

APOYO EN EL PROCESO DE AVANCE DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL
PARA LA UNIDAD NAVAL “EL MORRO” DE LA DIRECCIÓN GENERAL
MARÍTIMA – DIMAR (TUMACO, NARIÑO)

Presentado por
NICOLÁS ERNESTO MUÑOZ



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2011

APOYO EN EL PROCESO DE AVANCE DEL PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL
PARA LA UNIDAD NAVAL “EL MORRO” DE LA DIRECCIÓN GENERAL
MARÍTIMA – DIMAR (TUMACO, NARIÑO)

Presentado por:
NICOLÁS ERNESTO MUÑOZ

Trabajo en la modalidad de pasantía para optar al título de Ingeniero Ambiental

Director:
Ecólogo MSc. WILSON ANDRÉS BETANCOURT V.

Co – Director:
Ing. MSc. GUILLERMO CHAUX FIGUEROA

Co – Director DIMAR – CCCP:
Ing. MSc. MILTON PUENTES GALINDO



UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
GRUPO DE INVESTIGACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL
POPAYÁN
2011

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
2. JUSTIFICACIÓN	14
3. OBJETIVOS	16
3.1 OBJETIVO GENERAL:.....	16
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	16
4. MARCO DE REFERENCIA	17
4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA.....	17
4.2 DESCRIPCIÓN ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”	17
4.3 MARCO LEGAL.....	18
4.4 MARCO TEÓRICO.....	20
4.4.1 El agua en Colombia	20
4.4.2 Ahorro y uso eficiente del agua – AYUEDA	20
4.4.3 Captación de aguas lluvias.....	21
4.4.4 Análisis DOFA	22
4.5 REQUISITOS PREVIOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS	23
4.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	24
4.6.1 Superficie de captación	24
4.6.2 Canales y bajantes (Sistema de conducción).....	25
4.6.3 Cribado	27
4.6.4 Interceptor de las primeras aguas	28
4.6.5 Tanque de almacenamiento	31
4.6.6 Distribución.....	32
5. METODOLOGÍA	34
6. DIAGNÓSTICO	36
6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS DENTRO DEL ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”	36
6.2 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA	37
6.2.1 Ubicación de los pozos.....	37
6.3 ALMACENAMIENTO	38
6.4 EQUIPOS Y DISPOSITIVOS QUE CONSUMEN AGUA.....	39
6.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
6.5.1 Precipitación	40

7. PROGRAMA PARA EL AHORRO Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”	42
7.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES	42
7.2 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA	43
7.3 DETERMINACIÓN DE COSTOS POR ABASTECIMIENTO	44
7.4 ANÁLISIS DOFA	46
7.5 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS	47
7.6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL AHORRO PROPUESTO	48
7.6.1 Ahorro de agua	48
7.6.2 Ahorro de capital	51
7.7 Inversión requerida	52
7.8 PLAN OPERATIVO	53
7.8.1 Campañas de sensibilización y educación al personal y a visitantes en el tema de ahorro y uso eficiente del agua	53
7.8.2 Implementación de alternativas de ahorro de agua con elementos de bajo consumo. Instalar dispositivos ahorradores de agua en grifos y duchas	54
7.8.3 Acondicionamiento de las unidades que consumen agua existentes con alternativas que permitan ahorro del recurso	55
7.8.4 Reportar y reparar periódicamente fugas y escapes en la red gracias a un programa de mantenimiento preventivo y correctivo	56
7.8.5 Mantenimiento del sistema de aguas residuales existente	57
7.8.5.1 Trampa de grasas	57
7.8.5.2 Tanque séptico	57
7.8.6 Implementación de dispositivos medidores de agua	59
8. PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA BASE NAVAL	60
8.1 ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA	60
8.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL	61
8.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO	62
8.3.1 Determinación de la demanda de agua	62
8.3.2 Determinación del volumen de agua captada (oferta de agua)	63
8.3.2.1 Oferta acumulada	64
8.3.2.2 Demanda acumulada	64
8.3.3 Volumen de almacenamiento	65
8.3.3.1 Volumen de almacenamiento subsistema 1	66
8.3.3.2 Volumen de almacenamiento subsistema 2	68

8.3.4 Volumen del interceptor de las primeras aguas	70
8.3.5 Determinación del área requerida para el filtro.....	71
8.3.6 Sistema de conducción	73
8.3.6.1 Determinación del caudal de diseño en la canaleta.....	73
8.3.6.2 Selección de la canaleta a utilizar.....	74
8.3.7 Sistema de distribución	77
8.3.7.1 Caudal de bombeo (caudal máximo posible).....	78
8.3.7.2 Cálculo del diámetro de la tubería de succión	80
8.3.7.3 Cálculo del diámetro de la tubería de descarga o impulsión	81
8.3.7.4 Cálculo de pérdidas por fricción.....	82
8.3.7.5 Carga dinámica total de la bomba (CTD) ó Altura dinámica total	86
8.3.7.6 Potencia hidráulica de la bomba.....	90
8.3.7.7 Potencia eléctrica de la bomba.....	90
8.4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	91
8.4.1 Costos aproximados de construcción de tanques y filtros	91
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	95

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Normatividad recurso hídrico	18
Tabla 2. Tipo de estrategias	22
Tabla 3. Puntuación de incidencias	23
Tabla 4. Coeficientes de esorrentía	24
Tabla 5. Edificios y actividades donde hay consumo de agua.....	36
Tabla 6. Características de lo pozos.....	38
Tabla 7. Especificaciones de las electrobombas	38
Tabla 8. Tanques de almacenamiento.....	38
Tabla 9. Equipos y dispositivos.....	39
Tabla 10. Datos de precipitación (1980 – 2009) en mm.	41
Tabla 11. Determinación de caudales.....	42
Tabla 12. Datos de consumo por equipo sin dispositivo de ahorro.....	43
Tabla 13. Costo unitario de prestación del servicio de los últimos meses	44
Tabla 14. Costo por operación de las electrobombas.....	45
Tabla 15. Listado de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas	46
Tabla 16. Matriz D.O.F.A.	47
Tabla 17. Planteamiento de estrategias.....	48
Tabla 18. Datos de consumo por equipo con dispositivo de ahorro	49
Tabla 19. Comparación de consumos de agua sin la instalación de dispositivos de ahorro y con la instalación de los mismos.	50
Tabla 20. Costo de los dispositivos y equipos ahorradores	52
Tabla 21. Costos de implementación.....	52
Tabla 22. Área de captación disponible	60
Tabla 23. Componentes del Subsistema 1:	60
Tabla 24. Componentes del subsistema 2:.....	60
Tabla 25. Precipitación promedio mensual Ppi (mm)	61
Tabla 26. Dotación neta mínima y máxima.....	63
Tabla 27. Dotación de agua.....	63
Tabla 28. Determinación del volumen de almacenamiento del sistema	65
Tabla 29. Datos subsistema 1	66
Tabla 30. Volumen modificado subsistema 1	68
Tabla 31. Dimensiones tanque 1	68
Tabla 32. Datos subsistema 2	68
Tabla 33. Volumen de almacenamiento subsistema 2	69
Tabla 34. Dimensiones tanque 2	70

