

21.5



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

**TRATAMIENTO Y REUSO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DE CIUDAD UNIVERSITARIA**

**TRABAJO ESCRITO
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE :
INGENIERO CIVIL
P R E S E N T A :
JESUS AGUIRRE CARBAJAL**

F. I.

MEXICO, D. F.

1986



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA

FACULTAD DE INGENIERIA
DIRECCION
60-1-129

Señor JESUS AGUIRRE CARBAJAL,
Presente.

En atención a su solicitud, me es grato hacer de su conocimiento el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Dr. Raúl Cuéllar Chávez, para que lo desarrolle como TRABAJO ESCRITO en opción de tesis para su Examen Profesional de la carrera de INGENIERO CIVIL.

"TRATAMIENTO Y REUSO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE
CIUDAD UNIVERSITARIA"

- I. Introducción.
- II. Bases de diseño.
- III. Tratamiento de las aguas residuales.
- IV. Descripción del sistema de riego.
- V. Conclusiones y recomendaciones.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento con lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Coordinación de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares del trabajo escrito, el título del trabajo realizado.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, a 5 de junio de 1985
EL DIRECTOR

DR. OCTAVIO A. RASCON CHAVEZ.

©
OARCH/ACCH/sho.

INDICE

	Pag.
I. INTRODUCCION	1
II. BASES DE DISEÑO	3
II.1 Descripción del Sistema de Drenaje	3
II.2 Caracterización de las Aguas Residuales	4
II.2.1 Técnicas de Muestreo y Análisis	6
II.2.2 Resultados de los Análisis Fisicoquímicos	6
II.2.3 Evaluación de Resultados	15
III. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES	20
III.1 Descripción de la Planta de Tratamiento	20
III.1.1 Obra de Toma	22
III.1.2 Cárcamo de Aguas Crudas	22
III.1.3 Medidor de Flujo (Sitio A)	25
III.1.4 Pretratamiento	27
III.1.5 Sistema de Lodos Activados	30
III.1.6 Sistema de Biodiscos	34
III.1.7 Sistema de Biofiltro	37
III.1.8 Sistema de Filtración	41
III.1.9 Sistema de Desinfección	45
III.1.10 Cárcamo de Aguas Tratadas	45
III.2 Evaluación del Diseño y Operación de la Planta de - Tratamiento	46
III.2.1 Resultados del Monitoreo de los Procesos de Trata- miento	46
III.2.2 Evaluación de los Sistemas de Tratamiento	48
IV. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RIEGO	52
IV.1 Determinación del Uso Consuntivo	52
IV.2 Determinación de la Precipitación Mensual Media	55

IV.3 Determinación de las Necesidades de Riego	57
IV.4 Volumen y Gasto Críticos Requeridos para Riego	59
IV.5 Necesidades de Regulación	60
IV.6 Distribución del Agua Residual Tratada para Riego ...	65
IV.7 Riego en Espacios Abiertos	66
IV.8 Riego en Campos Deportivos	71
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	75
BIBLIOGRAFIA	77

I. INTRODUCCION.

El agua es un recurso natural necesario para todas las actividades que se efectúan en la tierra; tales como para beber, preparar alimentos, aseo personal, elaboración de productos, lavado de ropa y vehículos, producción de energía, proceso de enfriamiento industrial, riego de cultivos, actividades deportivas (natación, navegación y pesca), etc.

No obstante la abundancia de agua en el planeta, actualmente se tienen dificultades para obtener este recurso en cantidad y calidad adecuadas para el consumo humano.

Las fuentes de abastecimiento limitadas y el alto crecimiento de la demanda de agua potable en la Ciudad de México, plantean la necesidad de ahorrar agua. Una buena medida consiste en el uso de las aguas residuales tratadas, aprovechandolas en diversos usos que no requieren de una calidad potable.

Considerando esta situación la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica del D.D.F. (D.G.C.O.H), encargó al Instituto de Ingeniería de la U.N.A.M. (I.I.), una serie de estudios para mejorar la práctica de diseño, construcción y operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. Como consecuencia de estos estudios, se detectó la conveniencia de instalar una planta piloto experimental de tratamiento en terrenos de Ciudad Universitaria, con los siguientes objetivos:

- a) Utilización de aguas residuales tratadas en el riego de las zonas verdes de Ciudad Universitaria.
- b) Desarrollo de tecnología en los campos de diseño, construcción y análisis de operación de plantas de tratamiento.

c) Permitir el estudio de algunos procesos de tratamiento convencionales y de otros menos comunes.

Los estudios preliminares de campo y de diseño de la planta se hicieron de 1977 a 1979, seleccionando como sitio de ubicación de la planta el cárcamo regulador de tormentas (cárcamo de alivio) de C.U. , por localizarse en la cota más baja del sistema recolector de aguas de desecho a tratar. La planta quedó totalmente construida en el año de 1982, siendo en el mes de octubre de ese año el inicio de operaciones.

Esta planta dispone de tres procesos de tratamiento biológico en paralelo (lodos activados, biofiltros y biodiscos), los cuales pueden operarse simultáneamente o de manera independiente.

El gasto medio proporcionado por la planta de tratamiento es de 40 l/seg (3 456 m³/día), que sirve para regar una superficie de 388 024 m² (38.8 ha), que corresponde a las áreas verdes de Ciudad Universitaria. De esta manera se logra un importante ahorro de agua de primer uso; ya que anteriormente el riego se efectuaba con agua potable de la red de distribución de la propia Ciudad Universitaria.

II. BASES DE DISEÑO.

II.1 Descripción del Sistema de Drenaje.

Las aguas residuales a tratar en la planta, provienen de tres colectores:

- a) Area de Ciencias
- b) Area de Humanidades
- c) Colonia Copilco

A continuación se describen brevemente las características de cada colector.

a) Colector Ciencias.

Este colector se compone de cuatro ramales; uno de 45 cm de diámetro que drena la zona sur del área de Ciencias de Ciudad Universitaria; los ramales dos y tres de diámetros de 76 cm que drenan la zona de los campos deportivos y el ramal cuatro de 30 cm de diámetro que recolecta las aguas residuales de la zona de institutos. Estos ramales convergen en el Circuito Escolar Sur a la altura de la Facultad de Ciencias, para ser conducidos por gravedad en un colector de 91 cm de diámetro hasta la planta de tratamiento. El área drenada total es de 47.6 hectáreas aproximadamente.

b) Colector Humanidades.

Este colector se compone de dos ramales; uno que drena la zona poniente de Ciudad Universitaria desde el Estadio Olimpico incluyendo el Circuito Escolar Norte y otro que capta las aguas pluviales y de desecho del Circuito Escolar Sur. Ambos colectores convergen sobre el Circuito Escolar Norte a la altura de la Facultad de Medicina aproximadamente a 2.5 kilóme-

tros antes de llegar a la planta de tratamiento, para continuar por un colector de 91 cm de diámetro hasta ella. Los dos ramales drenan 46.9 hectáreas en forma aproximada.

c) Colector Copilco.

El agua drenada de esta zona es conducida a la planta de tratamiento a través de un colector de concreto de 61 cm de diámetro.

II.2 Caracterización de las Aguas Residuales.

Para la obtención de los parámetros que servirían para el diseño de la planta de tratamiento se realizó un estudio de las características de las aguas residuales a tratar.

La toma de muestras se realizó en las unidades de rejillas -- donde descargan los colectores de Ciudad Universitaria y el -- de la colonia Copilco. Estas rejillas se encuentran en el tan que regulador de tormentas de C.U.

Con el objeto de determinar las variaciones del gasto y la calidad de las aguas, se realizaron tres muestreos con duración de 1 a 4 días tomando muestras a intervalos de 4 horas en cada una de las tres descargas y también de muestras compuestas de las descargas de Ciudad Universitaria. La finalidad de --- muestrear las descargas en forma individual fue para determinar el comportamiento de cada una de las descargas.

Las fechas de muestreo con las horas de inicio y terminación se indican en la Tabla: II.2.a .

Tabla II.2.a Fechas de Realización de Muestras.

Muestreo	Inicio		Terminación		Descargas muestradas	Descripción
	Hora	Fecha	Hora	Fecha		
1	8:00	24/2/77	8:00	26/2/77	D ₁	Aguas residuales co- lector ciencias
2	20:00	28/2/77	20:00	1/3/77	D ₁	
3	12:00	8/11/77	12:00	12/11/77	D ₁ D ₂ D ₃ D1 D2	Aguas residuales co- lector humanidades Aguas residuales co- lector copilco Aguas residuales com puestas con D ₁ y D ₂

II.2.1 Técnicas de Muestreo y Análisis.

El procedimiento empleado para la realización de los muestreos consistió en determinar el gasto de agua residual y tomar tres muestras de agua cada cuatro horas. La preservación de las muestras se hizo en función a los parámetros por analizar según se especifica en los Métodos Estandar y se resume en la Tabla No. 1 .

II.2.2 Resultados de los Análisis Fisicoquímicos.

Durante los tres muestreos se analizaron 22 parámetros en cada una de las muestras colectadas. Los resultados obtenidos se --
presentan en las Tablas 2 a 8 .

TABLA No. 1 Métodos de Preservación y Análisis de Muestras.

Parámetro	Preservación	Método usado
pH	Ninguna. Determinación realizada en el transcurso de media hora -- después del muestreo	Potenciométrico
Oxígeno disuelto (OD)	A una muestra de 300 ml se le agregan 2 ml de sulfato manganoso y 2 ml de alcali-yoduro-nitruro. Se agita y se deja reposar hasta que el sedimento ocupe 2/3 partes del volumen. Se agregan 2 ml de ácido sulfúrico concentrado y se agita hasta la disolución del precipitado. Se refrigera	Winkler modificado
Cloruros	Ninguna	Argentométrico
Alcalinidad total	Refrigeración a 4°C	Titulación con ácido sulfúrico a 0.02 N, utilizando anaranjado de metilo como indicador
Dureza de calcio y total	Ninguna	Titulación con EDTA
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Refrigeración	Incubación durante 5 días a 20°C, utilizando el método de Winkler modificado para medir los abatimientos de oxígeno
Demanda química de oxígeno (DQO)	Se adiciona 1 ml de ácido sulfúrico concentrado por litro de muestra	Reflujo con dicromato de potasio
Nitrógeno amoniacal y total	Igual al anterior	Destilación Kjeldahl seguida de titulación con ácido sulfúrico 0.02 N
Ortofosfatos	Refrigeración	Cloruro estanoso
Sólidos	Ninguna	Gravimétrico

TABLA 2 Parámetros Fisicoquímicos de Caracterización de la Descarga No. 1 .

Fecha Hora Parámetro	21 de febrero de 1977				25 de febrero 1977				26-feb-77				28 de feb 1977				1° de marzo 1977				
	8	12	16	20	24	4	8	21	20	24	18	18	20	24	16	14	12	8	12	16	20
Gasto en l/seg	30	25	22	13	12	8	21	36	20	18	18	18	20	24	16	14	12	19	26	27	20
pH	8.0	8.0	7.9	8.5	7.8	7.5	7.9	8.1	8.1	8.1	7.5	8.0	8.0	8.1	8.1	7.7	7.6	7.7	8.0	8.1	8.3
Oxígeno disuelto, en mg/l	2.7	3.5	4.1	3.9	4.9	5.1	4.1	4.3	3.1	3.5	5.9	6.3	5.5	3.1	3.9	3.3	3.3	6.9	2.9	2.7	
Cloruros, en mg/l	185	134	11	116	95	113	106	482	108	108	77	72	77	126	72	69	59	139	106	126	
Alcalinidad total en mg/l de CaCO ₃	245	275	838	311	165	157	216	238	242	249	132	128	157	315	139	135	223	260	165	234	
Dureza de Ca, en mg/l Ca CO ₃	21	23	21	15	20	20	17	24	21	19	16	16	15	17	20	17	19	15	15	16	
Dureza total, en mg/l Ca CO ₃	59	51	51	45	45	53	48	57	51	47	47	45	47	48	43	47	51	47	55	49	
DBO ₅ , en mg/l	148	114	121	111	31	47	93	102	108	72	31	27	37	74	18	23	33	62	93	84	
DBO ₁ , en mg/l	173	149	155	139	67	78	120	120	129	92	52	44	54	92	42	50	51	75	110	95	
DOO, en mg/l	235	215	207	143	67	139	355	183	227	155	47	35	87	131	219	43	11	281	-	235	
N-NH ₃ , en mg/l	4.80	8.30	16.30	11.20	3.90	1.10	6.50	1.90	14.20	8.80	0.50	0.84	3.78	26.00	3.10	0.98	10.10	22.00	7.60	22.60	
N- total, en mg/l	22.20	9.40	-	27.60	-	2.80	19.50	11.40	31.20	45.60	2.60	1.90	11.20	-	20.30	-	11.20	-	-	58.50	
Ortofosfatos mg/l	3.05	2.40	1.70	2.95	0.90	1.05	2.82	1.15	1.75	2.55	0.25	0.60	0.71	3.71	0.30	0.35	3.25	3.15	1.22	2.55	
STI, en mg/l	400	370	259	287	150	215	192	412	136	63	80	140	520	324	260	103	108	233	49	32	
STP, en mg/l	280	170	140	16	60	40	18	40	101	50	50	100	140	12	60	59	78	67	70	15	
STV, en mg/l	120	200	119	251	90	175	174	372	35	13	30	40	380	292	200	44	30	166	420	17	
SSV, en mg/l	90	40	60	-	30	20	30	31	60	20	40	70	40	10	15	-	60	15	20	-	
SSP, en mg/l	10	20	27	-	15	10	10	27	25	8	30	5	30	5	5	-	40	5	0	-	
SSV, en mg/l	80	20	33	-	15	10	20	6	35	12	10	15	10	5	10	-	20	10	20	-	
SFT, en mg/l	310	310	189	-	120	195	182	379	76	43	40	120	480	84	245	-	48	218	470	-	
SFT, en mg/l	270	150	113	-	45	20	8	13	76	42	20	95	110	7	55	-	38	62	70	-	
SEV, en mg/l	40	180	86	-	75	165	154	366	0	1	20	25	370	287	190	-	10	156	400	-	
P=PO ₄ /N=NH ₃	0.64	0.29	0.10	0.26	0.23	0.93	0.43	0.61	0.12	0.29	0.50	0.71	0.19	0.14	0.14	0.26	0.32	0.14	0.16	0.11	

STT Sólidos totales totales SSV Sólidos suspendidos volátiles
 STP Sólidos totales fijos SFT Sólidos filtrables totales
 SSV Sólidos totales volátiles SFP Sólidos filtrables fijos
 SST Sólidos suspendidos totales SFV Sólidos filtrables volátiles
 SSF Sólidos suspendidos fijos

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLA 3 Parámetros Fisicoquímicos de Caracterización de las Descargas 1 y 2 .

