tabla 38.- Resultado de valores  $Q_j$ .

Tabla 39.- Ranking de preferencia de las tecnologías de desinfección.



## LISTA DE SIGLAS, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

A	Matriz de comparación por pares
a.C.	Antes de Cristo
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
AHP	Proceso Analítico Jerárquico (del inglés Analytical Hierarchy Process)
ARN	Ácido Ribonucleico
AT	Tratamientos Adicionales (del inglés Additional Treatments)
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de Calcio
CC	Costo de Capital (del inglés Capital Cost)
CEE	Comunidad Económica Europea
CLH	Cloración (del inglés Chlorination)
cm	Centímetro/s
COT	Carbono Orgánico Total
CR	Razón o Ratio de Consistencia (del inglés Consistency Ratio)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (transcurridos cinco días de reacción)
DMA	Directiva Marco del Agua
DQO	Demanda Química de Oxígeno
EDAR	Estación Depuradora de Aguas Residuales
EI	Impactos ambientales (del inglés Environmental Impacts)
EP	Eficiencia en la Reducción de microorganismos Patógenos (del inglés Efficiency in reducing Pathogenic microorganisms)

---

EPA	Agencia de Protección Medioambiental (del inglés Environmental Protection Agency)
l	Litro/s
m	Metro/s
MCDA	Análisis de Decisión Multicriterio (del inglés Multiple Criteria Decision Analysis)
MCDM	Métodos de Decisión Multicriterio (del inglés Multiple Criteria Decision Making)
MCR	Valor máximo del Ratio de Consistencia (del inglés Maximum Consistency Ratio)
MFI	Filtración por Membranas (del inglés Membrane Filtration)
mg	Miligramo/s
mm	Milímetro/s
MTH	Metanos Trihalogenados
N	Nitrógeno
nm	Nanómetro/s
NR	Uso de Recursos Naturales (del Inglés use of Natural Resources)
NSY	Sistemas Naturales (del inglés Natural SYstems)
O.D.	Oxígeno Disuelto
O <sub>2</sub>	Oxígeno (molécula de oxígeno)
O <sub>3</sub>	Ozono
°F	Grados Fahrenheit
OM	Coste de Operación y Mantenimiento (del inglés Operation and Maintenance cost)

OS	Simplicidad Operacional (del inglés Operational simplicity)
OZO	Ozonización (del inglés Ozonation)
P	Fósforo
pH	Coficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa
RAND	Corporación estadounidense para la investigación y el desarrollo (del inglés Research ANd Development)
RCI	Índice de Consistencia Aleatorio (del inglés Random Consistency Index)
RS	Fiabilidad del Sistema (del inglés Reliability of the System)
spp.	Referido a todas las especies (del inglés species)
SR	Riesgos de Seguridad (del inglés Safety Risk)
SS	Sólidos Suspendidos
SST	Sólidos Suspendidos Totales
sum	Suma o sumatorio
UV	Ultravioleta
UVR	Radiación Ultravioleta (del inglés UltraViolet Radiation)
VIKOR	Optimización Multicriterio y Solución de Compromiso (del serbio VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje)
vs	Entendido como "frente a" (del latín "versus")
$\lambda$	Autovector
$\lambda_{\max}$	Autovalor máximo
$\mu\text{m}$	Micrómetro/s
$\omega$	Vector de Prioridades