Tabla 35. Volumen tanque interceptor	70
Tabla 36. Área de filtros	72
Tabla 37. Área definitiva de filtros	73
Tabla 38. Dimensionamiento de los filtros	73
Tabla 39. Coeficientes de rugosidad de Manning	75
Tabla 40. Dimensiones canaleta comercial de PVC	75
Tabla 41. Caudales de diseño de canaletas	76
Tabla 42. Número de canaletas por subsistema	77
Tabla 43. Número de bajantes por subsistema	77
Tabla 44. Unidades de consumo por aparato sanitario	78
Tabla 45. Determinación de unidades de gasto (UG)	79
Tabla 46. Caudales de bombeo	80
Tabla 47. Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos	80
Tabla 48. Diámetro de la tubería de succión	81
Tabla 49. Diámetro de la tubería de impulsión	81
Tabla 50. Coeficiente de Hazen – Williams	82
Tabla 51. Pérdida de carga unitaria para cada subsistema	82
Tabla 52. Longitudes equivalentes a pérdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido). (Azevedo N., J. y Acosta A., G. 1975)	83
Tabla 53. Accesorios para el sistema de bombeo	85
Tabla 54. Longitudes equivalentes para cada subsistema	85
Tabla 55. Pérdidas por fricción en tubería de succión	85
Tabla 56. Pérdidas por fricción en tubería de impulsión	86
Tabla 57. Pérdidas por altura sobre el nivel del mar	87
Tabla 58. Pérdidas por temperatura	87
Tabla 59. Altura máxima de succión para cada subsistema	88
Tabla 60. Cálculo de la altura dinámica de succión	89
Tabla 61. Cálculo de la altura dinámica de impulsión - ADI	89
Tabla 62. Cálculo de la Altura Dinámica Total - ADT	90
Tabla 63. Determinación de la potencia para cada subsistema	90
Tabla 64. Volumen de concreto para cada tanque de almacenamiento	91
Tabla 65. Costos de construcción de los tanques de almacenamiento	91
Tabla 66. Volumen de concreto para cada filtro	91
Tabla 67. Costos de construcción de los filtros	91
Tabla 68. Costos (aproximados) de implementación del sistema	92

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Componentes de un sistema de captación de aguas lluvias	22
Figura 2, Relación tamaño – superficie.....	26
Figura 3. Tipos de canaletas.....	27
Figura 4. Sistema de rejillas.....	28
Figura 5. Interceptor de las primeras aguas	29
Figura 6. Sistema de intercepción y almacenamiento conjugado	30
Figura 7. Tanque de almacenamiento en plástico	32
Figura 8. Logo comité ambiental.....	54
Figura 9. Ahorro de agua en sanitarios convencionales	56
Figura 10. Área de captación necesaria subsistema 1	67
Figura 11. Área de captación necesaria subsistema 2	69
Figura 12. Sistema de intercepción y almacenamiento	71
Figura 13. Accesorios en un sistema de bombeo	84

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. Distribución y ubicación actual de tanques y pozos	98
ANEXO B. Elementos de difusión (avisos ambientales)	99
ANEXO C. Distribución y ubicación de los edificios	100
ANEXO D. Accesorios sanitarios y dispositivos economizadores	101
ANEXO E. Especificaciones de los techos en el subsistema 1	105
ANEXO F. Especificaciones de los techos en el subsistema 2.....	106
ANEXO G. Formato de mantenimiento y reparación de fugas	107

INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso vital en la naturaleza distribuida en su gran mayoría en los mares y océanos con aproximadamente el 96%, mientras que el agua dulce se encuentra en un 4%, de los cuales tan solo el 1% corresponde al agua superficial (ríos y lagunas) y el restante 3% en glaciares, casquetes polares, masas de hielo y nevados.

Como se puede observar en comparación con el agua salada, el agua dulce que puede ser utilizada para consumo humano es mínima. Sumado a esto se presentan los problemas ambientales relacionados con residuos sólidos y líquidos que son arrojados a los cuerpos de agua que contaminan el recurso, por lo que se hace cada vez y más importante su cuidado y conservación.

Los seres humanos desde un principio han utilizado los recursos que tienen a su alrededor para aprovecharlos y obtener de ellos un bien o un servicio con el propósito de satisfacer alguna necesidad. Esto ha sido fundamental para el desarrollo que se ha alcanzado hasta la actualidad. Sin embargo, todas estas actividades realizadas por el hombre, llevan inmerso un impacto al ambiente, ya sea positivo o negativo y de diferentes magnitudes.

Es aquí donde es necesaria la realización de estudios para determinar en qué grado se está alterando el ambiente, la salud y bienestar humanos para poder establecer medidas que permitan minimizar las actividades causantes de dichos impactos. Con el fin de disminuir los impactos generados se realizan planes, programas y proyectos para lograr una adecuada gestión ambiental.

Un programa de Gestión Ambiental pretende encontrar respuestas adecuadas a los problemas suscitados en la relación de la sociedad y la naturaleza. Para ello, emprende acciones tendientes a generar y rescatar conocimientos; monitorear las incidencias de las políticas públicas sobre la población (especialmente, hombres y mujeres pobres del área rural) y los recursos del territorio, y sistematizar las experiencias para la construcción del modelo de desarrollo alternativo a que aspira la sociedad (Red de desarrollo sostenible, 2002).