Fecha Hora Descarga	Unidad	Nov/8/1977				Nov/9/1977				Nov/10/1977				Nov/11/1977				Nov/12/1977			
		D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2	D-1	D-2		
Parámetro																					
Caste	l/a	14	31	14	27	8	24	8	32	8	32	10	37	35	47	37	19	18	43	58	45
pH	-	8.1	8.3	8.1	8.2	8.1	8.7	8.0	7.8	7.8	7.4	7.8	8.1	8.3	8.2	8.5	7.6	7.6	7.9	7.7	8.5
T	°C	19	19	20	19	17	17	16	16	16	16	17	17	19	18	17.5	17	18	17.5	18	17.5
OD	mg/l	2.6	2.3	2.0	1.4	2.8	1.6	4.6	4.2	3.6	5.4	2.9	2.7	2.0	1.7	2.0	3.1	4.65	3.3	1.5	0.6
Cl ⁻	mg/l	110	110	101	105	100	120	88	78	80	79	81	85	110	115	115	70	75	90	110	110
Alcalinidad total	mg/l ^a	310	350	322	282	282	420	332	164	156	142	210	216	298	288	356	274	254	232	244	282
Dureza de Ca	mg/l ^a	60	61	82	57	61	46	46	51	43	48	47	50	59	52	94	39	44	83	49	40
Dureza total	mg/l ^a	222	147	226	353	243	338	130	262	182	220	157	232	176	206	144	150	236	127	117	235
DSO ₅	mg/l	90	58	60	59	47	66	19	14	15	19	77	59	80	32	80	18	30	45	34	48
DSO ₂₀	mg/l	155	71	80	63	53	68	30	15	17	35	166	62	61	62	87	78	58	83	62	56
DOO	mg/l	312	282	352	312	240	256	40	96	64	80	104	280	184	280	104	160	160	88	80	74
N - NH ₃	mg/l	44	61	18	43	48	77	15	11	10	6	19	20	29	24	42	6	4	14	37	35
N - total	mg/l	88	116	43	72	71	122	18	14	11	6	27	43	60	47	93	21	19	33	104	48
N - NO ₃	mg/l	3.4	2.7	1.9	3.5	3.5	3.6	6.9	0.8	6.5	1.0	1.5	2.4	2.4	4.4	3.8	1.3	1.0	2.6	5.0	1.7
ST	mg/l	432	494	318	348	408	484	316	320	324	336	306	464	454	512	498	365	788	582	400	434
STP	mg/l	330	352	238	246	400	342	288	273	283	217	292	336	334	352	378	282	618	308	332	382
STV	mg/l	102	134	110	8	149	36	56	43	118	104	128	120	182	110	83	250	74	68	22	312
SST	mg/l	62	48	42	16	8	10	30	14	20	1	30	10	44	62	56	18	14	34	-	56
SSV	mg/l	24	48	48	6	6	2	14	0	18	2	12	24	40	78	30	12	0	32	-	36
SSV	mg/l	24	2	14	8	52	8	14	0	0	8	6	4	4	6	10	14	2	-	30	18
SPT	mg/l	370	448	296	332	348	476	298	335	304	334	376	424	430	430	482	247	774	248	-	378
SFP	mg/l	292	296	130	332	348	348	274	275	168	216	280	312	255	252	348	270	448	276	-	346
SPV	mg/l	18	152	126	0	0	184	22	42	35	113	96	172	116	128	114	77	126	72	-	35

^a como CaCO₃

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLA 4 Parámetros Fisicoquímicos de Caracterización de la Descarga 3 .

Fecha	Nov/1/1977										Nov/2/1977																
	12:00	14:00	20:00	21:00	4:00	8:00	12:00	14:00	20:00	21:00	4:00	8:00	12:00	14:00	20:00	21:00	4:00	8:00	12:00	14:00	20:00	21:00	4:00	8:00	12:00	21:00	
Parámetro	Unidad																										
Gravim	g/s	5	1.3	1.7	1.1	1.3	3.1	1.3	1.6	2.3	3.8	2.1	2.3	2.2	2.2	2.7	3.1	2.3	2.5	4.3	3.5	3.1	3.2	3.3	4.1	2.4	
pH		7.9	7.4	7.7	7.5	7.8	7.5	8.3	7.5	7.9	7.2	7.4	7.9	7.9	7.4	7.3	7.3	7.4	7.6	8.4	7.8	7.4	7.2	7.3	7.7	7.7	
T	°C	19	19	17	17	16	17	18	19	17	13	16	16	17	17	17	18	18	18	18	18	16	16	16	16	18	
DP	mg/l	2.9	2.0	1.2	4.0	3.4	3.4	2.8	3.4	3.6	3.2	6.9	3.4	3.4	3.0	4.0	4.6	5.2	2.0	3.8	3.8	3.8	3.8	4.6	6.4	3.8	4.0
Ca ²⁺	mg/l	55	40	50	50	50	40	55	55	45	45	45	60	50	70	80	40	45	55	55	60	55	45	40	55	40	
Alcalinidad total	mg/l*	240	230	284	218	132	244	262	180	180	160	152	268	224	238	170	150	132	268	224	214	182	158	144	272	224	
Dureza de Ca	mg/l*	51	47	46	54	46	43	50	63	53	44	42	60	61	38	52	42	41	63	66	50	42	35	48	57	37	
Dureza total	mg/l*	155	145	135	153	144	141	197	146	135	129	127	155	145	137	120	147	133	138	167	144	133	135	126	151	133	
FeSO ₄	mg/l	115	121	51	23	23	95	123	89	50	47	133	132	70	34	26	10	11	92	138	51	23	24	14	102	67	
FeO ₂	mg/l	120	153	84	48	22	158	211	73	51	34	140	134	79	34	28	11	17	146	188	67	23	26	19	139	78	
FeO	mg/l	140	56	136	72	24	136	224	88	104	232	44	224	214	124	88	52	32	152	280	232	112	64	64	152	248	
N - NH ₃	mg/l	6	4	16	15	6	35	13	16	19	11	2	35	52	9	3	3	2	19	9	8	4	3	1	14	-	
N - total	mg/l	12	12	37	21	25	58	24	52	26	13	4	15	74	26	4	9	8	39	13	19	12	5	2	23	-	
P - PO ₄	mg/l	1.1	1.0	2.1	2.1	0.4	4.1	4.8	4.7	3.9	1.8	6.0	4.2	2.7	3.7	3.1	0.7	0.6	4.2	3.6	4.0	2.4	0.9	0.4	4.2	4.3	
STP	mg/l	320	432	322	376	202	420	460	424	318	234	216	348	410	376	270	204	280	284	444	600	330	270	264	420	420	
STP	mg/l	370	434	240	244	188	294	292	292	242	230	162	246	256	232	230	174	244	264	268	260	224	132	242	230	230	
STP	mg/l	50	48	82	33	134	136	148	134	144	114	124	142	134	144	40	130	116	116	130	178	140	106	128	132	134	
SSP	mg/l	37	76	28	22	37	26	34	72	84	30	28	10	28	42	28	21	40	72	66	26	2	17	84	88	88	
SSP	mg/l	25	29	14	14	4	18	26	40	50	6	18	6	20	18	18	8	8	52	50	2	0	1	44	58	58	
SSP	mg/l	12	21	24	8	13	10	8	30	26	4	10	4	11	8	24	10	14	32	20	24	34	2	16	40	38	
STP	mg/l	322	240	284	234	282	352	424	354	302	234	258	378	378	350	238	178	248	330	324	400	344	328	252	288	344	
STP	mg/l	252	252	234	230	184	274	246	252	192	214	144	240	226	214	212	158	166	236	214	248	258	224	194	190	260	
STP	mg/l	24	27	58	24	100	116	140	182	110	110	114	128	142	126	16	120	122	64	128	158	106	284	128	82	104	

* como CaCO₃

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLA 5 Valores Promedio de los Parámetros Fisicoquímicos de la Descarga 1 (Días 24,25,26 y 28 de febrero y lo. de marzo de 1977).

Parámetro/Hora	8	12	16	20	24	4
Gasto, en l/s	21	30	23	17.0	15.0	13
pH	7.90	8.0	8.0	8.30	7.7	7.7
OD, en mg/l	3.90	2.9	3.4	3.30	4.9	4.9
Cl ⁻ , en mg/l	117.0	252.0	108.0	119.0	81.0	85.0
Alc. total *	210.0	258.0	215.0	277.0	145.0	140.0
Dureza Ca *	19.0	21.0	19.0	17.0	19.0	18.0
Dureza total*	51.0	52.0	52.0	47.0	46.0	48.0
DBO ₅ , en mg/l	78.0	93.0	107.0	85.0	27.0	32.0
DBO _u , en mg/l	100.0	115.0	131.0	105.0	54.0	57.0
DQO, en mg/l	172.0	223.0	217.0	166.0	111.0	72.0
N-NH ₃ , mg/l	6.0	11.0	13.0	17.0	2.0	0.90
N-total, mg/l	16.0	-	-	44.0	11.0	2.0
Ortofosfatos	2.50	2.20	1.60	2.90	0.50	0.70
STT, en mg/l	305	338	295	167	163	153
STF, en mg/l	129	92	104	23	57	66
STV, en mg/l	176	246	191	144	106	87
SST, en mg/l	55	29	47	15	28	20
SSF, en mg/l	23	17	17	7	17	8
SSV, en mg/l	32	12	30	8	11	12
SFT, en mg/l	250	309	248	152	135	133
SFV, en mg/l	144	234	161	136	75	75
P-PO ₄ ⁻ /N-NH ₃	0.40	0.35	0.13	0.20	0.29	0.67
DBO ₅ /DBO _u	0.72	0.81	0.82	0.81	0.50	0.56
DBO ₅ /DQO	0.45	0.42	0.49	0.51	0.24	0.44
DBO _u /DQO	0.58	0.52	0.60	0.63	0.49	0.79

* mg/l como CaCO₃

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLE 6 Valores Promedio de los Parámetros Fisicoquímicos de las Descargas 1 y 2 (Días 8,9,10,11 y 12 de noviembre de 1977).

Hora		12:00	16:00	20:00	24:00	4:00	8:00	$F \cdot \frac{Q_1 P_1}{Q_2}$
Parámetro	Unidad							$\frac{I Q_2}{I Q_1}$
Gasto	l/s	45.4	41.8	35.3	18.8	17.2	34.7	32.20
pH		8.4	8.3	8.5	7.7	7.5	7.9	8.16
T	°C	18	18	17	16	15.5	16	17
OD	mg/l	2.33	1.6	1.86	4.17	5.16	3.02	2.64
CE ⁻	mg/l	109	104	145	75	69	86	104
Alcalinidad total	mg/l*	302	276	369	180	160	216	269
Dureza de Ca	mg/l*	52	49	59	50	42	53	52
Dureza total	mg/l*	151	186	162	152	153	150	161
DBO ₅	mg/l	69	54	58	31	26	44	52
DBO _u	mg/l	88	66	89	43	33	56	68
DQO	mg/l	165	168	157	86	78	79	133
N - NH ₃	mg/l.	42	32	54	14	4.4	4.3	29
N - total	mg/l	68	53	84	26	11.3	11.1	48
P - PO ₄	mg/l	2.90	3.43	3.41	1.25	0.83	0.84	2.39
STT	mg/l	434	441	578	336	442	443	455
STF	mg/l	308	333	416	261	346	344	338
STV	mg/l	126	108	162	75	96	99	117
SST	mg/l	44	51	36	11	9	8	31
SSF	mg/l	39	40	28	5	2	8	25
SSV	mg/l	5	11	8	6	7	0	6
SFT	mg/l	390	390	542	325	433	435	423
SFF	mg/l	269	293	388	226	344	336	310
SFV	mg/l	121	97	154	69	89	99	113
P - PO ₄ /N-NH ₃		0.07	0.11	0.06	0.09	0.19	0.20	0.11
DBO ₅ /DQO		0.42	0.32	0.37	0.36	0.33	0.56	0.40
DBO _u /DQO		0.53	0.39	0.57	0.50	0.42	0.71	0.53
DBO ₅ /DBO _u		0.78	0.82	0.65	0.72	0.79	0.79	0.76

* como CaCO₃

F valor pesado del parámetro considerado

Q₁ gasto

P₁ parámetro

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLA 7 Valores Promedio de los Parámetros Fisicoquímicos de la Descarga No. 3 (Días 8,9,10,11 y 12 de noviembre de 1977)

Hora		12:00	16:00	20:00	24:00	4:00	8:00	$P = \frac{IQ_i P_i}{IQ_L}$
Parámetro	Unidad							IQ_L
Gasto	l/s	3.04	2.15	2.25	2.30	2.25	3.05	2.51
pH		8.04	7.53	7.48	7.30	7.48	7.68	7.61
T	°C	18	18	17	16	15.5	16	16.8
OD	mg/l	3.38	3.30	3.58	4.10	5.28	3.15	3.75
Cl ⁻	mg/l	51	61	50	45	45	58	52
Alcalinidad total	mg/l*	235	213	179	159	140	263	203
Dureza de Ca	mg/l*	61	45	53	50	44	53	52
Dureza total	mg/l*	191	148	131	141	131	147	150
DBO ₅	mg/l	103	66	38	29	45	100	67
DBO _u	mg/l	140	72	46	35	49	140	87
DBO _u	mg/l	266	152	110	105	-	186	171
N - NH ₃	mg/l	20	10	11	8	2.75	25.75	14
N - total	mg/l	31	27	18	11	11.25	51.25	26.7
P - PO ₄	mg/l	4.10	4.35	2.90	1.18	0.65	4.38	3.05
STT	mg/l	422	420	345	312	287	388	366
STF	mg/l	294	289	243	216	164	262	248
STV	mg/l	128	131	102	96	123	126	118
SST	mg/l	53	53	50	16	21	46	41
SSF	mg/l	36	29	21	10	8	19	21
SSV	mg/l	17	24	29	6	13	27	20
SFY	mg/l	369	367	295	296	266	342	325
SFF	mg/l	258	260	222	206	156	243	227
SFV	mg/l	111	107	73	90	110	99	93
P-PO ₄ /N-NH ₃	mg/l	0.21	0.44	0.26	0.15	0.24	0.17	0.24
DBO ₅ /DBO _u	mg/l	0.39	0.43	0.35	0.28	-	0.54	0.41
DBO _u /DBO _u	mg/l	0.53	0.47	0.42	0.33	-	0.75	0.52
DBO ₅ /DBO _u	mg/l	0.74	0.92	0.83	0.83	-	0.71	0.80

* como CaCO₃

\bar{P} valor pesado del parámetro considerado

Q gasto

P_i parámetro

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

TABLA 8 Valores Promedio de los Parámetros Físicoquímicos de las Tres Descargas (Días 8,9,10,11 y 12 de noviembre de 1977).

Hora		12:00	16:00	20:00	24:00	4:00	8:00	$P \cdot \frac{EQ \cdot P_i}{E \cdot Q_i}$
Parámetro	Unidad							
Gasto total	l/s	48.44	43.95	37.55	21.10	19.45	35.25	34.71
pH		8.38	8.26	8.44	7.66	7.50	8.12	8.12
T	°C	18	18	17	16	15.5	17	17
OD	mg/l	2.40	1.68	1.96	4.16	5.17	2.68	2.72
CL ⁻	mg/l	105	102	139	72	66	100	100
Alcalinidad total	mg/l*	298	273	358	178	158	268	264
Dureza de Ca	mg/l*	52	48.8	59	50	42	52	52
Dureza total	mg/l*	153	184.1	160	151	150	160	160
DBO ₅	mg/l	71	55	57	31	28	56	53
DBO _u	mg/l	91	66	86	42	35	74	69
DQO	mg/l	171	167	154	88	84	137	136
N-NH ₃	mg/l	41	30.9	51	13	4.21	29	28
N- total	mg/l	66	51.7	80	24	11.4	48.3	46
P-PO ₄	mg/l	2.98	3.48	3.38	1.24	0.81	2.56	2.44
STT	mg/l	433	440	564	333	424	449	448
STF	mg/l	307	331	406	256	325	331	331
STV	mg/l	126	109	158	77	99	118	117
SS _T	mg/l	46	51	37	12	10	32	32
SS _F	mg/l	39	39	27	5	3	24	25
SS _V	mg/l	6	12	10	7	7	8	7
SFT	mg/l	389	389	527	321	414	417	416
SFF	mg/l	268	292	379	251	322	110	306
SFV	mg/l	101	97	148	70	102	307	110
P-PO ₄ /N-NH ₃	mg/l	0.07	0.11	0.07	0.10	0.19	0.09	0.09
DBO ₅ /DQO	mg/l	0.42	0.33	0.37	0.35	0.33	0.41	0.39
DBO _u /DQO	mg/l	0.53	0.40	0.56	0.48	0.42	0.54	0.51
DBO ₅ /DBO _u	mg/l	0.78	0.83	0.66	0.74	0.80	0.76	0.77

* como CaCO₃

\bar{p} valor pasado del parámetro considerado

Q gasto

P_i parámetro

Fuente: Instituto de Ingeniería, UNAM.

II.2.3 Evaluación de Resultados.

a) Gasto.

El gasto de agua residual de Ciudad Universitaria tiene una gran variación con respecto al tiempo, tanto en el día como en el transcurso del año (vease la Fig: II.2.3.a). En la siguiente tabla se resume la información recabada durante los muestreos.

Muestreo	Descargas	Gasto promedio en l/seg		
		Max	Min	Medio
1 y 2	D ₁	30	13	20
3	D ₁ , D ₂	45.4	17.2	32.2
	D ₃	3.0	2.1	2.5
	D ₁ , D ₂ , D ₃	48.5	19.5	34.7

b) Análisis Físicos.

