

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

**OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA DE
“EL VALLE DE LA CONCEPCIÓN”**

Por:

MARÍA JOSÉ ESPAÑA BALDIVIEZO

**Modalidad de graduación: Ampliación, optimización y/o modernización de
plantas industriales existentes, presentado a consideración de la
“UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO”, como requisito
para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería Química.**

Noviembre de 2016

TARIJA-BOLIVIA

V°B°

Ing. Ernesto Álvarez Gozalvez
DECANO

Ing. Silvana Paz Ramírez
VIDECANO

APROBADA POR:

TRIBUNAL:

Ing. María Estela Sullca

Ing. Cecilia Calderón

Ing. Ignacio Velásquez Soza

ADVERTENCIA

El tribunal calificador del presente trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstos responsabilidad de la autora.

DEDICATORIA

Este trabajo está dedicado a mi esposo y a mi bebé, quienes son mi fuerza mayor, el principal motivo para luchar y salir adelante; a mis padres y hermanos quienes siempre estuvieron a mi lado.

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida y salud.

A mi esposo Sebastián Majluf y a mis padres Victor Hugo España y Nila Baldiviezo por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi docente guía, el Ing. Jorge Tejerina por su ayuda, guía y apoyo durante la realización del presente trabajo.

PENSAMIENTO

“En lugar de ser un hombre exitoso, busca ser un hombre valioso, lo demás llegará naturalmente.”

(A.Einstein)

ÍNDICE

	PÁG.
INTRODUCCIÓN	
Antecedentes	1
Localización	1
Importancia de la calidad del agua	2
I. OBJETIVOS	3
Objetivo General	3
Objetivos Específicos	3
II. JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA	
1.1 MATERIA PRIMA	5
1.1.1 Fuentes de Agua	5
1.1.2 Agua potable	5
1.1.2.1 Requisitos del Agua potable	5
1.2 DESCRIPCIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA	6
1.2.1 Localización de la Planta de tratamiento de agua potable	6
1.2.2 Clima, Flora y Fauna	7
1.2.3 Servicios Básicos en Uriondo: Agua Potable	9
1.3 DISTRIBUCIÓN DE LA PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA	10
1.4 OPERACIÓN Y CONTROL	13
1.4.1 Obra de Toma 1 – Río Los Alisos	14
1.4.2 Obra de Toma 2 – Río Camacho	14
1.4.3 Entrada de Agua	15
1.4.4 Filtros de Grava	15
1.4.5 Filtro lento	16
1.4.6 Cloración	16
1.4.7 Salida a la red de distribución	17

1.4.8 Conducciones (aducciones, impulsiones, acueductos)	17
1.4.9 Mantenimiento de la Planta Potabilizadora de agua	18
CAPÍTULO II IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	
2.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	19
2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	21
2.2.1 Planta de tratamiento convencional	21
2.2.1.1 Pretratamiento	22
2.2.1.2 Coagulación-floculación	22
2.2.1.3 Decantación	23
2.2.1.4 Filtración	23
2.2.1.5 Desinfección	23
2.3 DIAGNÓSTICO: DEFINICIÓN DE CONDICIONES Y CAPACIDAD DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA DE URIONDO	25
2.3.1 Capacidad de la Planta Actual	25
2.3.2 Unidades existentes en la Planta de Tratamiento de Aguas de Uriondo	26
2.3.2.2.1 Canal de entrada a la PTAP	27
2.3.2.2.2 Filtro grueso horizontal	28
2.3.2.2.3 Filtros lentos de arena	29
2.3.2.2.4 Cloración	31
2.3.2.2.5 Principales deficiencias encontradas	32
2.4 ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN	32
2.4.1 Tanque de almacenamiento de Agua	34
2.4.2 Galería Filtrante	36
2.4.3 Filtro Grueso Dinámico	37
2.4.4 Coagulación-Floculación	38
2.4.5 Sedimentación	39
2.4.6 Tanque de reserva	40
2.4.7 Cloración	40