Uno de los procesos que se puede aplicar a cualquier empresa para una adecuada gestión ambiental es la elaboración e implementación de Programas de Ahorro y Uso Eficiente del Agua (AYUEDA), con los cuales se busca la reducción o prevención de pérdida del agua en cualquier actividad que sea de beneficio para la sociedad (CCCP, 2002).

Comprometidos con el cuidado del ambiente, en los últimos años se han venido desarrollando al interior de la Dirección General Marítima (DIMAR) y en especial en el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) varios proyectos que involucran la participación de estudiantes universitarios en la modalidad de pasantía o práctica académica para cumplir con el objetivo de minimizar los impactos generados al medio por las actividades propias de la institución. Es así como en el año 2007 se diseñó el Plan de Manejo Ambiental para las unidades presentes en la base naval de “El Morro” y en el año 2009 retomando este proceso se elaboró el Plan de Gestión Ambiental 2010 – 2011 para la base naval. Adicionalmente, en el mismo año, mediante la directiva permanente 007 se dio paso al desarrollo del Plan de Manejo Ambiental al interior de la DIMAR. Es importante la gestión que viene adelantando la DIMAR en su sede central, mediante la exigencia de planes ambientales, con el fin de mejorar la calidad vida de los trabajadores y preservar el ambiente.

Continuando con este proceso para la base naval, en este trabajo se realizaron actividades de apoyo mediante la elaboración de un programa de ahorro y uso eficiente del agua, y de una propuesta técnico económica para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias, con la colaboración del personal presente en la base, mostrando diferentes alternativas que permitan disminuir el consumo y generen una cultura de cuidado del agua tanto en el personal que labora normalmente así como de los visitantes de las instalaciones.

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Área Naval de “El Morro” se encuentran el Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP) y la Capitanía de Puerto de Tumaco (CP02), pertenecientes a la DIMAR, además de la Estación de Guardacostas de Tumaco (EGUT) de la Armada Nacional, encargadas de ejecutar las funciones propias de las dos entidades en esta zona del país. Adicionalmente, el Área naval cuenta con dos módulos habitacionales para CCCP y EGUT, con cafeterías en algunas de las unidades, y con un restaurante y un lugar de esparcimiento (cámara general “La Ensenada”) para toda la base.

El agua para consumo humano es captada de diferentes pozos distribuidos en toda la base, que según análisis de laboratorio realizados presentan contaminación microbiológica por infiltración en los mismos de aguas residuales en pozos cercanos, los cuales no tienen un funcionamiento adecuado ni se les realiza un mantenimiento periódico. Además el agua subterránea captada presenta elevada turbidez y concentración de hierro, por lo que los habitantes de la base sufren continuos problemas de salud debidos a su consumo.

Otro de los problemas encontrados es la falta de una cultura de ahorro de agua por parte de los habitantes y visitantes de la base naval, sumado a la inexistencia de dispositivos ahorradores como sanitarios que sean de baja descarga, por lo que se generan grandes consumos del vital recurso. De igual manera, no existe en la base ningún sistema que permita realizar una medición concreta de la cantidad de agua que se consume.

Teniendo en cuenta esta problemática y continuando con el proceso de Gestión Ambiental de la Dirección General Marítima (DIMAR) es necesaria la implementación de las medidas ambientales propuestas en el PGA 2010 – 2011 para el Área Naval de “El Morro” con el fin de reducir la afectación que se genera al medio. Algunas de las medidas que se presentan son: una propuesta para el manejo integral de residuos sólidos, la creación de un programa para el ahorro y uso eficiente del agua, realización de trámites para la obtención de permisos de concesión de aguas subterráneas, entre otras.

Debido al bajo presupuesto que se tiene para la ejecución de las medidas formuladas, se busca la creación de programas y proyectos que sean de bajo costo y de fácil implementación teniendo en cuenta las alternativas propuestas en

el PGA que lleven a la reducción de los impactos generados. Con la implementación de estos programas se busca además que la empresa se posicione bien en cuanto al cumplimiento de la normatividad ambiental vigente, que se genere una buena imagen de la misma ante la comunidad en general y que se dé cumplimiento a las directivas internas establecidas en cuanto al tema ambiental.

2. JUSTIFICACIÓN

En la directiva permanente **No 007 DIMAR-DILEM-534 Plan de Manejo Ambiental al interior de DIMAR** se definen los componentes generales del Plan de Manejo Ambiental al Interior de DIMAR - PMAD, teniendo como fundamento la metodología de un Sistema de Gestión Ambiental - SGA basado en la NTC ISO 14000.

De esta manera se establece la siguiente Política Ambiental al interior de la DIMAR: *“La Dirección General Marítima, promueve la prevención de la contaminación y el uso racional y eficiente de los recursos naturales, a través de un compromiso de manejo adecuado en todas las actividades y de la implementación de planes y lineamientos orientados a la reducción de residuos sólidos, emisiones y vertimientos en general. Lo anterior enmarcado dentro de las políticas del gobierno nacional y la política de calidad de la Entidad”¹.*

Después de cuatro meses de investigación, recopilación y actualización de la información sobre la gestión ambiental en el Área Naval de “El Morro”, la Dirección General Marítima - Centro Control Contaminación del Pacífico (DIMAR-CCCP) y el programa de Administración Ambiental de la Universidad Tecnológica de Pereira, desarrollaron el Plan de Gestión Ambiental (PGA) 2010 – 2011 para las unidades ubicadas en dicha área. El PGA se desarrolló en tres etapas: la primera correspondió a la actualización y recopilación de la información ambiental de las unidades ubicadas en el Área Naval de “El Morro” en Tumaco y sus respectivas edificaciones; la segunda etapa se basó en la identificación de los impactos negativos para la salud humana y el ambiente generados en el área naval, y mediante la información recopilada de las unidades se priorizaron los impactos con el fin de determinar los más significativos. Posteriormente, durante la tercera etapa se plantearon soluciones de mitigación o erradicación de los impactos negativos hallados².

Como paso a seguir en el desarrollo de la Gestión Ambiental por parte de la entidad, es necesario realizar la implementación de las diversas alternativas propuestas en el Plan de Gestión Ambiental 2010 – 2011 para el Área Naval de “El Morro”. Actualmente la base naval no cuenta con los recursos suficientes para

¹ Directiva permanente No 007 DIMAR-DILEM-534 Plan de Manejo Ambiental al interior de DIMAR. Dirección General Marítima. [Documento interno].