- Temperatura: Como puede verse, la variación de este parámetro no es significativa; ya que de los muestreos de noviembre de 1977 se tiene un rango promedio de 15.5 a 19°C.
- pH: Los valores obtenidos oscilan entre 7.5 y 8.4 por lo cual las aguas residuales son ligeramente básicas. Siendo en un rango de pH de 6 a 8 donde los microorganismos ejercen su actividad metabólica, se puede decir que no existiera problema con respecto a este parámetro.
- Sólidos Totales: El valor promedio general obtenido fue de 448 mg/l (Vease la Tabla 8).
- Sólidos Suspendidos Totales: El valor promedio general obtenido fue de 32 mg/l (Vease la Tabla 8).

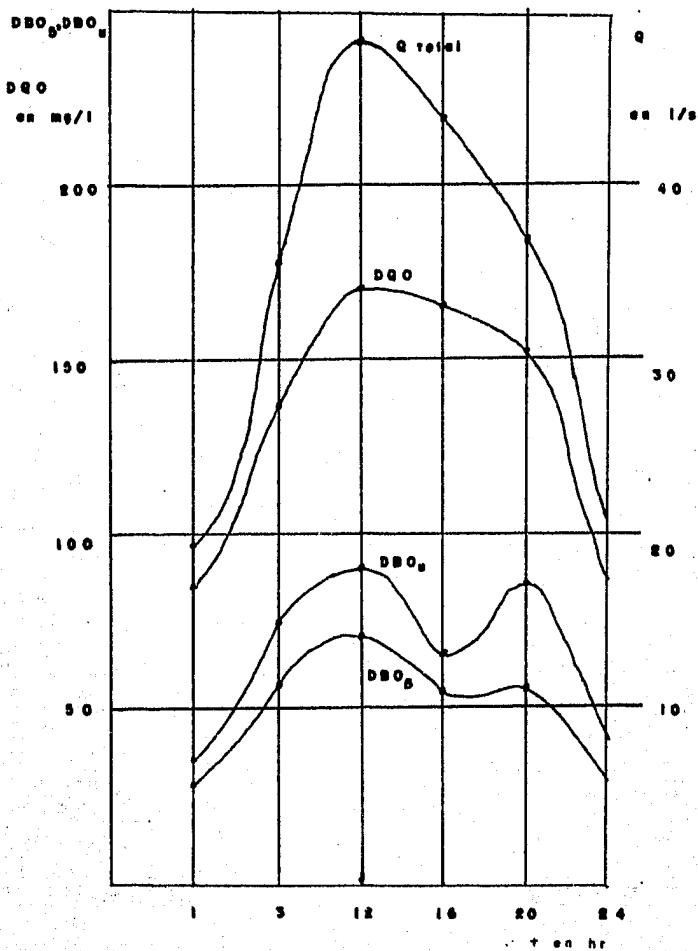


Fig: II.2.3.a Variación de gasto y calidad del agua residual de Ciudad Universitaria. Análisis global .

c) Análisis Químicos.

- DBO_5 : Este valor es una medida indirecta de la cantidad de materia orgánica en las aguas de desecho. La variación de este parámetro aparece en la Fig:II.2.3.a; y el promedio general obtenido fue de 53 mg/l -- (vease la Tabla 8).
- DBO_u : Este valor representa la cantidad de oxígeno que -- los microorganismos requieren para estabilizar la -- materia orgánica en su etapa carbonácea. La varia-- ción de este parámetro aparece en la Fig:II.2.3.a ; y su promedio general obtenido fue de 69 mg/l (vea-- se la Tabla 8).
- DQO : Mediante esta prueba se determina la cantidad de ma-- teria oxidable químicamente y no sólo la materia or-- gánica biodegradable. La variación de este paráme-- tro aparece en la Fig: II.2.3.a ; y el promedio ge-- neral obtenido fue de 136 mg/l (vease la Tabla 8).

De los parámetros analizados anteriormente (DBO_5 , DBO_u y DQO), se puede concluir que las aguas residuales son de baja carga -- orgánica.

d) Materia Inorgánica.

Los resultados del análisis de los principales parámetros con-- siderados se presentan en la siguiente Tabla:

Parámetro	Concentración en mg/l ⁺		
	Max	Min	Media
Cloruros	139	66	100
Alcalinidad total	358	158	264
N - total	80	11.4	46
P - PO ₄	3.5	0.8	2.4
Dureza total	184.1	150	160
N - NH ₃	51	4.2	28

+ Vease la Tabla 8

e) Compuestos Tóxicos.

Durante la caracterización de las aguas residuales no se realizaron análisis de este tipo, pero las pruebas de DBO no reportaron ninguna inhibición de los microorganismos, lo que indica la escasa o nula presencia de compuestos tóxicos.

f) Gases.

- Oxígeno disuelto: La presencia de oxígeno en las aguas residuales de los colectores permite definir el avance en la biodegradación inicial de las aguas negras. El valor máximo de oxígeno disuelto se registró a las 4:00 A.M. y fue de 5.17 mg/l, - lo que indica la presencia de materia orgánica a esas horas.

En base a todo lo anterior, se puede concluir que las aguas residuales que se generan en Ciudad Universitaria, tienen características muy particulares; destacando su baja carga orgánica, su alto contenido de nitrógeno total y amoniacal. La relación entre los valores promedio de DBO_5 / DQO resultó de -- 0.39, lo que indica la presencia de sustancias refractarias en un porcentaje mayor que en las aguas residuales domésticas típicas.

III. TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES.

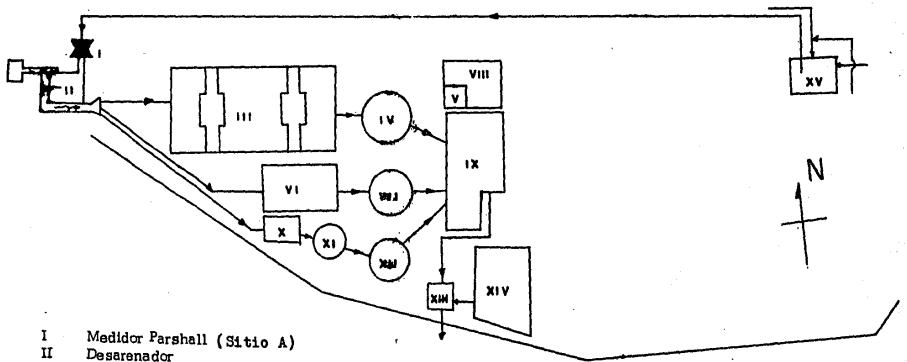
III.1 Descripción de la Planta de Tratamiento.

El diagrama de flujo del agua residual desde su captación hasta su disposición final, aparece en la Fig: III.1.a; así como la distribución de los procesos y equipos de tratamiento instalados en la planta.

Esta planta de tratamiento consiste en una línea de procesos integrada con un sistema convencional de lodos activados con aeración mecánica y otras dos líneas de procesos en paralelo formadas por un sistema de biodiscos y de filtros rociadores. Se trata de una planta piloto experimental con fines de investigación y docencia, así como el de suministrar aguas residuales tratadas para el riego de las áreas verdes de Ciudad Universitaria, con el objeto de liberar volúmenes de agua potable anteriormente empleados para dicha actividad.

Cabe destacar que la planta cuenta con un sistema de filtros de grava-arena-antracita para el pulimento del efluente de los sistemas de tratamiento biológico. Estas unidades constituyen una innovación tecnológica en el país, dado que no se cuenta con experiencia al respecto.

El caudal medio de diseño de la planta es de 40 l/s, sin embargo el gasto promedio obtenido en los muestreos de caracterización de las aguas residuales de Ciudad Universitaria fue de 34.7 l/seg . Esto se debió a que en el inicio de operación de la planta, se observó que las estructuras de control del flujo eran insuficientes e inoperantes ya que el caudal rebasaba las compuertas. Para remediar esta anomalía se de-



- I Medidor Parshell (Sitio A)
- II Desarenador
- III Aerador
- IV Sedimentador Secundario Línea I
- V Cárcamo para la recirculación de lodos
- VI Biotrickle
- VII Sedimentador secundario línea 2
- VIII Cárcamo para aguas de lavado y pluviales
- IX Filtros
- X Cárcamo doble para la recirculación de lodos
- XI Biofiltro
- XII Sedimentador Secundario Línea 3
- XIII Cárcamo de aguas tratadas
- XIV Clorador
- XV Cárcamo de aguas negras

Fig: III.1.a Diagrama de Flujo.

cedió soldar soleras de 20 cm en la parte superior de las compuertas, logrando incrementar la capacidad hidráulica de la planta.

A continuación se describen las unidades de tratamiento que componen la planta.

III.1.1 Obra de Toma.

Las aguas residuales procesadas en la planta de tratamiento provenientes de los tres colectores, son controladas mediante compuertas deslizantes tipo Miller para regular el gasto influyente, tal como se indica en la Fig: III.1.1.a

Previo a su vertido al cárcamo de aguas crudas, las aguas residuales pasan a través de un sistema de rejillas de acero con espesor de 1/4" y una separación entre barras de 1.5 cm , que evitan el paso de sólidos gruesos y materia flotante al cárcamo.

III.1.2 Cárcamo de Aguas Crudas.

Este cárcamo es de forma rectangular y está localizado en el extremo oriente del vaso regulador de tormentas. Se diseñó para tener 3/4 partes sumergidas bajo el nivel del piso del vaso.

El cárcamo de aguas crudas está hecho de concreto armado con dimensiones de 3.15 m de largo, 4.60 m de ancho y 4.00 m de profundidad que definen una capacidad de almacenamiento de 57.96 m³ de aguas de desecho.

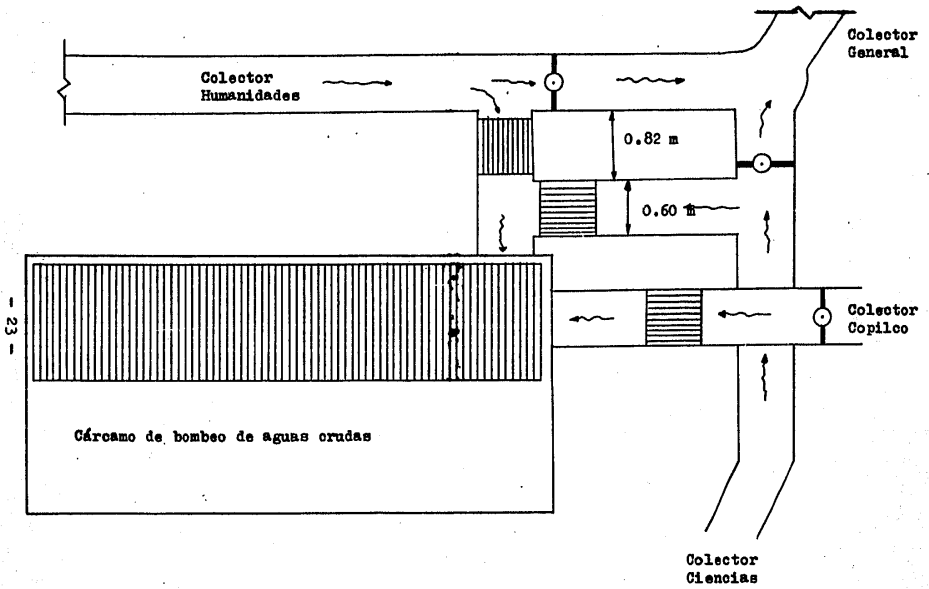


Fig: III.1.1.a Obra de Toma.

El cárcamo de aguas crudas cuenta con tres bombas sumergibles marca Impel con motor de 10 HP, mediante las cuales se envían las aguas residuales almacenadas hasta el medidor parshall - localizado en sitio A a través de una tubería de acero de 6 " de diámetro. Las tres bombas están interconectadas entre si - según se indica en la Fig: III.1.2.a .

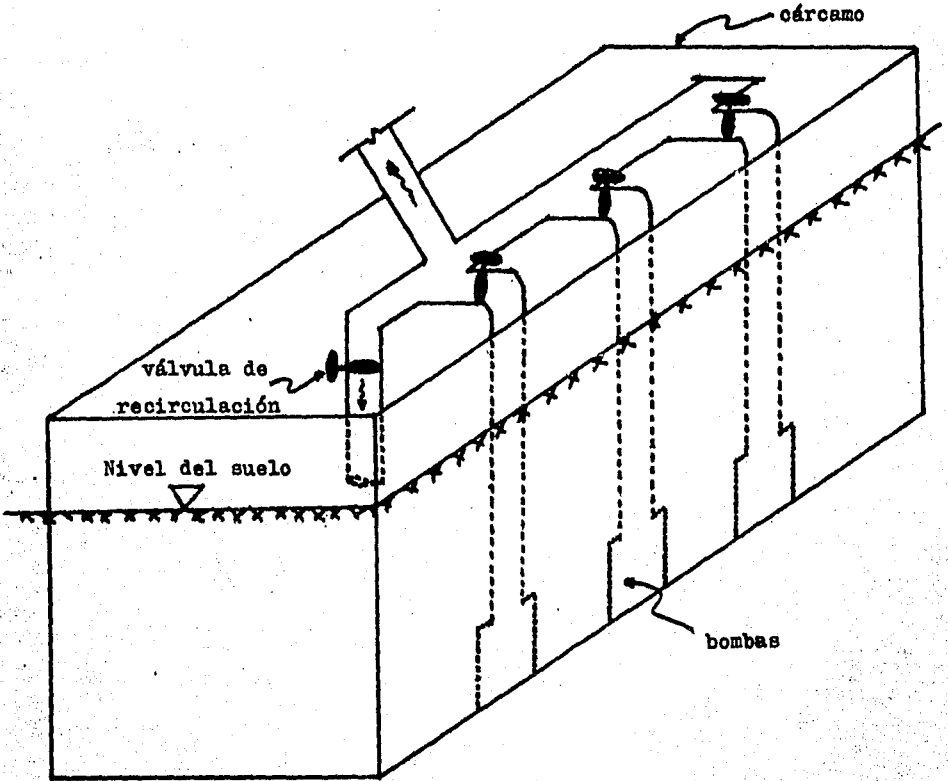


Fig: III.1.2.a Disposición del Equipo de Bombeo.

La función de la válvula de recirculación es regular el gasto que se envía a los sistemas de tratamiento. Se ha observado - que un solo equipo es capaz de bombear hasta 50 l/seg , por - lo cual la potencia instalada está excedida ampliamente.

III.1.3 Medidor de Flujo Sitio A.

Las aguas residuales provenientes del cárcamo de bombeo de aguas crudas llegan a una caja de concreto armado de 50 cm de lado, que hace la función de rompedora de presión tal como - se muestra en la Fig:III.1.3.a .