2.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA CON LAS UNIDADES ADICIONALES NECESARIAS	43
2.5.1 Tanque de regulación (Semienterrado)	43
2.5.2 Filtro Grueso Dinámico	44
2.5.3 Floculador	44
2.5.4 Sedimentador	44
2.5.5 Cloración con hipoclorito de Sodio	45
2.5.5.1 Estudio de la Demanda de Cloro	46
2.5.5.2 Reacciones del Cloro en Agua	47
2.5.5.3 Reacciones Hidrolíticas	47
2.5.5.4 Reacciones del Cloro con Elementos Presentes en el Agua	48
2.5.5.5 Reacciones de Oxido-Reducción	48
2.5.5.5.1 Reacciones del Cloro con el Nitrógeno Amoniacal	48
2.5.5.5.2 Reacciones del Cloro con el Hierro y Manganeseo	49
2.5.5.6 Demanda de Cloro y Breakpoint	50
2.5.6 Tanque de reserva (Semienterrado)	53
2.6 CONCEPTOS Y NORMAS BÁSICAS PARA CALIDAD DEL AGUA	53
2.6.1 Parámetros de Calidad del Agua	53
2.6.1.1 Parámetros Físicos	53
Turbiedad	53
Color	53
Olor	53
Sabor	54
Conductividad y Resistividad	54
Salinidad	54
2.6.1.2 Parámetros Químicos	54
pH	54
Alcalinidad	55
Dureza	55

Coloides	56
Sólidos Disueltos	56
Sólidos en Suspensión	56
Sólidos totales	56
Cloruros	56
Sulfatos	57
Nitratos	57
Fosfatos	57
Sílice	57
Oxígeno Disuelto	57
2.6.1.3 Parámetros Orgánicos	57
Demanda bioquímica de oxígeno	57
Demanda química de oxígeno	58
Carga orgánica total	58
2.6.1.4 Parámetros microbiológicos	58
Bacterias Coliformes	58
Escherichia coli	58
Enterococos intestinales	58
2.6.2 Reglamentos y Normas de Calidad de Agua Potable	59
2.6.2.1 Ley 1333 de Medio Ambiente	59
2.6.2.2 Norma Boliviana 512 – Calidad de Agua Potable para consumo humano – Requisitos	60
2.6.2.3 Norma Boliviana 689 – Instalaciones de agua – Diseño para sistemas de agua Potable	60
2.6.2.4 Norma Boliviana 496 – Agua Poble – Toma de Muestras	60
2.6.2.4.1 Selección de los puntos de muestreo	60
2.6.2.4.2 Método de muestreo	61
2.6.3 Toma de muestras y análisis	61
2.6.3.1 Actividades previas al muestreo	62
2.6.3.1.1 Plan de muestreo	62

2.6.3.1.2 Preparación	62
2.6.3.1.3 Ubicación y descripción de la estación de muestreo	63
2.6.3.2 Ubicación de los puntos de muestreo	63
2.6.3.3 Ubicación de los puntos de muestreo	63
2.6.3.4 Tipos de muestreo	63
2.6.4 Selección de los parámetros a analizar	64
2.6.5 Resultados de Análisis	66
2.6.6 Impurezas más comunes en el agua y tipo de tratamiento	66
CAPÍTULO III ESPECIFICACIÓN Y DISEÑO DE LAS UNIDADES	
3.1 DIAGRAMA DE BLOQUES	68
3.1.1 Diagrama de bloques con las unidades adicionales propuestas	68
3.2 CÁLCULO DE POBLACIÓN Y CAUDAL DE DISEÑO DEL PROYECTO	69
3.3 BALANCE DE MATERIA	78
3.4 DISEÑO DE LAS UNIDADES PROPUESTAS	88
3.4.1 Diseño del Tanque de regulación	88
3.4.2 Diseño de Flocculador de flujo horizontal	94
3.4.3 Diseño de Sedimentador	111
3.4.4 Diseño del Tanque de Reserva	122
3.4.5 Optimización de la Cloración	127
CAPÍTULO IV ANÁLISIS FINANCIERO	
4.1 DATOS FINANCIEROS	143
4.2 DETERMINACIÓN DE ESTIMACIÓN DE PRESUPUESTOS PARA LAS ALTERNATIVAS DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE ELEGIDAS	144
4.2.1 Costo de Construcción de la Unidades adicionales propuestas para la PTAP de Uriondo	145
4.2.2 Costos de Operación y Mantenimiento de la Planta	147
4.3 VALOR ANUAL EQUIVALENTE	150
4.3.1 Análisis de precios de las Tarifas de agua potable en Uriondo	153