² *Ibíd.* p. 5

realizar dicha implementación, siendo necesaria la formulación de medidas que se enfoquen en lo que se plantea dentro del PGA, pero que sean de bajo costo y de fácil ejecución.

Es así que en el desarrollo de esta práctica académica se realizó el planteamiento de algunos programas enfocados dentro de las actividades propuestas en el PGA basados en los principios del ciclo PHVA, entre ellas la propuesta técnico económica para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias y un programa para el ahorro y uso eficiente del agua.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL:

Apoyar en el proceso de avance de algunas de las alternativas propuestas en el Plan de Gestión Ambiental del Área Naval de “El Morro” 2010 – 2011 de la DIMAR – CCCP en lo que al medio hídrico se refiere.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Formular una propuesta técnico económica para el ahorro y el uso eficiente del agua (AYUEDA) en el área naval de “El Morro”.
- ✓ Generar un estudio de factibilidad para la captación y aprovechamiento de aguas lluvias como fuente de abastecimiento en el Área Naval mediante la selección de estrategias viables.
- ✓ Realizar un ciclo de conferencias informativas en cuanto a los programas implementados o propuestos, al personal que labora en el Área Naval de “El Morro”.

4. MARCO DE REFERENCIA

4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA EMPRESA

La Dirección General Marítima, es la autoridad marítima nacional que ejecuta la política del gobierno en materia marítima y tiene por objeto la dirección, coordinación y control de las actividades marítimas en los términos que señala el Decreto Ley 2324 de 1984 y los reglamentos que se expiden para su cumplimiento, promoción y estímulo del desarrollo marítimo del país (DIMAR, 2009).

La Estación de Guardacostas de Tumaco - EGUT, cumple operaciones marítimas y fluviales para salvaguardar la vida humana y brindar protección a la población civil de Tumaco.

El Centro Control Contaminación del Pacífico (ahora Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico), CCCP, es una dependencia orgánica de la Dirección General Marítima, DIMAR, creada con el fin de apoyar sus esfuerzos de gestión en lo concerniente al campo científico y tecnológico de investigación marina aplicada. El CCCP cuenta con 25 años de experiencia en las modalidades de pasantía como requisito académico, pasantía conducente a trabajo de grado, prácticas empresariales voluntarias y pasantías como labor social, desarrollando proyectos de investigación, y en general apoyando las actividades de la Autoridad Marítima en el Pacífico colombiano (DIMAR, 2009).

4.2 DESCRIPCIÓN ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”

El Área Naval de “El Morro” se encuentra localizada en el puerto de Tumaco que está ubicado al sur de la Costa Pacífica y pertenece al departamento de Nariño, tiene una temperatura promedio de 27°C, mínima 22°C y máxima de 32°C, su población es aproximadamente de 150 habitantes³. Las instalaciones tienen un área aproximada de 700 metros cuadrados. El área total del terreno es de 60 hectáreas, incluyendo la zona de reserva (manglar)⁴.

³ Portal de Información Turístico: Tumaco Perla del Pacifico (2006). [En línea]. Disponible en: <http://www.tumaco.net/html/index.php>

⁴ DIMAR – Portal marítimo colombiano. Localización geográfica. Disponible en: <http://www.dimar.mil.co/VbeContent/newsdetailmore.asp?id=378&idcompany=57&comments=comm>

Dentro de la base están localizadas las instalaciones del Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico (CCCP), la Capitanía de Puerto de Tumaco (CP02) y la Estación de Guardacostas de Tumaco (EGUT), cada una de estas dependencias en un edificio independiente. Además, el área cuenta con dos módulos habitacionales para el personal de CCCP/CP02 y EGUT, y con un edificio en donde se presta el servicio de restaurante y se encuentra la cámara general.

El agua para consumo humano de toda la base naval es captada de diferentes pozos de agua subterránea, pero ninguno de ellos cuenta con un permiso de concesión expedido por la entidad ambiental competente, en este caso la Corporación Autónoma Regional de Nariño (CORPONARIÑO). El agua es distribuida a las unidades mediante la operación de electrobombas en cada uno de los pozos y tanques de almacenamiento. De igual manera, no existe en la base ningún equipo que permita realizar una medición concreta de la cantidad de agua que se consume (contadores).

4.3 MARCO LEGAL

A continuación se presenta un cuadro resumen de la normatividad colombiana aplicable al recurso agua.

Tabla 1. Normatividad recurso hídrico

NORMA	DESCRIPCIÓN
Decreto 2811 de 1974	Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente
Decreto 1541 de 1978	Por el cual se reglamenta la parte III del libro II del Decreto Ley 2811 de 1974; «De las aguas no marítimas» y parcialmente la Ley 23 de 1973.
Decreto 2858 de 1981	Por el cual se reglamenta parcialmente el Artículo 56 del Decreto Ley 2811 de 1974 y se modifica el Decreto 1541 de 1978.
Decreto 1594 de 1984	Por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos.

Tabla 1. (Continuación)

NORMA	DESCRIPCIÓN
Resolución 273 de 1997	Por la cual se fijan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos para los parámetros Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅) y sólidos suspendidos totales (SST).
Ley 373 de 1997	Por la cual se establece el programa de ahorro y uso eficiente del agua.
Decreto 901 de 1997	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se establecen las tarifas de estas.
Resolución 372 de 1998	Por la cual se actualizan las tarifas mínimas de las tasas retributivas por vertimientos líquidos y se dictan disposiciones.
Resolución 081 de 2001	Por la cual se adopta un formulario de información relacionada con el cobro de la tasa retributiva y el estado de los recursos y se adoptan otras determinaciones.
Decreto 155 de 2004	Por el cual se reglamenta el artículo 43 de la Ley 99 de 1993 sobre tasas por utilización de aguas y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 3100 de 2003	Por medio del cual se reglamentan las tasas retributivas por la utilización directa del agua como receptor de los vertimientos puntuales y se toman otras determinaciones.
Decreto 1200 de 2004	Por el cual se determinan los instrumentos de planificación ambiental y se adoptan otras disposiciones.
Resolución 0865 de 2004	Por la cual se adopta la metodología para el cálculo del índice de escasez para aguas superficiales a que se refiere el decreto 155 de 2004 y se adoptan otras disposiciones.
Decreto 1575 de 2007	Por el cual se establece el Sistema para la Protección y Control de la Calidad del Agua para Consumo Humano.
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano

Fuente: Elaboración propia

4.4 MARCO TEÓRICO

4.4.1 El agua en Colombia

Colombia es considerado como uno de los países mega diversos del planeta, ya que contiene entre el 10% y el 15% de la diversidad global con tan solo 0.77% de la superficie continental mundial. Su rendimiento hídrico promedio se calcula en 60L/s/Km², siendo éste seis veces mayor que el rendimiento promedio continental mundial y tres veces el rendimiento promedio de Sudamérica (INVEMAR, 2004).