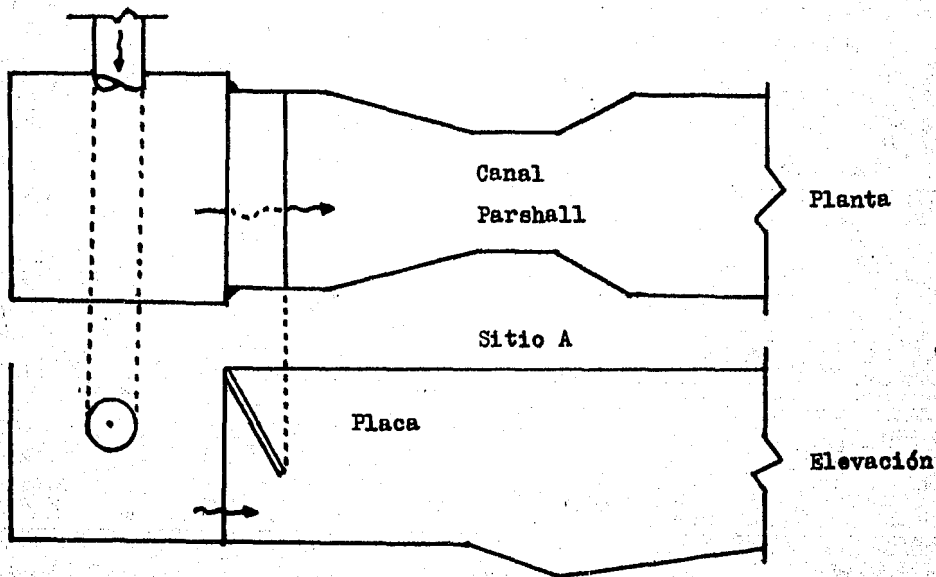
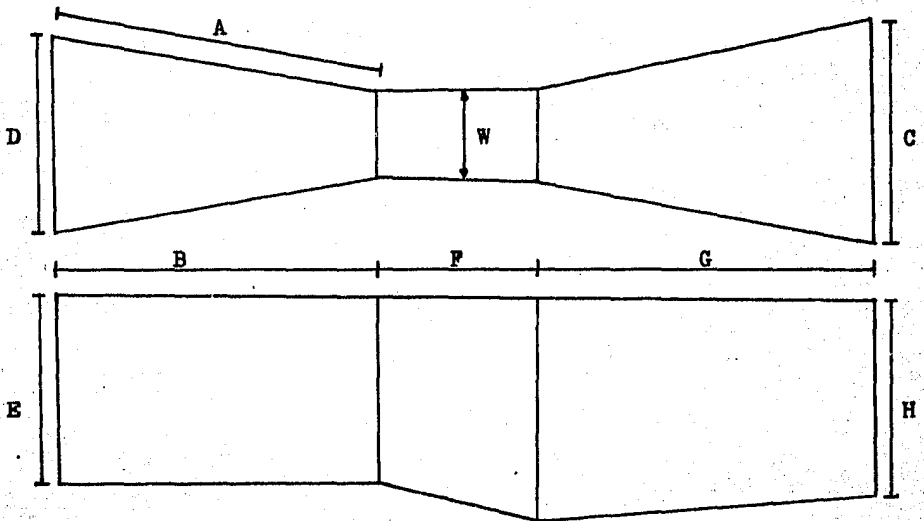


Fig: III.1.3.a Caja Rompedora y Medidor Parshall.

Esta caja está provista de una placa de acero sujeta por dos -
 pernos; la finalidad de la placa, es absorber los efectos de -
 la turbulencia del agua. -

Después de vencer este obstáculo, el agua pasa a un canal medi-
 dor Parshall ubicado en sitio A en el influente al desarenador,
 el cual está construido de concreto armado y sus dimensiones -
 se muestran en la Fig:III.1.3.b .



W	A	B	C	D	E	F	G	H
15.2	61	59.5	39	35.5	44	30.4	61	47

Dimensiones
 en cm.

Fig: III.1.3.b Medidor Parshall (Sitio A).

III.1.4 Pretratamiento.

Adicionalmente a las rejillas, antes de que las aguas residuales pasen a cualesquiera de los tres sistemas de tratamiento biológico instalados en la planta, éstas se someten a un pretratamiento consistente en desarenación. En la Fig: III.1.4.a se muestra un diagrama de éste sistema.

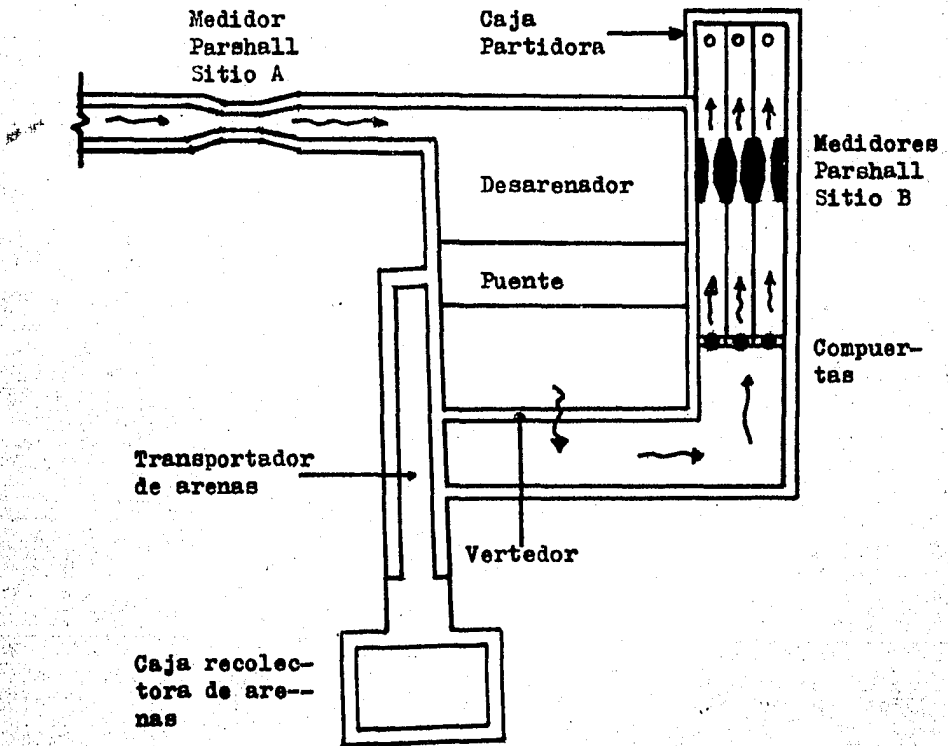


Fig: III.1.4.a Sistema de Pretratamiento.

El agua proveniente del medidor parshall (sitio A), se envía a un desarenador de concreto armado con sección rectangular y cuyas dimensiones son de 3.80 m de largo, 3.05 m de ancho y - 0.35 m de altura. Este desarenador cuenta con equipo para recoger las arenas sedimentadas en el tanque mediante un sistema formado por un motorreductor y cabezal montados sobre un puente de concreto, el cual soporta la flecha que sostiene -- los brazos y rastras que recolectan la arena del fondo.

Las arenas captadas por las rastras se introducen por una cámara baja hacia una tolva de recolección situada fuera del -- tanque, desde la cual se retiran por medio de un tornillo sin fin que las deposita en una caja de almacenamiento para su -- disposición final.

Posteriormente el efluente vierte a un canal con una longitud de 5.0 m , 0.30 m de ancho y una altura que varía de 1.0 m a 3.0 m . En este canal se encuentran instaladas tres compuertas cuya función es regular el flujo hacia los medidores parshall (sitio B), de cada uno de los sistemas de tratamiento según -- se indica en la Fig: III.1.4.b .Estos medidores son exactamen te iguales y están construidos de placas de acero, teniendo -- las dimensiones que de acuerdo a la Fig: III.1.3.b , son las que se indican en la siguiente tabla:

A	46.67	F	15.24
B	45.72	G	30.48
C	17.78	H	63.50
D	25.88	W	7.62
E	61.00		

Dimensiones
en cm

Dimensiones de los Medidores Parshall (Sitio B).

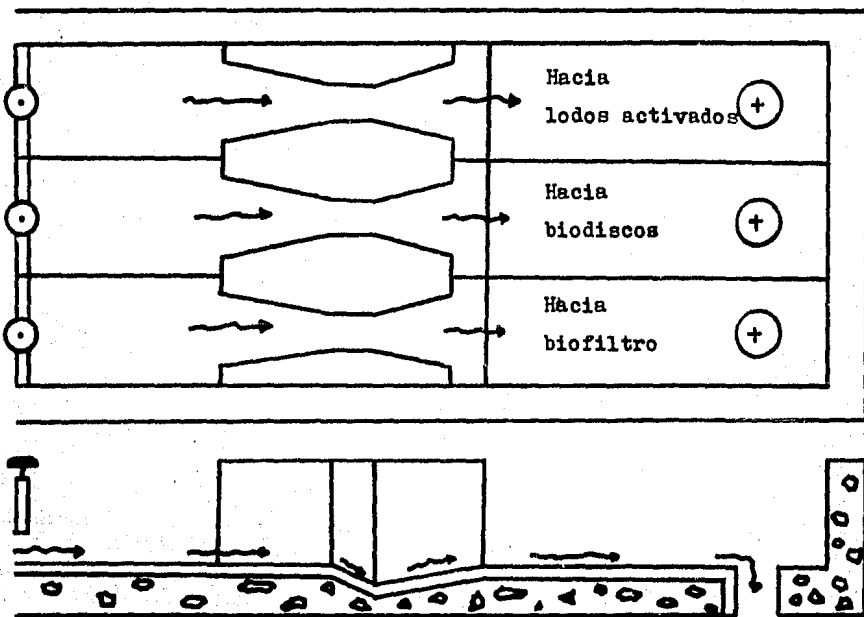


Fig: III.1.4. b Compuertas, Medidores Parshall (Sitio B) y Caja Partidora.

Para la determinación de los gastos de entrada a cada proceso se cuenta con un equipo electrónico automático, el cual se puede trasladar de una garganta a otra de los medidores Parshall. Este equipo contiene una lampara de rayos ultravioleta que dependiendo del tirante, la señal que envia tiene un tiempo de retorno a un receptor; estando calibrado para obtener el caudal en función del tirante del flujo.

Los gastos de operación de cada medidor Parshall (sitio b), son los siguientes:

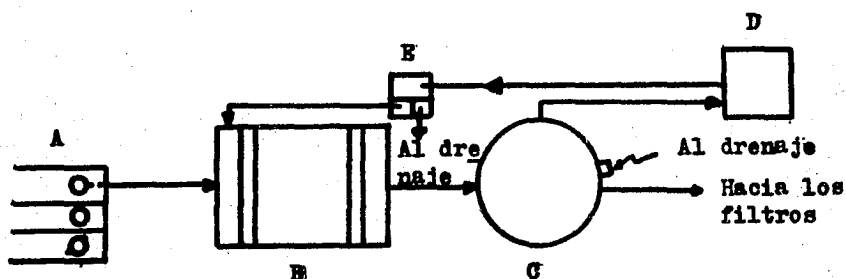
- a) Medidor conectado al sistema de lodos activados, $Q = 20$ l/s
- b) Medidor conectado al sistema de biodiscos, $Q = 10$ l/s
- c) Medidor conectado al sistema biofiltro, $Q = 10$ l/s

El efluente de los medidores vierte a una caja de concreto armado de 1.30 m de altura, 1.23 m de largo y 0.63 m de ancho, la cual está dividida en el piso por placas metálicas que forman pequeños canales, que conducen el flujo a cada uno de los tres sistemas de tratamiento con que cuenta la planta como se indica en la Fig: III.1.4.b .

III.1.5 Sistema de Lodos Activados.

En este proceso se promueve la proliferación y concentración de bacterias aerobias mediante la aeración de las aguas residuales en un tanque con aeradores mecánicos. Las bacterias se alimentan de la materia orgánica contenida en las aguas residuales formando flóculos que aumentan de tamaño y de peso, que posteriormente se separan del líquido en un tanque sedimentador. Una porción de los sólidos sedimentados se recircula al tanque de aeración con el fin de activar la formación de más flóculos.

El agua residual llega al tanque de aeración desde la caja --
partidora de los medidores parshall a través de una tubería
de acero de 8 " de diámetro, tal como se indica en el diagrama
de la Fig:III.1.5.a .Este tanque es de concreto armado y
de forma rectangular; con dimensiones de 17.75 m de largo, --
8.80 m de ancho y 3.50 m de profundidad; el tirante de opera-
ción es de 3.0 m y el bordo libre de 0.50 m , por lo cual el
volumen de almacenamiento es de 468.6 m³.



Nomenclatura:

- A.- Caja partidora de los medidores Parshall.
- B.- Tanque de aeración.
- C.- Sedimentador secundario.
- D.- Cárcamo de recirculación de lodos.
- E.- Caja partidora de lodos.

Fig: III.1.5.a Diagrama de Flujo del Sistema de Lodos Activados.

Para una tasa de recirculación del 50 % , el tanque de aera-
ción tiene un tiempo de retención hidráulico de:

$$Q = 20 \text{ l/s} \times 1.5 = 30 \text{ l/s}$$

$$t_r = \frac{V}{Q} = \frac{468,600 \text{ l}}{30 \text{ l/s}} = 15,620 \text{ seg} = 4.34 \text{ horas}$$

La aeración se proporciona mediante dos aeradores mecánicos de tipo superficial, soportados en dos puentes de concreto dispuestos a todo lo ancho del tanque de aeración. Los aeradores son de la marca "Lightning", modelo LAR 70 y cada uno de estos equipos consta de:

- Motor de 10 HP; 1,800 rpm, 220/240 volts, 3 fases, 60 ciclos
- Reductor de doble reducción, relación 25.67 rpm salida
- Flecha de 54 " de diámetro, de acero A-200, 4 aspas

El vertedor de salida del tanque de aeración se encuentra localizado en la parte superior del extremo final del tanque a todo lo ancho de éste. A través del vertedor las aguas residuales pasan al sedimentador secundario mediante una tubería de 8 " de diámetro.

El sedimentador secundario tiene un diámetro de 6.80 m y una altura de 4.05 m; está construido de concreto armado, conteniendo al centro del tanque una columna también de concreto, la cual vierte a través de unas pequeñas ventanas localizadas en la parte superior el influente proveniente del tanque de aeración.

En la parte superior del tanque sedimentador está la caja de natas, la cual se encuentra comunicada al drenaje mediante una tubería de 3 " de diámetro. También en la parte superior, se tiene un vertedor perimetral de acero que vierte a un canal perimetral de concreto, el cual traslada las aguas vertidas a una caja de captación, de donde son enviadas al sistema de filtración a través de una tubería de acero de 8 " de diámetro.

En el piso del tanque sedimentador, junto a la columna, se tiene una tolva por medio de la cual se conducen los lodos sedimentados al cárcamo de bombeo de lodos.

El sedimentador secundario está provisto del siguiente equipo electromecánico:

- Un puente metálico giratorio
- Transmisión de corona sinfín
- Reductor con flechas paralelas y cadenas
- Motor de 3/4 HP horizontal
- Pasillo de placa antiderrapante y barandal
- Flecha de acero al carbón
- Rastras de acero al carbón
- Mampara circular para girar el flujo de entrada
- Vertedor circular de acero al carbón
- Caja de natas y brazo desnatador

El puente metálico es móvil y gira radialmente apoyándose con una rueda sobre el muro perimetral del tanque, accionando las rastras por medio de los brazos de acero y concentrando los sólidos en la tolva para su extracción. La velocidad a que giran las rastras es de 0.0871 rpm, teniéndose una aceptable recolección de los lodos sin provocar turbulencia.

Los lodos sedimentados son conducidos por medio de una tubería de 6" de ϕ , de la tolva del sedimentador secundario al cárcamo de recirculación de lodos. Este cárcamo es de forma cuadrada y está localizado al oriente del sedimentador secundario, el material de que está construido es concreto armado con dimensiones de 2.00 m X 2.00 m con una altura de 6.21 m, operando con un tirante de 5.91 m y un almacenamiento útil de 23.64 m³.

La tubería proveniente de la tolva penetra en uno de los muros del cárcamo a 50 cm del fondo; ésta tubería tiene una válvula

de control de bástago deslizante a la salida del sedimentador, que a la apertura de la misma llena el tanque por carga hidráulica. Este tanque cuenta con dos bombas sumergibles inatasca-
bles de 10 HP que envían los lodos a través de una tubería de 6 " hasta la caja partidora de lodos; la cual, se encuentra localizada en la esquina norte junto al canal vertedor del tanque de aeración. Esta caja tiene una compuerta de placa de acero que deriva el gasto de recirculación hacia el influente del tanque de aeración y el gasto excedente al drenaje mediante tuberías de acero de 6 " de ϕ .

III.1.6 Sistema de Biodiscos.

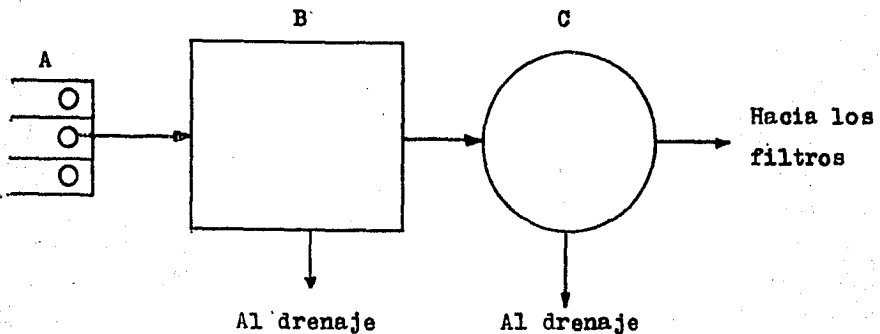
En este proceso se utilizan cilindros los cuales tienen un movimiento de rotación; los cilindros generalmente de plástico - corrugado, van montados sobre un eje horizontal dentro de un tanque y giran lentamente debiendo estar sumergidos aproximadamente el 40 % abajo del nivel del agua a tratar dentro del tanque.