4.3.2 Análisis comparativo de Tarifa de agua potable con COSAALT	153
4.4 COSTO ANUAL EQUIVALENTE	154
4.5 EVALUACIÓN SOCIAL	156
4.5.1 Identificación del Beneficio – Costo	156
CAPITULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Conclusiones	158
5.2 Recomendaciones	159
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS, DIAGRAMAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
Fig. A-1 Localización	1
Fig. I-1 Localización de Planta Potabilizadora	7
Fig. I-2 Planta de tratamiento de agua potable – Juntas	11
Fig. I-3 Plano de planta actual	12
Fig. II-1 Reclamos del servicio de Agua	20
Fig. II-2 Plano de PTAP	27
Fig. II-3 Canal Parshall	28
Fig. II-4 Filtros de grava	29
Fig. II-5 Filtros de Arena	30
Fig. II-6 Cloración	31
Fig. II-7 Abanico de Alternativas de soluciones sugeridas	33
Fig. II-8 Tanque de Agua enterrado	34
Fig. II-9 Tanque de Agua sobre suelo	35
Fig. II-10 Tanque de agua elevado	35
Fig. II-11 Tubería de Infiltración	36

Fig. II-12 Galería Filtrante tipo Túnel	37
Fig. II-13 Filtro grueso dinámico	38
Fig. II-14 Coagulación-Floculación	39
Fig. II-15 Sedimentador	40
Fig. II-16 Desinfección con gas cloro	41
Fig. II-17 Desinfección con hipoclorito de sodio	42
Fig. II-18 Desinfección con hipoclorito de Calcio	42
Fig. II-19 Curva de la Demanda de Cloro	52
Fig. III-1 Tanque de Regulación	93
Fig. III-2 Esquema cámara de aquietamiento	99
Fig. III-3 Esquema de tanque de floculación	105
Fig. III-4 Detalle del espaciamiento en el tanque de floculación	106
Fig. III-5 Comportamiento de la pérdida de carga	110
Fig. III-6 Pantalla difusora y evacuación de lodos de Sedimentador	112
Fig. III-7 Tanque de Sedimentación	117
Fig. III-8 Pantalla Difusora	120
Fig. III-9 Tanque de Reserva	124

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

	PÁG.
Diagrama de Bloques I-1 Proceso actual de tratamiento de agua potable	13
Diagrama de Bloques II-1 Proceso de tratamiento Convencional de agua potable	25
Diagrama de Bloques II-2 Proceso de tratamiento de agua potable	26
Diagrama de Bloques III-1 Diagrama de bloques con las unidades adicionales propuestas	68

ÍNDICE DE TABLAS

	PÁG.
Tabla A Análisis de calidad de agua de Uriondo	5
Tabla II-1 Casos de enfermedades diarreicas	20
Tabla II-2 Parámetros a analizar	68
Tabla II-3 Impurezas más comunes en el agua y tipo de tratamiento	69
Tabla III-1 Período de Diseño (Años)	73
Tabla IV-1 Ingresos – Egresos por servicio de agua en la gestión 2015	143
Tabla IV-2 Costo de Construcción de la Unidades adicionales en la PTAP de Uriondo	146
Tabla IV-3 Costo de Construcción de Hipoclorador Hidráulico	147
Tabla IV-4 Costos Actuales de Operación y Mantenimiento de la PTAP de Uriondo	148
Tabla IV-5 Costo energético por m3 bombeado de Hipoclorito de Sodio	148
Tabla IV-6 Costos estimados de Operación y Mantenimiento de la PTAP de Uriondo con las soluciones propuestas	149
Tabla IV-7 Costo energético estimado por m3 bombeado de Hipoclorito de Sodio	149
Tabla IV-8 Costo de Inversión inicial	150
Tabla IV-9 Inversión inicial y costos anuales de operación y mantenimiento	151

Tabla IV-10 Variable de Eficacia	152
Tabla IV-11 Análisis de precios de las Tarifas de agua potable en Uriondo	153
Tabla IV-12 Análisis comparativo de Tarifa de agua potable con COSAALT	153
Tabla VI-13 Costo Anual Equivalente	155

INDICE DE CUADROS

	PÁG.
Cuadro I-1 Comunidades Abastecidas	10
Cuadro I-2 Fuentes de Agua para la PTAP	14

ÍNDICE DE BALANCE

	PÁG.
Balance III-1 Balance de materia para la PTAP de Uriondo	86

UNIDADES

m^3 : metro cúbico

l: Litro

mg/l: Miligramos por litro

ppm: Partes por millón

m^3/s : Metro cúbico por segundo

m^3/h : Metro cúbico por hora

m^3/d : Metro cúbico por día

m^3/min : Metro cúbico por minuto

l/min: Litros por minuto

l/s: Litros por segundo

l/h: Litros por hora

s: Segundos

$^{\circ}C$: Grado centígrado

g: Gramos

Kg/h: Kilogramos por hora

Kg/d: Kilogramos por día

Pa: Pascal

m^2 : Metro cuadrado

m: Metro