Muchos de los sistemas hídricos que actualmente abastecen a la población colombiana evidencian una vulnerabilidad alta para mantener su disponibilidad de agua. Según los estimativos generales para condiciones hidrológicas medias, cerca del 50% de la población de las áreas urbanas municipales está expuesta a sufrir problemas de abastecimiento de agua a causa de las condiciones de disponibilidad, regulación y presión que existen sobre los sistemas hídricos que las atienden (IDEAM, 2000).

Sólo en algunos casos de comunidades con problemas de abastecimiento de agua potable se utilizan sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia, la mayoría de ellos son poco tecnificados lo cual ocasiona una baja calidad en el agua y baja eficiencia de los sistemas (Ballén *et al.*, 2006).

4.4.2 Ahorro y uso eficiente del agua – AYUEDA

Los programas de ahorro y uso eficiente del agua se basan en las estrategias de producción mas limpia PML, las que a su vez se encuentran enmarcadas dentro del esquema de mejoramiento continuo: Planear – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA). En la Guía de ahorro y uso eficiente del agua, del Ministerio del Medio Ambiente, publicada en el 2002, se establecen las estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua (AYUEDA) (MINAMBIENTE, 2002).

El uso eficiente no sólo aporta beneficios al sistema que lo efectúa, también significa mejoras para otros usuarios. Por ejemplo, el ahorro del líquido en zonas habitacionales implica una menor explotación de ríos y acuíferos, una mejor calidad del agua, una menor necesidad de obras nuevas (y menores cargas de impuestos); además, al reducirse los consumos, hay menos agua residual, menos

necesidad de obras de drenaje, más facilidad de tratamiento y menos riesgo de contaminación de los cuerpos receptores. Para que todo programa de uso eficiente del agua tenga éxito, debe contar con la participación ciudadana, y para ello es indispensable establecer acciones de comunicación y educación (Grisham y Flemming, 1989).

Entre las principales medidas para efectuar un ahorro en cualquiera que sea la actividad, se encuentran los dispositivos ahorradores y economizadores de agua, ya sea en equipos nuevos, o como aditamentos para las unidades existentes.

4.4.3 Captación de aguas lluvias

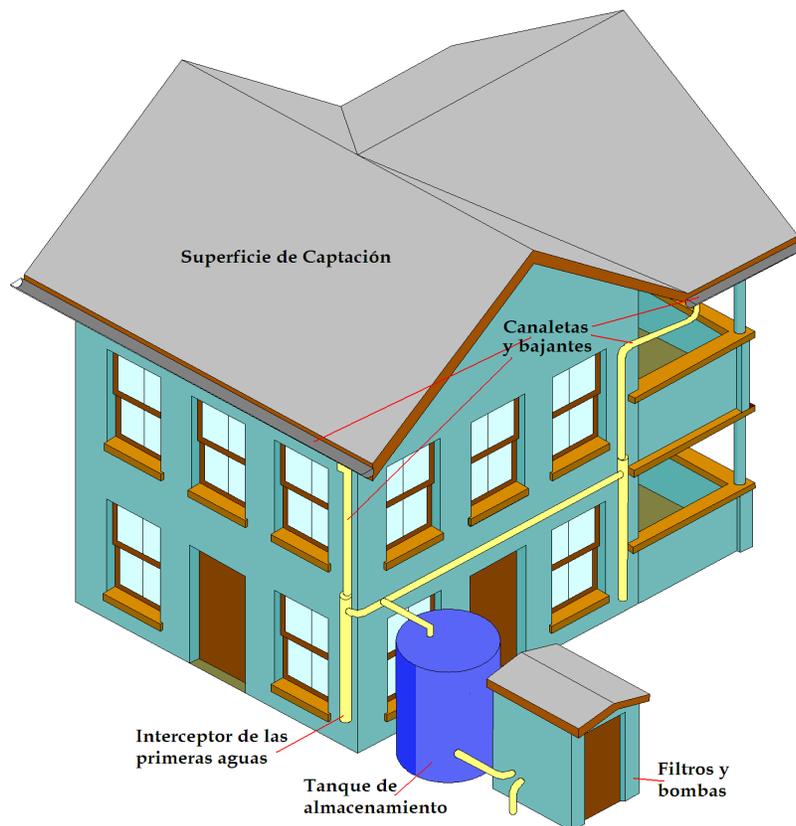
La captación de agua de lluvia es un medio fácil de obtener agua para consumo humano. En muchos lugares del mundo con alta o media precipitación y en donde no se dispone de agua en cantidad y calidad necesaria para consumo humano, se recurre al agua de lluvia como fuente de abastecimiento. Diferentes formas de captación de agua de lluvia se han utilizado tradicionalmente a través de la historia de las civilizaciones; pero estas tecnologías sólo se han comenzado a estudiar y publicar recientemente (CEPIS, 2001).

El agua de lluvia recolectada es una fuente renovable de agua limpia que es ideal para usos domésticos y paisajísticos. Los sistemas de acopio de agua ofrecen soluciones flexibles que efectivamente pueden satisfacer las necesidades de los sitios nuevos y existentes, así como de sitios pequeños y los de gran tamaño. El uso de un sistema de aprovechamiento del agua es un proceso continuo que se puede desarrollar con el tiempo (Abdulla *et al.*, 2008).

Los componentes principales de un sistema de captación son: una superficie de captación, canales y bajantes, interceptor de las primeras aguas, tanque de almacenamiento y sistema de tratamiento (Krishna, 2005). En la figura 1 se presenta un esquema de los principales componentes de un sistema de captación.