Al empezar a funcionar el reactor, los organismos contenidos en el agua a tratar se van adheriendo en la superficie de los discos, multiplicándose rápidamente y formando un espesor variable de biomasa a lo largo del reactor. Estos organismos remueven el material orgánico contenido en el agua residual consumiendo el oxígeno disuelto presente en el agua, en un proceso aeróbico; esta remoción se sigue presentando conforme el cilindro prosigue en rotación.

La rotación del cilindro origina una turbulencia en la interfase de la biomasa y el agua residual, aumentando la aeración; otro efecto producido por la rotación son las fuerzas cortantes que actúan sobre la biomasa cuando el cilindro pasa a tra-

vés del licor mesclado, manteniendo uniforme el espesor de bio masa.

El flujo proveniente de la caja partidora llega por medio de una tubería de 6 " de ϕ a un tanque de concreto de 4.66 m de ancho, 9.23 m de largo y 2.15 m de profundidad; con un área de 43 m^2 y una capacidad de 92.48 m^3 (vease la Fig: III.1.6.a). - El caudal de operación de este proceso es de 10 l/s .



Nomenclatura:

- A.- Caja partidora de los medidores Parshall
- B.- Tanque del biodisco
- C.- Sedimentador secundario

Fig: III.1.6.a Diagrama de Flujo del Sistema de Biodiscos.

En cada uno de los extremos del tanque se tiene una chumacera anclada con una placa de acero atornillada al tanque; cada una de las dos chumaceras lleva un collarín para soportar los extremos de la flecha donde van montados los biodiscos.

El sistema de biodiscos consta de tres unidades soportadas en el centro por la flecha, la cual es de acero A-36 con recubri-

miento antioxidante; las dimensiones de estas unidades son: -- 3.62 m de diámetro con 1.67 m de longitud y una separación de 0.30 m entre cada una de ellas. Los discos trabajan al 40 % de sumergencia y el material de que están hechos es de polietileno de alta densidad.

El movimiento rotatorio de los biodiscos se genera mediante la acción de un motor eléctrico horizontal de 5 HP, 1 150 rpm, 3 fases, 60 Hz y 220 volts; regulandose la velocidad mediante -- una transmisión de velocidad variable de bandas y cadenas.

La tubería proveniente de la caja partidora de los medidores - Parshall (sitio B), penetra por el centro del tanque de los -- biodiscos, abajo del sistema motriz; inundando el tanque al -- 40 % del diámetro de los biodiscos. Por efecto de carga hidráulica, el agua fluye a través de todo el tanque pasando por los biodiscos hasta llegar a una caja de concreto armado de donde es conducida al tanque sedimentador a través de una tubería de 6 " de diámetro.

Por acción de la gravedad, los lodos producidos se depositan - en el fondo del tanque, de donde son enviados al drenaje a la apertura de una válvula de compuerta localizada en la parte inferior del tanque.

Toda la unidad de biodiscos está protegida de los agresores - ambientales con una cubierta de fibra de vidrio, fácil de remover y equipada con dos puertas y ocho ventanas, cuya función - es mantener una temperatura adecuada en el interior.

El tanque sedimentador secundario tiene un diámetro de 4.75 m y una altura de 4.05 m , es de concreto armado y vierte el --- agua proveniente del tanque de biodiscos a través de una columna central también de concreto, saliendo en forma radial por -

unas pequeñas ventanas localizadas en la parte superior de la columna.

En la parte superior del tanque está la caja de natas, la cual descarga al drenaje. También en la parte superior, se tiene un vertedor perimetral de acero que vierte a la caja de captación del efluente del tanque, el cual se encuentra conectado al sistema de filtración por una tubería de 8 " de diámetro.

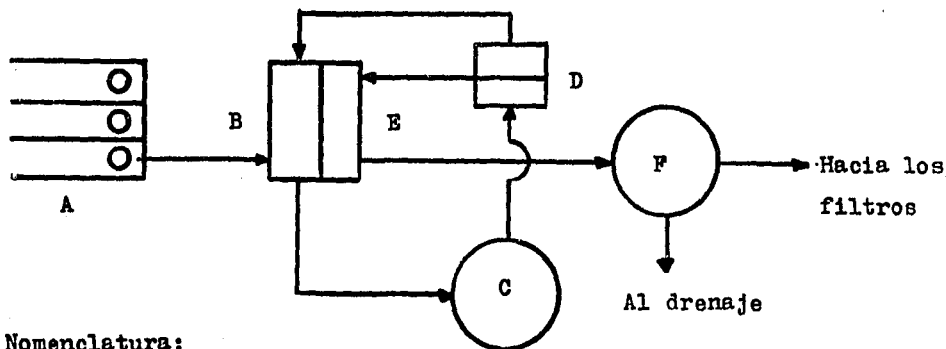
Los lodos sedimentados se concentran en una tolva dispuesta en el fondo del tanque junto a la columna; el desfogue de los lodos se hace a través de una tubería de 6 " de diámetro conectada al drenaje, controlandose la salida de estos con una válvula de compuerta localizada a la salida del tanque y que regula la purga de fangos.

El sedimentador secundario está provisto de equipo electromecánico similar al descrito en el sistema de lodos activados.

III.1.7 Sistema de Biofiltro.

En este proceso biológico se efectúa la distribución del agua por medio de aspersores. El agua esparcida cae sobre un medio filtrante en el cual se adhieren las bacterias aerobias alimentándose de la materia orgánica contenida en el agua residual, formando una capa gelatinosa compuesta de bacterias, hongos y otras especies la cual se denomina zooglea.

El agua proveniente de la caja partidora de los medidores Parshall (sitio B), es conducida por gravedad al cárcamo de bombeo de aguas crudas del sistema de biofiltro a través de una tubería de acero de 8 " de diámetro, la cual descarga a 1.85 m del fondo del cárcamo (vease la Fig: III.1.7.a). El material -



Nomenclatura:

- A.- Caja partidora de los medidores Parshall.
- B.- Cárcamo de bombeo de aguas crudas del sistema biofiltro.
- C.- Biofiltro.
- D.- Caja partidora de lodos.
- E.- Cárcamo de bombeo de aguas tratadas.
- F.- Sedimentador secundario.

Fig: III.1.7.a Diagrama de Flujo del Sistema de Biofiltro.

del que está construido este tanque es de concreto armado y -- sus dimensiones son de 1.70 m X 2.00 m con un tirante útil de -- 3.45 m, que definen una capacidad de almacenamiento de 11.73 m³.

Mediante dos bombas marca Impel modelo I-2476 de 5 HP que funcionan alternadas, el agua cruda es enviada a través de un multiple de descarga y una tubería de acero de 8 " de diámetro hasta el sistema rociador del biofiltro; la tubería alimenta al -- biofiltro por la parte inferior ascendiendo el flujo por la parte central hasta llegar al extremo superior en donde se localiza el equipo rociador (vease la Fig: III.1.7.b). El equipo rociador está compuesto de un cilindro de acero de 0.47 m de diámetro y 1.60 m de altura, que alimenta por su parte más baja a cuatro tubos galvanizados de 4 " de diámetro y 1.35 m de longitud, mantenidos horizontalmente mediante cables de acero con -- tensores que unen a estos con la parte superior del cilindro de acero. Cada tubo galvanizado tiene 5 orificios provistos de un

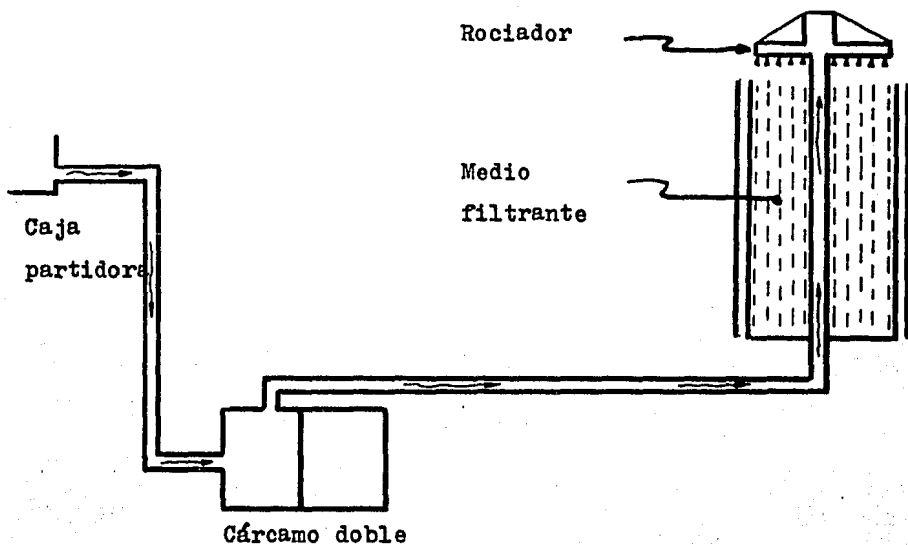


Fig: III.1.7.b Alimentación al Biofiltro.

pequeño tubo en forma de chiflón, que por presión hidrostática generan el movimiento circular del rociador repartiendo homogéneamente el agua (vease la Fig: III.1.7.c).

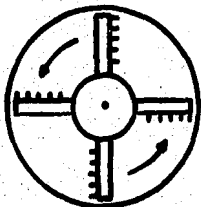


Fig: III.1.7.c Equipo Rociador.

El agua rociada cae sobre el medio filtrante del biofiltro, el cual consiste en un soporte modular de hoja de PVC con un diseño acanalado de interconexión a través del medio, que permite la redistribución de aire y agua de desecho, además de ser un material resistente a la mayoría de las sustancias químicas encontradas en las aguas residuales. Todo el medio filtrante está dispuesto dentro de un tanque de concreto armado de 3.10 m de diámetro y 6.50 m de altura, que lo protege de los agresores ambientales además de mantener una temperatura adecuada en el interior.

Después de atravesar todo el medio filtrante, el efluente se recolecta por la parte inferior de la torre del biofiltro y es conducido a través de una tubería de acero de 8 " de diámetro, hasta la caja partidora de lodos que se encuentra ubicada a un lado de la torre, bajo el nivel del piso y está construida de placas de acero. Esta caja tiene un mecanismo manual mediante el cual se pueden regular los gastos, teniendo las siguientes posibilidades:

- a) Pasar parte o la totalidad del efluente del biofiltro, por la caja partidora al cárcamo de bombeo de aguas crudas del sistema de biofiltro, para ser recirculada mediante el equipo rociador.
- b) Pasar parte o la totalidad del efluente, al cárcamo de aguas tratadas para ser enviadas al sedimentador secundario.

El cárcamo de aguas tratadas o de alimentación al sedimentador secundario, es de dimensiones similares al que alimenta al biofiltro y se encuentra unido a éste formando un solo cuerpo de concreto. Mediante dos bombas sumergibles marca Impel de dos - HP que operan en forma alternada, el efluente de este cárcamo es conducido a través de un múltiple de descarga y una tubería

de acero de 8 " de diámetro hasta el sedimentador secundario, ascendiendo por la columna central del mismo y descargando radialmente a través de unas pequeñas ventanas localizadas en la parte superior de la columna. El efluente del tanque sedimentador es enviado al sistema de filtración y los lodos sedimentados se descargan al drenaje.

Las características hidráulicas así como el equipo electromecánico del tanque sedimentador, son similares a lo descrito en los procesos anteriores.

El caudal influente al sistema de biofiltro es de 10 l/s, con una tasa de recirculación del efluente del 70 %.

III.1.8 Sistema de Filtración.

Los efluentes de los tres sistemas biológicos son sometidos a un proceso de filtración constituido por seis unidades de concreto armado, de las cuales cuatro son iguales en sus dimensiones teniendo 6.30 m de largo, 1.80 m de ancho y 5.65 m de altura (vease la Fig: III.1.8.a) .

Cada una de las unidades cuenta con un tanque (1), el cual tiene en uno de sus muros una compuerta deslizante tipo Miller para interconectarse con un tanque de filtración (2), tal como se indica en la Fig: III.1.8.b . En la parte más baja de la pared del tanque de filtración pegado al tanque (1), hay otra --compuerta similar conectada a una tubería de acero para el desfogue de las aguas de retrolavado.

En el tanque de filtración se encuentran colocadas en el fondo a unos centímetros de altura del piso, unas losas porosas equi

Fig: III.1.8.a Sistema de Filtración (Planta).

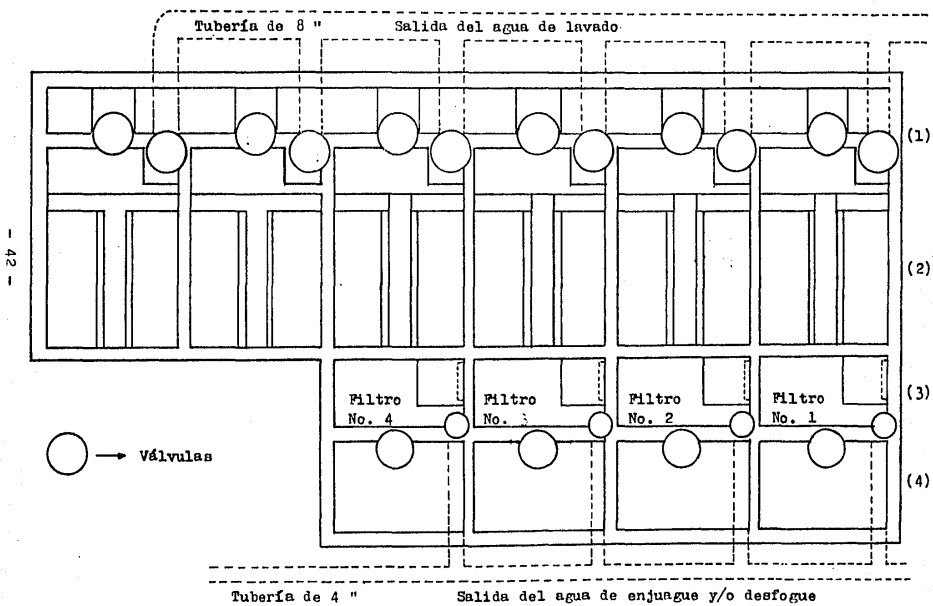
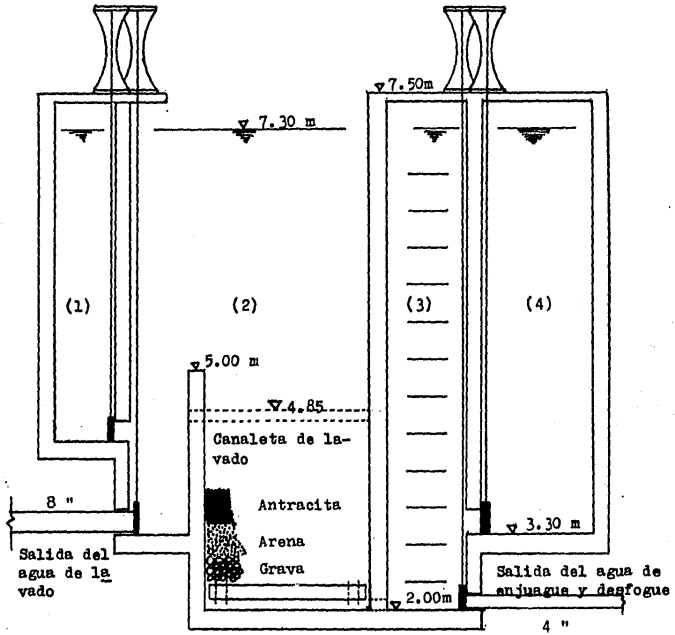


Fig: III.1.8.b Flujo de Agua en los Filtros .



padas con boquillas que permiten el paso del agua y sobre las losas se encuentra el medio filtrante constituido de antracita, arena y grava. Para el lavado del medio filtrante y destapar las boquillas de las losas, se aplica un flujo en sentido opuesto al de filtración denominado retrolavado por medio de presión hidrostática de los tanques (3) y (4) hacia el tanque (2); el agua que queda en los tanques (2) y (3) al nivelarse a las alturas se elimina abriendo la compuerta del tanque (3) -- que conduce al drenaje.