Es necesario que el agua retenida y destinada al consumo directo de las personas sea tratada antes de su consumo. El tratamiento debe estar dirigido a la remoción de las partículas que no fueron retenidas por el dispositivo de intercepción de las primeras aguas, y en segundo lugar al acondicionamiento bacteriológico (CEPIS, 2001).

Figura 1. Componentes de un sistema de captación de aguas lluvias



Fuente: Modificado The Texas Manual on Rainwater Harvesting

4.4.4 Análisis DOFA

Este tipo de análisis permite identificar los factores internos y externos de la empresa con el fin de establecer estrategias que permitan el avance de la organización buscando un desarrollo sostenible.

Consiste en realizar un listado de las fortalezas y amenazas internas, así como de las oportunidades y debilidades externas a la entidad, que luego se van a interrelacionar en una matriz para establecer la incidencia que tengan entre si.

Tabla 2. Tipo de estrategias

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
FORTALEZAS	Estrategias FO (potencialidades): Usar las fortalezas internas para tomar ventaja de las oportunidades externas.	Estrategias FA (riesgos): Usar las fortalezas de la empresa para evitar o reducir el impacto de las amenazas.

Tabla 2. (Continuación)

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
DEBILIDADES	Estrategias DO (desafíos): mejorar las debilidades internas para tomar ventaja de las oportunidades externas	Estrategias DA (limitaciones): técnicas defensivas con el fin de reducir las debilidades internas evitando las amenazas del entorno.

Fuente: Dimensión estratégica. Juan de Dios Salas

En la siguiente tabla se muestra la puntuación de incidencias o impactos que pueden tener entre si los diferentes factores internos y externos identificados.

Tabla 3. Puntuación de incidencias

PUNTUACIÓN	INCIDENCIA
0	Ninguna
1	Baja
2	Media
3	Alta
4	Muy alta

4.5 REQUISITOS PREVIOS PARA LA CAPTACIÓN DE AGUAS LLUVIAS

Entre las especificaciones técnicas para la captación de agua lluvia para consumo humano se tienen los siguientes requisitos previos (CEPIS, 2003):

- El diseño del sistema de captación de agua lluvia con fines de abastecimiento de agua debe estar basado en los datos de precipitación mensual de por lo menos diez (10) años.
- La oferta de agua lluvia se debe determinar a partir del promedio mensual de las precipitaciones correspondientes al periodo de años analizados.
- La demanda de agua para diseño de sistemas de captación de agua lluvia debe considerar un mínimo de cuatro (4) litros de agua por persona/día para ser destinada solamente a la bebida, preparación de alimentos e higiene bucal.

4.6 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

4.6.1 Superficie de captación

A la hora de realizar un proyecto de captación de aguas lluvias, el techo de cualquiera de las edificaciones existentes es la primera opción obvia para ser utilizado como superficie de captación.

Para una capacidad adicional, se pueden construir estructuras adicionales como por ejemplo un granero abierto por los lados llamado granero de lluvia o granero polo, bajo el cual es posible ubicar tanques de agua y otros equipos del sistema, tales como bombas y filtros, así como vehículos, bicicletas y herramientas de jardinería.

La calidad de agua proveniente de las diferentes superficies de captación es una función del tipo de material del techo, las condiciones climáticas y su entorno (Vasudevan, 2002).

Los materiales más comunes para la elaboración de techos son láminas de zinc, láminas de aluminio, tejas de barro, madera y paja. El coeficiente de rugosidad o escorrentía es una característica que depende del material de construcción de la superficie, y establece qué porcentaje de la precipitación puede ser captado de la superficie en específico.

Tabla 4. Coeficientes de escorrentía

Material	Coeficiente
Lámina metálica	0.9
Tejas de arcilla	0.8 - 0.9
Madera	0.8 - 0.9
Paja	0.6 - 0.7

Fuente: CEPIS. Guía de diseño para la captación de aguas lluvias. Lima. 2001

4.6.2 Canales y bajantes (Sistema de conducción)

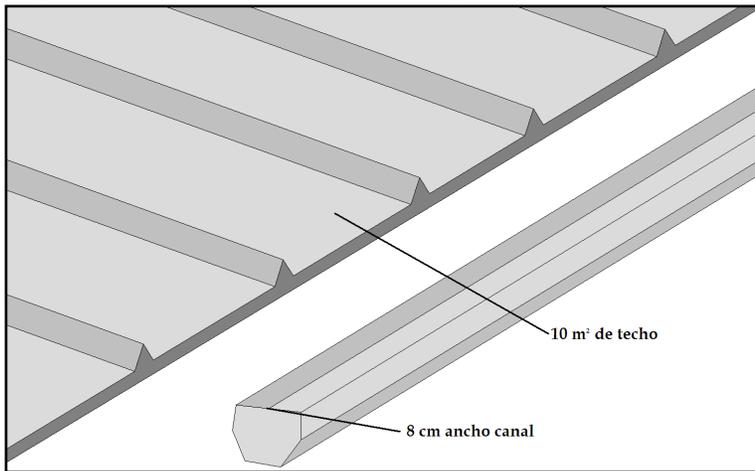
El sistema de conducción se refiere al conjunto de canaletas o tuberías de diferentes materiales y formas que conducen el agua de lluvia del área de captación al sistema de almacenamiento a través de bajadas con tubo de PVC (Martínez Hernández, 2000).

Las canaletas se instalan alrededor de los edificios en la parte final de cada techo para capturar el agua lluvia que cae por los aleros. Los materiales más comunes para canales de media caña y bajantes son de PVC, vinilo, tuberías de aluminio sin soldadura y acero galvanizado. Los canales de aluminio sin soldadura suelen ser instalados por profesionales, y por lo tanto, son más costosos que otras opciones.

Especificaciones de diseño (CEPIS,2003):

- El ancho mínimo de la canaleta será de 75 mm y el máximo de 150 mm.
- Las canaletas deben estar fuertemente adosadas a los bordes más bajos del techo.
- El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta.
- La distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte mas baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- El máximo tirante de agua en las proximidades del interceptor no deberá ser mayor al 60% de la profundidad efectiva de la canaleta.
- La velocidad de agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1.00 m/s.
- Para calcular la capacidad de conducción de la canaleta se podrán emplear fórmulas racionales como la de Manning con sus correspondientes coeficientes de rugosidad, acordes con la calidad física del material con que fue construida la canaleta.
- Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y lo mas lisas posibles para evitar el represamiento de agua.

Figura 2, Relación tamaño – superficie



Fuente: CEPIS, 2003

El tamaño de la canaleta debe estar en relación con la superficie de cubierta que desagua. Se calcula una sección de 0.8 cm^2 por cada m^2 de cubierta.

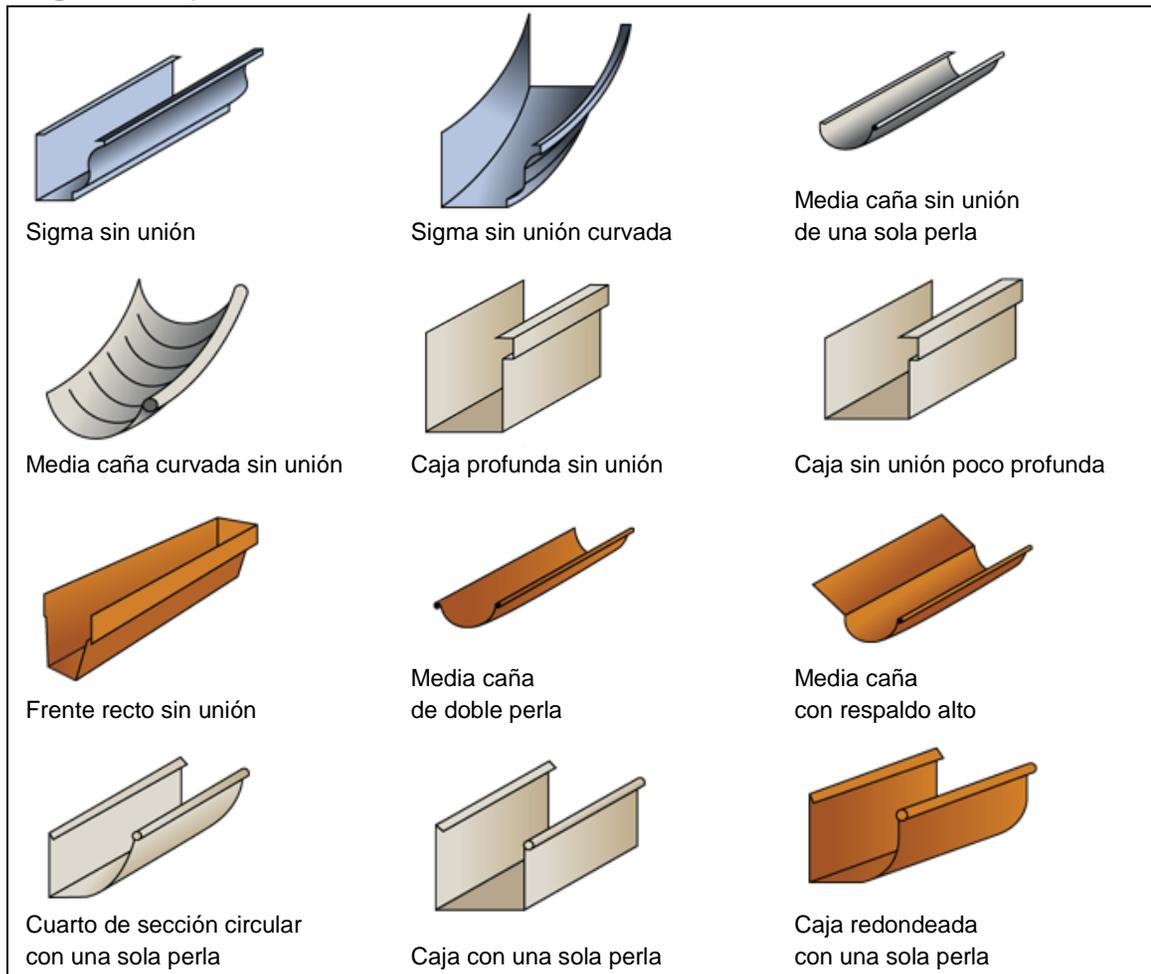
Para sistemas de agua potable, el plomo no se puede utilizar en la soldadura del canal, como sucede a veces con los canales de metal viejos. La calidad ligeramente ácida de la lluvia podría disolver el plomo y por lo tanto contaminar el suministro de agua.

Dependiendo del tamaño de la superficie de captación, de la inclinación de los mismos y la intensidad de las precipitaciones, se debe realizar el diseño de los canales para que no se presenten rebosamientos o fugas en los mismos.

Otros factores que pueden dar lugar a rebosamiento de los canales incluyen un número inadecuado de bajantes, distancias demasiado largas desde la cresta del techo hasta el alero, pendientes pronunciadas del tejado y un inadecuado mantenimiento de los canales.

Las canaletas deben ser instaladas con pendiente hacia la bajada de agua, además, la cara exterior de la cuneta debe ser inferior a la cara interior para estimular el drenaje lejos de la pared del edificio.

Figura 3. Tipos de canaletas



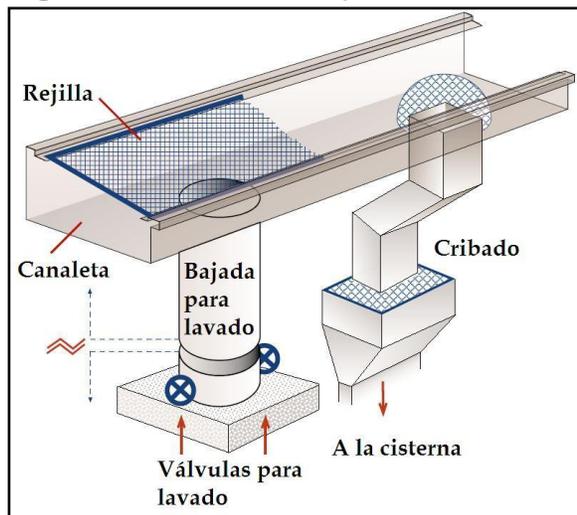
Fuente: Austin Gutters. Sf.

Un bajante comercial de PVC asegura la evacuación de hasta 150 m². Una bajante rectangular de PVC evacúa aproximadamente 120 m² de superficie, y las circulares de 3" y 2" aproximadamente 120 m² y 60 m² respectivamente.