El tanque de filtración cuenta con una canaleta de concreto armado colocada por encima del medio filtrante, cuya función es captar las aguas de retrolavado y conducir las al drenaje durante la operación de lavado de los filtros. Por debajo de las losas de este tanque se tiene un canal que comunica al tanque (3) cuyas dimensiones son de 1.80 m de largo, 0.90 m de ancho y -- 5.60 m de altura, el cual tiene en el fondo una compuerta que se conecta a una tubería de acero de 4 " de diámetro para extraer el agua de enjuague y/o desfogue. En la parte superior de esta compuerta se tiene una conexión a un tanque de aguas tratadas (4) con dimensiones de 1.80 m de largo, 1.20 m de ancho y 4.60 m de altura. En la parte media de cada uno de los tanques (4) se encuentra un orificio de intercomunicación entre las cuatro unidades iguales; el último de estos tanques -- tiene un vertedor que descarga a una caja, desde la cual, por medio de una compuerta se descarga a una tubería de acero que lleva el agua filtrada al cárcamo de aguas tratadas.

Las dos unidades de filtración restantes difieren de las descritas anteriormente, por no contar con los tanques (3) y (4) y por poseer un sistema de tuberías mediante las cuales se realiza el retrolavado, el desfogue del agua de enjuague y la conducción al cárcamo de aguas tratadas.

La frecuencia con que se hace la operación de retrolavado para la limpieza de los filtros, se ha establecido en intervalos de 48 horas.

III.1.9 Sistema de Desinfección.

La desinfección de las aguas del efluente del sistema de filtración se realiza mediante el proceso de cloración; para esto se toma agua del tanque vertedor (4) por medio de una bomba de 1 HP y se conduce a través de una tubería de fierro hasta el equipo clorador que se encuentra en el cuarto de cloración; en este sitio se dosifica el cloro en forma de gas y por medio de una tubería de PVC se aplica la solución de cloro al cárcamo de aguas tratadas.

El cloro gaseoso proviene de dos tanques localizados en el extremo oriente de la planta, a unos 200 m del cuarto de cloración y es conducido a éste por medio de una tubería de fierro.

III.1.10 Cárcamo de Aguas Tratadas.

El efluente de los filtros es conducido a un cárcamo de aguas tratadas de concreto armado con dimensiones de 2.70 m X 2.70 m y una altura de 5.60 m . Este cárcamo cuenta con equipo de bombeo mediante el cual se envía el agua tratada a las cisternas de almacenamiento distribuidas en Ciudad Universitaria, las cuales están equipadas con flotadores. Estas cisternas regulan el agua tratada por la planta y abastecen la red de riego.

III.2 Evaluación del Diseño y Operación de la Planta de Tratamiento.

III.2.1 Resultados del Monitoreo de los Procesos de Tratamiento.

El arranque de la operación de los sistemas de tratamiento biológico se inició el día 15 de octubre de 1982, sin embargo debido a la inestabilidad de los sistemas y a la falta de infraestructura para riego, el sistema de filtros no fue operado sino hasta el 11 de febrero de 1983.

Los resultados promedio mensuales durante los primeros nueve meses de operación de la planta, se presentan en la tabla --- III.2.1.a; en ella se observan las características de los efluentes de cada sistema de tratamiento y de la planta en su conjunto.

Cabe destacar que los valores de las eficiencias fueron aumentando con el tiempo hasta tender a estabilizarse; esto se debió principalmente a la deficiente población de microorganismos en los sistemas biológicos en los primeros meses. Los factores que ocasionaron variaciones en la eficiencia y control de los sistemas fueron:

- a) Cambios bruscos en el flujo y calidad de las aguas residuales influentes a la planta.
- b) Interrupciones por fallas en los equipos y dispositivos de sistemas.
- c) Interrupciones en el suministro de energía eléctrica.

Tabla III.2.1.a Características de los Efluentes.

CONCEPTO	PARAMETRO	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul
Efluente de Lodos Activados	Eficiencia en remoción de DBO_T (%)	67.09	70.26	75.86	83.00	90.00	94.00	95.92	95.00	95.00
	DBO_T en el efluente (mg/l)	55.33	34.00	37.60	26.00	12.20	7.70	6.00	6.00	6.23
	Concentración de SST en el efluente (mg/l)	23.94	26.57	25.67	20.15	26.37	14.40	12.24	13.74	16.33
	Contenido de SSV en el licor mezclado (mg/l)	296.1		725	448		822	1147	1250	919
Efluente de Biodiscos	Eficiencia en remoción de DBO_T (%)	68.62	69.33	73.80	87.00	90.00	89.07	91.54	91.83	91.77
	DBO_T en el efluente (mg/l)	53.27	33.00	40.80	19.50	12.00	13.92	12.23	9.75	11.08
	Concentración de SST en el efluente (mg/l)	19.84	24.91	26.38	15.05	19.00	16.20	14.95	16.35	18.65
Efluente de Biofiltro	Eficiencia en remoción de DBO_T (%)	63.32	64.62	71.26	72.00	77.00	76.30	86.82	85.36	86.23
	DBO_T en el efluente (mg/l)	62.00	38.00	43.80	43.00	23.00	22.50	19.64	16.36	17.77
	Concentración de SST en el efluente (mg/l)	21.76	29.74	31.00	24.00	22.00	23.41	18.06	28.86	21.95
Efluente de los Filtros	Eficiencia en remoción de DBO_T (%)				86.20	91.50	92.30	95.77	94.75	95.33
	DBO_T en el efluente (mg/l)				20.00	9.94	9.84	6.46	6.00	6.00
	Concentración de SST en el efluente (mg/l)				12.50	14.25	11.00	9.81	9.67	9.29

III.2.2 Evaluación de los Sistemas de Tratamiento.

A continuación se mencionan algunas de las deficiencias en las obras e instalaciones, que se tienen actualmente en la planta:

- 1) El desarenador debería estar antes del vertido del flujo al cárcamo de bombeo, ya que esto protegería el equipo de bombeo previniendo desgastes y fallas frecuentes.
- 2) Las rejillas de la obra de toma (Fig: III.1.1.a) están dispuestas de una manera inadecuada, ya que se encuentran en diferentes direcciones y cotas. La situación anterior hace difícil la automatización en el proceso de limpieza de las rejillas, ya que si estuvieran dispuestas en una sola dirección y cota solo se requeriría de un motor y flecha común.
- 3) El medidor general de gasto Parshall (Sitio A) se encuentra dispuesto en un lugar inadecuado, ya que a pesar de la caja rompedora de presión y la placa de acero no se cumplen los requisitos de estabilidad y uniformidad de flujo.
- 4) El transportador de arenas del desarenador (tornillo sinfín) no funciona adecuadamente; esto se debe a que las arenas recolectadas no llegan a tener contacto con el aspa del tornillo, ya que el canal guía no cuenta con una pendiente continua paralela al eje del tornillo.
- 5) El equipo electrónico automático de medición de gasto de los sistemas de tratamiento no es utilizado, debido a que es un equipo de importación y se requiere personal capacitado para su operación.
- 6) El cárcamo de recirculación del sistema de lodos activados carece de una válvula de desfogue que permita la evacuación de lodos al drenaje, provocando graves problemas por la con

centración de lodos en este tanque.

- 7) Las boquillas del sistema rociador del biofiltro no están bien diseñadas, ya que no distribuyen correctamente el flujo y se tapan constantemente.
- 8) La torre del sistema de biofiltro no cuenta con una buena distribución de aire, ya que solo tiene dos pequeños orificios de ventilación colocados inadecuadamente. Esta torre debería de contener al menos tres orificios distribuidos - en diferentes direcciones.
- 9) El brazo desnatador y la caja de natas de los sedimentadores secundarios no cumplen con su función. Esto se debe a que la caja de natas se encuentra localizada en la orilla del sedimentador, recolectando solo la materia flotante -- que se encuentra cerca del perímetro del sedimentador. Sería más conveniente la instalación de una canaleta radial.
- 10) Los tanques de agua de lavado de los filtros (tanques 3 y 4) no proporcionan suficiente velocidad de flujo para limpiar los filtros; esto se debe a que estos tanques tienen la misma cota que el tanque de filtración. Sería más conveniente el uso de un tanque elevado que proporcionara una carga hidráulica adecuada para el retrolavado.
- 11) El sistema de cloración presenta riesgos debido a las siguientes razones:
 - a) Los tanques de cloro se encuentran muy alejados del sitio donde se aplica la cloración, conduciéndose el cloro a través de una tubería de fierro colocada a la intemperie.
 - b) Una fuga de cloro difícilmente se puede detectar debido a que los tanques se encuentran en un lugar abierto.

c) Los tanques de cloración se encuentran cerca de la reja de la calle, en un lugar muy inseguro y sin ninguna protección.

12) Los fines de semana y días festivos el agua tratada se vierte al drenaje, precisamente cuando la planta recibe los caudales más bajos en el influente. Debería de existir una línea alternativa de recirculación que permitiera retornar el efluente de la planta y el agua de lavado de los filtros hacia el tanque desarenador, cuando el influente sea menor al mínimo requerido.

13) De acuerdo a los resultados del monitoreo de los sistemas biológicos y filtros, se tienen las siguientes conclusiones:

- a) El proceso que tiene mayor eficiencia en la remoción de DBO_T es el de lodos activados, le sigue el de biodiscos y por último el de biofiltro.
- b) En lo referente a remoción de SST se tiene el mismo orden de eficiencia que en el inciso anterior.
- c) Considerando los siguientes valores de DBO_T en el efluente de cada sistema:

Lodos Activados	6 mg/l
Biodiscos	12 mg/l
Biofiltro	17 mg/l
Filtros	6 mg/l

Se determina que la eficiencia de remoción de DBO_T lograda por el sistema de filtración es del 41 %.

Concentración de DBO_T del influente a los filtros:

$$\frac{6 \text{ mg/l} \times 20 \text{ l} + 12 \text{ mg/l} \times 10 \text{ l} + 17 \text{ mg/l} \times 10 \text{ l}}{20 \text{ l} + 10 \text{ l} + 10 \text{ l}} = 10.25 \text{ mg/l}$$

Eficiencia:

$$e = \frac{10.25 \text{ mg/l} - 6 \text{ mg/l}}{10.25 \text{ mg/l}} \times 100 = 41 \%$$

IV. DESCRIPCION DEL SISTEMA DE RIEGO.

El agua procesada por la planta de tratamiento de aguas residuales de Ciudad Universitaria, es empleada en el riego por aspersión de las áreas verdes de la zona escolar, de los campos deportivos y del vivero alto de C.U.

El área total de riego es de 388 024 m² de los cuales 84 570 m² corresponden a la zona escolar, 156 204 m² a los campos deportivos y 147 250 a la zona del vivero alto.

IV.1 Determinación del Uso Consuntivo.

Se denomina evapotranspiración o uso consuntivo a la conjunción de dos procesos, estos son la evaporación y la transpiración. La evaporación es el proceso por el cual las moléculas de agua adquieren energía cinética debido a la radiación solar y pasan del estado líquido al gaseoso. La transpiración es el proceso por el cual el agua absorbida por las plantas, regresa en forma de vapor a la atmósfera por medio de las hojas principalmente.

De esta manera se puede decir que la evapotranspiración o uso consuntivo, es la cantidad de agua requerida por las plantas para su desarrollo normal. Existen varios métodos para valuar la evapotranspiración, para fines de este trabajo se seleccionó el método de Thornthwaite cuya expresión es:

$$e_t = 16 (10 t/I)^B$$

Donde:

e_t = Evapotranspiración mensual en mm

t = Temperatura media mensual en °C

$$I = \frac{12}{M} (t/5)^{1.514}$$

$$a = 6.75 (I)^3 (10^{-7}) - 7.7 (I)^2 (10^{-5}) + 0.0179 (I) + 0.4924$$

Los valores de e_t obtenidos mediante este método deben corregirse utilizando el factor correspondiente al mes y a la latitud del sitio en estudio, tal como se indica en la Tabla IV.1. a .

Tabla IV.1.a Factores de Corrección de e_t .

Lat. N	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
15	0.97	0.91	1.03	1.04	1.11	1.08	1.12	1.08	1.02	1.01	0.95	0.97
20	0.95	0.90	1.03	1.05	1.13	1.11	1.14	1.11	1.02	1.00	0.93	0.94
25	0.93	0.89	1.03	1.06	1.15	1.14	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
26	0.92	0.88	1.03	1.06	1.15	1.15	1.17	1.12	1.02	0.99	0.91	0.91
27	0.92	0.88	1.03	1.07	1.16	1.15	1.18	1.13	1.02	0.99	0.90	0.90
28	0.91	0.88	1.03	1.07	1.16	1.16	1.18	1.13	1.02	0.98	0.90	0.90
29	0.91	0.87	1.03	1.07	1.17	1.16	1.19	1.13	1.03	0.98	0.90	0.89
30	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.17	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
31	0.90	0.87	1.03	1.08	1.18	1.18	1.20	1.14	1.03	0.98	0.89	0.88
32	0.89	0.86	1.03	1.08	1.19	1.19	1.21	1.15	1.03	0.98	0.88	0.87
33	0.88	0.86	1.03	1.09	1.19	1.20	1.22	1.15	1.03	0.97	0.88	0.86

Para la determinación de las temperaturas medias mensuales se recurrió a los datos registrados en el D.F. durante el período de 1966 a 1980, los cuales se muestran en la Tabla IV.1.b .

Tabla IV.1.b Registro de Temperaturas en el D.F.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1966	11.4	13.9	17.4	18.2	19.6	19.1	17.6	17.2	17.7	15.0	14.8	13.3
1967	12.6	14.4	15.1	18.2	19.6	19.8	19.0	18.8	18.2	16.9	14.6	13.7
1968	12.9	15.9	17.2	19.6	19.9	19.9	18.5	18.4	17.0	16.4	15.0	15.3
1969	13.8	14.5	16.7	18.9	19.5	19.1	17.9	18.2	18.2	17.6	15.9	14.7
1970	14.2	15.9	18.8	21.7	20.2	19.7	19.1	19.4	19.1	19.4	15.8	15.5
1971	13.5	13.8	16.4	15.3	19.5	17.9	17.5	16.9	17.4	16.9	14.5	13.4
1972	13.7	17.0	15.8	19.5	18.2	17.5	16.9	16.2	16.7	16.8	15.8	12.5
1973	12.0	14.5	18.4	18.2	18.1	17.8	16.7	17.0	17.8	16.3	14.0	10.6
1974	12.0	13.2	14.5	16.8	18.5	16.7	15.6	17.2	16.6	18.8	12.6	12.5
1975	10.9	--	17.8	20.0	17.9	16.9	16.4	16.6	15.4	15.6	15.2	12.6
1976	12.2	12.5	17.4	18.0	18.2	18.3	17.4	16.9	17.9	16.5	14.1	14.2
1977	14.1	14.5	18.9	17.7	17.3	18.3	--	18.8	18.2	16.8	14.7	13.3
1978	8.9	14.0	16.8	19.6	19.8	18.1	17.8	17.9	17.3	16.1	16.2	14.6
1979	14.0	14.6	17.9	19.2	19.5	18.7	18.8	18.0	16.3	17.2	14.8	13.2
1980	13.5	16.3	20.5	19.3	20.8	20.8	19.3	18.6	17.5	18.1	13.9	12.6
\bar{X}	12.6	14.6	17.3	18.7	19.1	18.6	17.8	17.7	17.4	17.0	14.8	13.5

Con los valores de temperaturas medias mensuales (\bar{X}) y con los factores de corrección correspondientes a la latitud 20° N (Cd. de México), se calculan los valores de evapotranspiración para cada mes, como se presenta en la tabla IV.1.c .

Tabla IV.1.c Determinación de la Evapotranspiración en el D.F.

Mes	t	$(t/5)^{1.514}$	$e_t = 16(10 t/74)^{1.67}$	Factor	Evapotranspiración corregida (mm)
Ene	12.6	4.0	38.9	0.95	36.97
Feb	14.6	5.0	49.8	0.90	44.79
Mar	17.3	6.5	66.1	1.03	68.06
Abr	18.7	7.3	75.2	1.05	79.00
May	19.1	7.6	77.9	1.13	88.08
Jun	18.6	7.3	74.6	1.11	82.78
Jul	17.8	6.8	69.3	1.14	79.00
Ago	17.7	6.8	68.6	1.11	76.19
Sep	17.4	6.6	66.7	1.02	68.05
Oct	17.0	6.4	64.2	1.00	64.20
Nov	14.8	5.2	50.9	0.93	47.35
Dic	13.5	4.5	43.7	0.94	41.05
■		I=74.0			

$$a = 6.75 (74)^3 (10^{-7}) - 7.7 (74)^2 (10^{-5}) + 0.0179 (74) + 0.4924$$

$$a = 1.67$$

IV.2 Determinación de la Precipitación Mensual Media.

Para la obtención de la precipitación pluvial se recurrió a la información proporcionada por el Servicio Meteorológico Nacional y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos, la cual se muestra en la Tabla IV.2.a .

Tabla IV.2.a Precipitación Pluvial en el D.P. (mm) .

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1933	4.8	4.2	14.0	0.7	17.7	67.6	116.1	187.6	130.1	95.4	2.5	14.5
1934	11.5	2.0	4.0	22.5	40.0	42.7	81.5	142.5	119.5	40.5	9.0	24.0
1935	0	0	14.5	7.5	42.0	221.7	182.0	104.0	96.0	35.0	1.5	0
1936	4.0	1.0	2.0	14.0	88.5	16.5	173.0	142.5	119.0	56.5	2.0	3.0
1937	1.0	7.0	32.5	35.0	83.0	100.0	109.5	122.0	132.0	28.0	2.0	0
1938	0	9.5	12.5	16.5	32.0	74.0	136.5	120.5	94.0	22.0	31.0	4.0
1939	0	3.0	9.0	36.5	39.5	43.0	101.0	133.5	96.0	80.5	0	0
1940	8.5	2.0	18.0	5.0	90.5	92.5	153.0	103.0	74.0	14.0	3.5	5.0
1941	4.0	5.0	0	68.0	24.0	146.5	156.0	93.0	191.0	70.0	13.5	41.0
1942	2.0	7.0	9.0	12.0	21.5	87.0	110.5	108.0	117.0	22.5	13.0	0
1943	0	0	14.5	19.0	24.0	136.0	82.5	137.0	81.0	18.0	5.5	4.5
1944	0	1.5	9.0	1.0	42.5	88.0	109.0	180.0	170.5	10.5	10.5	10.0
1945	0	2.0	5.0	27.5	15.0	57.0	62.5	149.5	123.0	11.0	29.0	0
1946	7.5	27.0	6.5	48.0	28.0	64.0	91.0	80.5	70.5	30.5	5.5	1.0
1947	30.5	1.0	2.0	28.5	58.0	46.5	82.0	115.0	95.0	55.5	19.5	11.5
1948	0	0	2.5	14.0	40.0	55.9	97.0	91.5	87.0	46.5	14.5	0
1949	8.5	0	13.5	11.0	30.5	81.0	99.0	123.0	129.5	43.0	5.0	0
1950	0	0	0	15.0	71.0	143.5	133.5	116.5	117.0	63.0	0	0
1951	8.5	0	5.7	11.5	79.0	9.0	147.5	153.0	85.1	9.0	6.5	0
1952	17.2	9.5	0	39.0	106.5	162.0	139.9	126.0	174.8	1.7	101.8	0.3
1953	0	1.8	0	4.3	16.3	50.4	100.2	153.1	89.8	86.7	19.9	1.2
1954	0	7.9	0.5	22.8	118.0	211.3	84.8	159.1	119.6	73.0	78.8	0
1955	19.6	0	1.6	0.5	21.5	57.5	216.1	140.7	184.3	22.2	7.6	19.3
1956	0.1	0.3	0.5	35.2	175.5	70.2	118.7	182.9	54.0	21.9	13.7	0
1957	0	4.3	2.1	38.8	45.5	117.4	123.5	35.4	82.2	43.8	21.3	3.5
1958	0.7	0.5	0	10.9	86.8	153.8	128.9	112.9	140.0	39.0	70.2	39.1
1959	2.9	1.3	1.2	63.4	38.7	168.8	107.0	85.2	88.8	164.6	4.4	0.6
1960	10.1	0	12.5	1.0	40.8	95.4	113.0	199.8	90.1	65.6	3.5	13.6
1961	0	0.3	6.2	11.4	30.7	275.0	74.0	130.4	69.1	32.0	12.6	4.7
1962	0	3.3	1.1	94.9	34.4	171.9	144.8	141.3	107.9	45.7	3.8	4.7
1963	0	0.3	36.8	13.2	49.4	173.3	193.7	187.5	166.4	63.3	17.3	3.1
1964	30.9	0	28.1	9.3	66.9	120.1	88.8	112.5	100.5	4.1	13.9	9.1
1965	1.0	21.8	2.4	9.5	42.8	117.4	171.2	237.1	128.5	47.0	6.5	6.6
1966	7.5	0.5	51.7	28.6	51.3	93.6	203.3	135.6	146.5	56.4	1.1	8.7
\bar{x}	5.32	3.65	9.38	22.82	52.70	106.19	124.44	133.59	113.81	43.49	16.19	6.85

IV.3 Determinación de las Necesidades de Riego.

Partiendo de los valores de evapotranspiración mensual media y de los valores de precipitación registrados; es posible calcular las necesidades de riego mensuales:

Necesidades de riego medias = Evapotranspiración - Precipitación media.

Necesidades extremas de riego = Evapotranspiración - Precipitación mínima.

Necesidades mínimas de riego = Evapotranspiración - Precipitación máxima.

Los valores de riego requeridos que se obtuvieron después de aplicar las expresiones anteriores aparecen en la Tabla IV.3.a.

De acuerdo con el análisis efectuado, se puede observar que la demanda máxima de riego corresponde a los meses de marzo y abril y que regularmente no se requerirá regar en los meses de junio, julio, agosto y septiembre.

Tabla IV.3.a Cálculo de las Necesidades de Riego .

Mes	Evapotranspiración (mm)	Precipitación (mm)			Necesidades de riego (mm)		
		Mín	Med	Máx	Extremas	Medias	Mínimas
Ene	36.97	0	5.32	30.9	36.97	31.65	6.07
Feb	44.79	0	3.65	27.0	44.79	41.14	17.79
Mar	68.06	0	9.38	51.7	68.06	58.68	16.36
Abr	79.00	0.5	22.82	94.9	78.50	56.18	---
May	88.08	15.0	52.70	175.5	73.08	35.38	---
Jun	82.78	9.0	106.19	275.0	73.78	---	---
Jul	79.00	62.5	124.44	216.1	16.50	---	---
Ago	76.19	35.4	133.59	237.1	40.79	---	---
Sep	68.05	54.0	113.81	191.0	14.05	---	---
Oct	64.20	1.7	43.49	164.6	62.50	20.71	---
Nov	47.35	0	16.19	101.8	47.35	31.16	---
Dic	41.05	0	6.85	41.0	41.05	34.20	0.05

IV.4 Volumen y Gasto Críticos Requeridos para Riego.

Considerando la lámina requerida para el mes más crítico y una eficiencia por conducción del 80 %, la lámina mensual máxima requerida para riego es:

$$l_m = \frac{78.5 \text{ mm/mes}}{0.80} = 98.125 \text{ mm/mes} = 0.098125 \text{ m/mes}$$

El volumen de agua tratada requerido para el mes más crítico es:

$V = \text{lámina requerida} \times \text{área total de riego}$

$$V_m = 0.098125 \text{ m} \times 388\,024 \text{ m}^2 = 38\,074 \text{ m}^3$$

Si se considera un mes de 22 días para efectos de riego, el volumen diario máximo requerido es:

$$V_d = \frac{38\,074 \text{ m}^3}{22 \text{ días}} = 1\,730.6 \text{ m}^3$$

Y el gasto máximo requerido es:

$\text{Gasto} = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}}$

$$Q = \frac{1\,730.6 \text{ m}^3}{\text{día}} = \frac{1\,730\,600 \text{ l}}{86\,400 \text{ seg}} = 20.0 \text{ l/seg}$$

IV.5 Necesidades de Regulación.

Debido a que el tiempo de regado diario se realiza en un máximo de 8 horas, se hace necesario almacenar el agua procesada -- por la planta de tratamiento durante las 24 horas del día a -- fin de contar con suficiente agua tratada para las horas de -- riego.

El volumen de regulación requerido, se calculó en base a considerar turnos de 8 horas diarias para efectos de riego y un gasto de producción de la planta de tratamiento de 20 l/s (Este gasto era el programado para el inicio de operaciones de la -- planta). Los gastos horarios de suministro y demanda así calculados son:

$$\text{Alimentación: } 20 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \times \frac{3\ 600 \text{ seg}}{\text{hr}} \times \frac{\text{m}^3}{1\ 000 \text{ lt}} = 72 \text{ m}^3/\text{hr}$$

$$\text{Demanda} \quad : \quad 20 \frac{\text{lt}}{\text{seg}} \times \frac{3\ 600 \text{ seg}}{\text{hr}} \times \frac{\text{m}^3}{1\ 000 \text{ lt}} \times \frac{24 \text{ hr}}{8 \text{ hr}} = 216 \text{ m}^3/\text{hr}$$

Con los gastos calculados se procedió a determinar los requerimientos de regulación, de acuerdo a los cálculos de la Tabla - IV.5.a .

Tabla IV.5.a Requerimientos de Regulación.

Tiempo (hr)	Alimentación (m ³)	Demanda de Riego (m ³)	Diferencias (m ³)	Diferencias acumuladas (m ³)
0 - 1	72	0	+ 72	72
1 - 2	72	0	+ 72	144
2 - 3	72	0	+ 72	216
3 - 4	72	0	+ 72	288
4 - 5	72	0	+ 72	360
5 - 6	72	0	+ 72	432
6 - 7	72	0	+ 72	504
7 - 8	72	0	+ 72	576 "
8 - 9	72	216	-144	432
9 - 10	72	216	-144	288
10 - 11	72	216	-144	144
11 - 12	72	216	-144	0
12 - 13	72	216	-144	-144
13 - 14	72	0	+ 72	- 72
14 - 15	72	0	+ 72	0
15 - 16	72	216	-144	-144
16 - 17	72	216	-144	-288
17 - 18	72	216	-144	-432 "
18 - 19	72	0	+ 72	-360
19 - 20	72	0	+ 72	-288
20 - 21	72	0	+ 72	-216
21 - 22	72	0	+ 72	-144
22 - 23	72	0	+ 72	- 72
23 - 24	72	0	+ 72	0

Volumen a regularizar = 576 + 432 = 1 008 m³

Para satisfacer esta necesidad de regulación se construyeron -- tres cisternas y se aprovecharon las tres que existían desde -- que el riego se efectuaba con agua potable. Estas seis cister-- nas tienen en conjunto una capacidad de regulación de 1 800 m³ y se encuentran localizadas en los sitios indicados en la Fig: IV.5.b, siendo abastecidas con el agua tratada por la planta - de acuerdo al sistema mostrado en el Diagrama IV.5.c.

Para aumentar la capacidad de regulación se tiene proyectado -- construir un lago en el Vivero Alto con capacidad de 6 912 m³; de esta manera se aprovechará el gasto de 40 l/seg producido - actualmente por la planta de tratamiento, además de poder regu lar el agua producida los sábados, domingos y días festivos -- (días en los cuales hay producción pero no hay riego).

Fig: IV.5.b Localización de Cisternas de Aguas Tratadas.

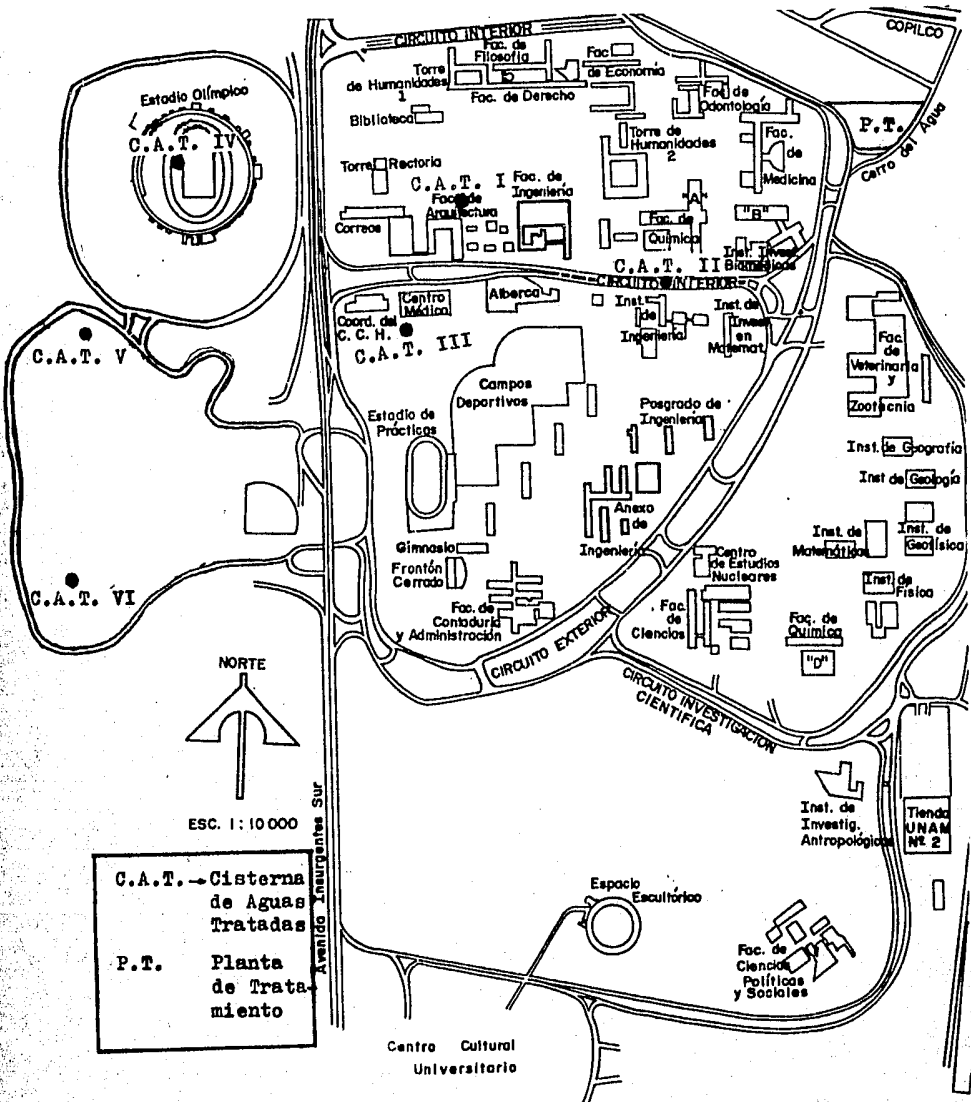
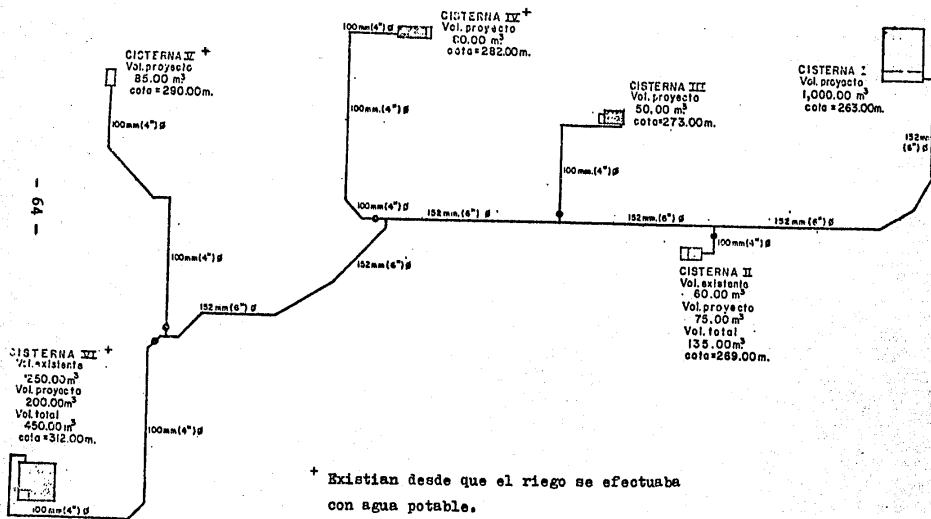


Diagrama IV.5.o Abastecimiento de Agua Tratada a las Cisternas.



+ Existian desde que el riego se efectuaba con agua potable.

IV.6 Distribución del Agua Residual Tratada para Riego.

El cárcamo de aguas tratadas de la planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con cuatro bombas tipo turbina vertical; dos de estas bombas trabajan a 20 l/seg y las otras dos a 10 l/seg. La operación de las bombas está condicionada al gasto de producción de la planta de la siguiente manera:

<u>Producción</u>	<u>Utilización del equipo de bombeo</u>
40 l/seg	Dos bombas de 20 l/seg o una de 20 l/seg y dos de 10 l/seg
30 l/seg	Una bomba de 20 l/seg y una de 10 l/seg
20 l/seg	Una bomba de 20 l/seg o dos de 10 l/seg
10 l/seg	Una bomba de 10 l/seg
0 l/seg	No se opera ninguna bomba

El agua extraída del cárcamo de aguas tratadas es bombeada a través de una tubería de 10 " de diámetro, siendo conducida hasta las seis cisternas de regulación de Ciudad Universitaria. Estas cisternas están equipadas con flotadores que evitan el derramamiento del agua en las primeras cisternas y permiten el flujo hacia las más elevadas.

Cada una de las seis cisternas cuenta con una planta de bombeo consistente en tres bombas con un gasto de operación de 10 l/seg cada una. El número de aspersores de 1 l/seg que pueden operarse simultáneamente por cada una de estas bombas es de diez, en tal forma que la planta de bombeo de una cisterna puede operar 30 aspersores en forma simultánea.

Tanto la línea de conducción como la red y ramales son de un material denominado "extrupak", el cual es un polietileno de alta densidad; para indicar que el agua transportada en ellos no es de calidad potable.

IV. 7 Riego en Espacios Abiertos.

El riego en los espacios abiertos es de operación manual, realizándose generalmente con aspersores móviles conectados a válvulas de acoplamiento rápido y en algunos casos por sets portátiles. El tipo de aspersor empleado es el "Rainbird" 65-PJ con las siguientes características:

Aspersor	: "Rainbird"
Modelo	: 65-D ó 65-PJ
Rosca hembra	: 25 mm (1 ") \emptyset
Boquilla	: 6.25 mm (1/4 ") \emptyset
Presión de trabajo	: 5.27 Kg/cm ²
Radio de cobertura	: 19.51 m
Gasto	: 1.0 l/seg

Con este tipo de aspersor se riega el área correspondiente a la zona escolar y el Vivero Alto que en conjunto suman un área de 231 820 m².

Considerando un 70 % de aspersores de círculo completo y un 30 % de medio círculo, se tienen las siguientes áreas a regar:

$$231\ 820\ m^2 \times 0.7 = 162\ 274\ m^2 \text{ (Para círculo completo)}$$

$$231\ 820\ m^2 \times 0.3 = 69\ 546\ m^2 \text{ (Para medio círculo)}$$

El área de regado bruta (A_b) de cada aspersor es:

$$A = \pi r^2$$

$$A_b = \pi (19.51 \text{ m})^2 = 1\,195.81 \text{ m}^2 \doteq 1\,196 \text{ m}^2 \text{ (Para círculo completo)}$$

$$A_b = \pi (19.51 \text{ m})^2 / 2 = 597.91 \text{ m}^2 \doteq 598 \text{ m}^2 \text{ (Para medio círculo)}$$

Si se considera un traslape del 25 %, el área neta de regado -- (A_n) es:

$$1\,196 \text{ m}^2 \times 0.75 = 897 \text{ m}^2 \text{ (Para círculo completo)}$$

$$598 \text{ m}^2 \times 0.75 = 448 \text{ m}^2 \text{ (Para medio círculo)}$$

De esta manera el número de posiciones requerido para regar toda el área es:

$$\frac{162\,274 \text{ m}^2}{897 \text{ m}^2/\text{posición}} = 181 \text{ posiciones (Círculo completo)}$$

$$\frac{69\,546 \text{ m}^2}{448 \text{ m}^2/\text{posición}} = 155 \text{ posiciones (Medio círculo)}$$

De acuerdo a lo anterior, a continuación se hace el análisis -- del programa de riego para el mes más crítico (abril), para -- posteriormente presentar la Tabla IV.7.a con el programa de to dos los meses del año.

Partiendo de la lámina máxima requerida calculada en el inciso IV.4 y considerando un mes de 22 días para efectos de riego, la lámina por aplicar al día es:

$$l_d = \frac{98.125 \text{ mm/mes}}{22 \text{ días/mes}} = 4.46 \text{ mm/día} = 0.00446 \text{ m/día}$$

Por lo que el volumen diario de agua tratada a aplicar en cada posición es:

$$V_d = A_n \times l_d$$

$$V_1 = 897 \text{ m}^2 \times 0.00446 \text{ m/día} = 4.0 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Círculo completo)}$$

$$V_2 = 448 \text{ m}^2 \times 0.00446 \text{ m/día} = 2.0 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Medio círculo)}$$

Los tiempos de aplicación diaria en cada posición son:

$$T_d = V_d / Q_{\text{aspersor}}$$

$$T_1 = \frac{4 \text{ m}^3}{0.001 \text{ m}^3/\text{seg}} = 4000 \text{ seg} = 66 \text{ min} \text{ (Círculo completo)}$$

$$T_2 = \frac{2 \text{ m}^3}{0.001 \text{ m}^3/\text{seg}} = 2000 \text{ seg} = 33 \text{ min} \text{ (Medio círculo)}$$

Si se consideran tiempos de 5 minutos entre cambios de aspersores, los tiempos de aplicación son:

$$T_1 = 66 \text{ min} + 5 \text{ min} = 71 \text{ min} \text{ (Círculo completo)}$$

$$T_2 = 33 \text{ min} + 5 \text{ min} = 38 \text{ min} \text{ (Medio círculo)}$$

Multiplicando el tiempo de aspersión de cada posición por el -- número de posiciones, se tiene un tiempo total de aspersión de:

$$\begin{aligned} 71 \text{ min-aspersión/posición} \times 181 \text{ posiciones} &= 12\ 851 \text{ min-aspersión} \\ 38 \text{ min-aspersión/posición} \times 155 \text{ posiciones} &= \underline{5\ 890 \text{ min-aspersión}} \\ &18\ 741 \text{ min-aspersión} \end{aligned}$$

Partiendo del gasto máximo requerido para riego en el mes de -- abril (20 l/seg) y de la restricción de 8 horas de riego, el -- gasto a suministrar en las horas de riego es:

$$20 \text{ l/seg} \times 24 \text{ hr} / 8 \text{ hr} = 60 \text{ l/seg}$$

Con este gasto pueden operarse simultaneamente 60 aspersores de 1.0 l/seg, con lo cual se tendrá un tiempo total de operación -- para regar toda el área de:

$$t = \frac{18\ 741 \text{ min-aspersión}}{60 \text{ aspersores}} = 312.35 \text{ min} = 5.21 \text{ horas}$$

Tabla IV.7.a Programa Mensual de Riego en Espacios Abiertos.

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Evapotranspiración mm/mes	36.97	44.79	68.06	79.00	88.08	82.78	79.00	76.19	68.05	64.20	47.35	41.05	
Precipitación mínima considerada para programa mm/mes	0	0	0	0.5	15	43	85	95	74	13	0	0	
Demanda de riego mm/mes	36.97	44.79	68.06	78.50	73.08	39.78	0	0	0	51.20	47.35	41.05	
Lámina por aplicar(mm)	Mes	46.21	55.99	85.07	98.12	91.35	49.73	0	0	0	64.00	59.19	51.31
	Diaria	2.10	2.54	3.87	4.46	4.15	2.28	0	0	0	2.91	2.69	2.33
Tiempos de aplicación (min)	T ₁ (CC)	36	43	62	71	66	38	0	0	0	48	45	40
	T ₂ (MC)	21	24	34	38	36	22	0	0	0	27	25	22
Aspersores en opera- ción simultánea	40	40	60	60	60	40	0	0	0	40	40	40	
Tiempo total de ope- ración para regar - toda el área(hr/día)	4.07	4.79	4.58	5.21	4.87	4.29	0	0	0	5.36	5.01	4.44	

IV. 8 Riego en Campos Deportivos.

Con el fin de evitar accidentes, el riego en campos deportivos se efectúa con aspersores más grandes ubicados fuera de las -- canchas. El modelo de aspersor empleado es el "Rainbird"95-TNT con las siguientes características:

Aspersor	: " Rainbird "
Modelo	: 95-TNT
Boquilla	: 3/4" x 5/16" x 11/32"
Presión de trabajo	: 5.95 Kg/cm ²
Radio de cobertura	: 38.10 m
Gasto	: 13.0 l/seg

Con este tipo de aspersor se riegan todos los campos deportivos con un área total de 156 204 m², todos los aspersores trabajan a medio círculo.

El área de regado bruta (A_b) de cada aspersor trabajando a medio círculo es:

$$A_b = \pi (38.10 \text{ m})^2 / 2 = 2 280 \text{ m}^2 \text{ (Medio círculo)}$$

Dado que los aspersores operan independientemente, el área bruta de regado corresponde al área neta. De esta manera el número de posiciones requerido para regar toda el área es:

$$\frac{156 204 \text{ m}^2}{2 280 \text{ m}^2/\text{posición}} = 69 \text{ posiciones}$$

A continuación se hace el análisis del programa de riego para el mes más crítico (abril), para posteriormente presentar la - Tabla IV.8.a con el programa de todos los meses del año.

Considerando la lámina máxima requerida calculada en el inciso IV.4 y un mes de 22 días para efectos de riego, se tiene que - la lámina de aplicación diaria es:

$$l_d = \frac{98.125 \text{ mm/mes}}{22 \text{ días/mes}} = 4.46 \text{ mm/día} = 0.00446 \text{ m/día}$$

Por lo que el volumen diario de agua tratada a aplicar en cada posición es:

$$V_d = 2 \ 280 \text{ m}^2 \times 0.00446 \text{ m/día} = 10.17 \text{ m}^3/\text{día} \text{ (Medio círculo)}$$

El tiempo de aplicación diaria en cada posición es:

$$T_d = V_d / Q_{\text{aspersor}}$$

$$T = \frac{10.17 \text{ m}^3}{0.013 \text{ m}^3/\text{seg}} = 782 \text{ seg} = 13 \text{ min}$$

Considerando un tiempo de 5 minutos entre cambios de posición de los aspersores, el tiempo de aplicación es:

$$T = 13 \text{ min} + 5 \text{ min} = 18 \text{ min}$$

Multiplicando el tiempo de aspersión de cada posición por el número de posiciones, se tiene un tiempo total de aspersión de:

$$18 \text{ min-aspersión/posición} \times 69 \text{ posiciones} = 1 \ 242 \text{ min-aspersión}$$

Partiendo del gasto a suministrar durante las horas de riego - de 60 l/seg; el número de aspersores que pueden operarse simultáneamente es:

$$\frac{60 \text{ l/seg}}{13 \text{ l/seg/aspersor}} = 4.62 \quad 5 \text{ aspersores}$$

Operando simultáneamente 5 aspersores, se tendrá un tiempo total de regado diario para todos los campos de:

$$t = \frac{1 \text{ 242 min-aspersión}}{5 \text{ aspersores}} = 248 \text{ min} = 4.14 \text{ horas}$$

Tabla IV.8.a Programa Mensual de Riego en Campos Deportivos.

Concepto	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Evapotranspiración mm/mes	36.97	44.79	68.06	79.00	88.08	82.78	79.00	76.19	68.05	64.20	47.35	41.05	
Precipitación mínima considerada para programa mm/mes	0	0	0	0.5	15	43	85	95	74	13	0	0	
Demanda de riego mm/mes	36.97	44.79	68.06	78.50	73.08	39.78	0	0	0	51.20	47.35	41.05	
Lámina por aplicar(mm)	Mes	46.21	55.99	85.07	98.12	91.35	49.73	0	0	0	64.00	59.19	51.31
	Diaria	2.10	2.54	3.87	4.46	4.15	2.26	0	0	0	2.91	2.69	2.33
Tiempo de aplicación (min)	11	12	16	18	17	12	0	0	0	14	13	12	
Aspersores en operación simultánea	5	5	5	5	5	5	0	0	0	5	5	5	
Tiempo total de operación para regar - toda el área(hr/día)	2.53	2.76	3.68	4.14	3.91	2.76	0	0	0	3.22	2.99	2.76	

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- a) Aunque la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria tiene muchas deficiencias en su diseño y operación, se ha cumplido satisfactoriamente con los objetivos para los cuales fue construida. No obstante sería recomendable rediseñar los sistemas inadecuados mencionados en el inciso III.2 y planear correctamente la operación de la planta, a fin de lograr mejores resultados.
- b) El sistema de tratamiento biológico biofiltro ha presentado muchos problemas desde su diseño y operación; razón por lo cual los sistemas de lodos activados y biodiscos pueden considerarse como los más eficientes.
- c) De acuerdo a los resultados de monitoreo del influente y efluente de la planta de tratamiento, se tiene que las eficiencias en remoción de DBO_T y SST de la planta en su conjunto son:

$$DBO_T : \frac{69 \text{ mg/l} - 6 \text{ mg/l}}{69 \text{ mg/l}} \times 100 = 91 \%$$

$$SST : \frac{32 \text{ mg/l} - 9 \text{ mg/l}}{32 \text{ mg/l}} \times 100 = 72 \%$$

- d) Con la utilización de los filtros de antracita, arena y grava se logra un considerable pulimento de los efluentes de los sistemas biológicos. Sin embargo se ha observado que el deficiente diseño del sistema de retrolavado de los mismos provoca grandes problemas por taparse rápidamente.

- e) El gasto medio de 40 l/seg producido por la planta de tratamiento satisface ampliamente el gasto máximo requerido para el riego de las áreas verdes de C.U. , el cual se calculó - en 20 l/seg; lo que indica que se tiene una importante sobrepoducción de agua tratada.
- f) La capacidad de regulación actual que se tiene para la producción de la planta de tratamiento es muy baja, provocando que se tenga que tirar el agua tratada al drenaje por no -- contar con un lugar donde almacenarla. Sin embargo una vez que se construya el lago en el Vivero Alto, se podrá contar con una capacidad de regulación adecuada, además de poder -- utilizar este sitio con fines recreativos.
- g) El empleo de plantas de tratamiento de aguas residuales es una buena alternativa para el ahorro de agua potable, ya -- que las aguas tratadas pueden emplearse en diversos usos -- que no requieran agua de muy buena calidad como son: riego, llenado de lagos; proceso de enfriamiento industrial, lavado de autos, evacuación de WC, etc.

Otro beneficio del tratamiento de aguas residuales, es la -- disminución del grado de contaminación de suelos y cuerpos de agua, en donde regularmente se descargan las aguas residuales.

BIBLIOGRAFIA:

- Descripción de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ciudad Universitaria.
Instituto de Ingeniería (UNAM)
Proyecto 1341
- Planta de Tratamiento de Aguas Negras para la Ciudad Universitaria.
Instituto de Ingeniería (UNAM)
Proyecto 7032
- Informes de Actividades de la Compañía IDDECSA (Operadora de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de C.U.) Desde noviembre de 1982 hasta julio de 1983
- Agrometeorología
Edmundo Torres Ruiz
Editorial Diana México
- Hidrología
Instituto de Ingeniería (UNAM)
Dr. Rolando Springall G.
- Contaminación de Aguas
Facultad de Ingeniería (UNAM)
M. en I. Ernesto Murguía Vaca
- Proyecto de la Red de Riego por Aspersión para las Áreas Verdes de Ciudad Universitaria.
Ing. Francisco Garza Maldonado

- Apuntes de la Cátedra de Contaminación de Aguas,
Impartida por el Dr. Raúl Cuéllar Chávez en la
Facultad de Ingeniería (UNAM)