4.6.3 Cribado

Para eliminar los residuos que se pueden recoger de la superficie de captación, y garantizar agua de alta calidad, ya sea para consumo humano o para riego, son necesarios una serie de filtros. En esencia, se busca eliminar los residuos tanto antes como después del tanque de almacenamiento. Para este cribado inicial se utilizan rejillas a lo largo de la cuneta o en el tubo de bajada, compuesto generalmente de pantallas de malla metálica de ¼ de pulgada.

Figura 4. Sistema de rejillas



Fuente: Guía CONAFOVI. Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales. México. 2005

Dependiendo de la cantidad de residuos que se generen (hojas de árboles generalmente) y de la acumulación de polvo, se debe buscar la forma más eficiente de realizar este cribado. Si no se realiza un mantenimiento adecuado, las rejillas se pueden obstruir e impedir que el agua lluvia fluya normalmente hacia los tanques. Los desechos también pueden contener bacterias que contaminan el agua, además de la consecuente adición de material orgánico por descomposición.

4.6.4 Interceptor de las primeras aguas

Conocido también como dispositivo de descarga de las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentran en el momento del inicio de la lluvia. Este dispositivo impide que el material indeseable ingrese al tanque de almacenamiento y de este modo minimiza la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente.

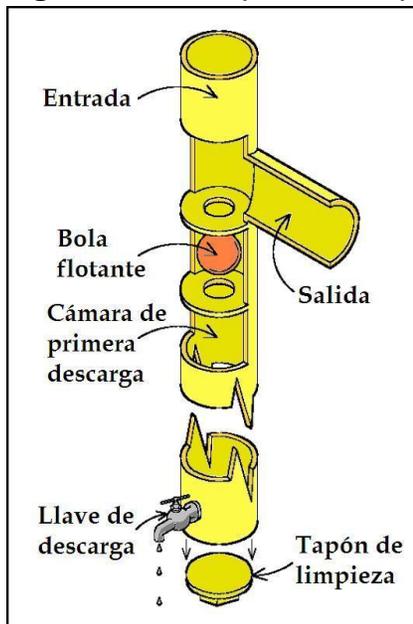
En el diseño del dispositivo se debe tener en cuenta el volumen de agua requerido para lavar el techo y que se estima en 1 litro por m^2 de techo, debido a que se necesita 1 mm de lluvia para lavar un metro cuadrado⁵.

⁵ TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, "Texas Guide to Rainwater Harvesting", Austin, Texas, 199

La forma mas simple de interceptor de las primeras aguas es un tubo vertical de PVC. La toma de agua se llena por primera vez durante un evento de lluvia, después de esta captura, el agua se dirige normalmente hacia el tanque, quedando retenidos los sólidos y partículas en el fondo del tubo. El interceptor se debe drenar continuamente a través de un orificio o dejando el cierre de rosca ligeramente suelto. En cualquier caso, la limpieza de la columna de alimentación se logra mediante la eliminación de la cubierta de PVC con una llave y la eliminación de los desechos recogidos después de cada evento de lluvia.

El interceptor más utilizado es el de válvula de bola, que consiste en una bola flotante que sella la parte superior de la tubería de desvío cuando se llega al nivel con la tubería que se dirige al tanque de almacenamiento.

Figura 5. Interceptor de las primeras aguas



Fuente: The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Austin, Texas. 2005

Una regla de oro para el dimensionamiento del interceptor consiste en desviar un mínimo de 10 galones por cada 1000 pies cuadrados, es decir 0.41 litros por cada metro cuadrado de superficie de colección. Sin embargo, los volúmenes de las primeras lluvias varían con la cantidad de polvo en la superficie del tejado, que es una función del número de días secos, la cantidad y tipo de desechos, y la proyección de árboles, así como las condiciones climáticas.

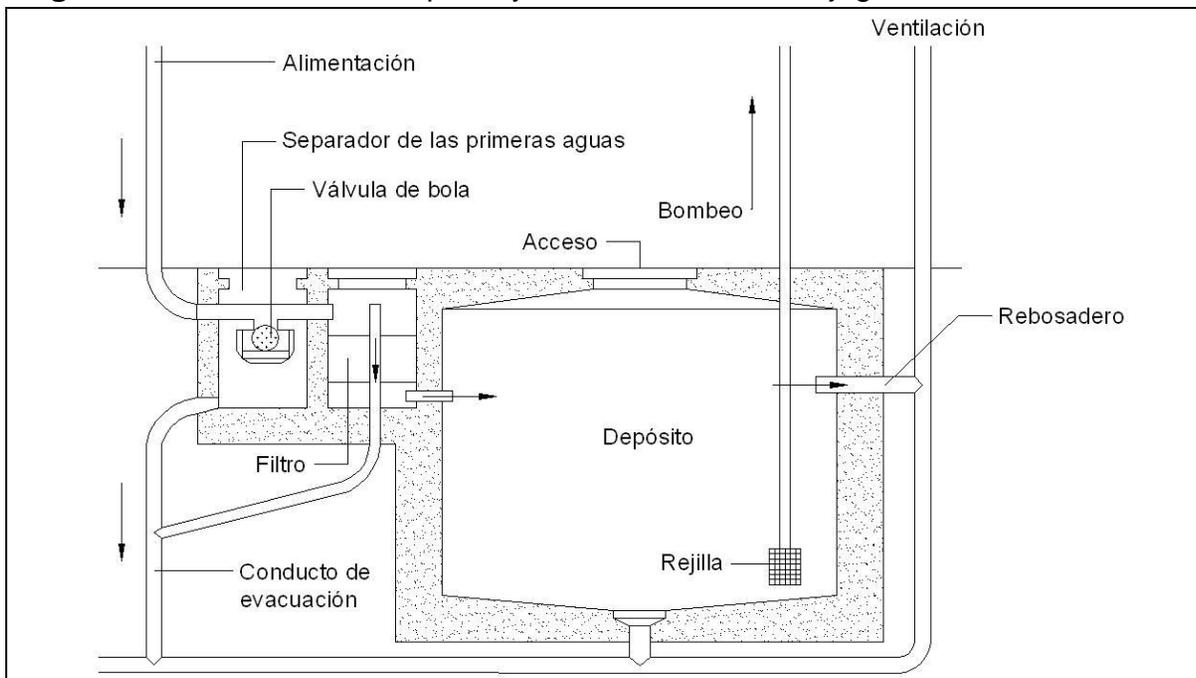
El techo destinado a la captación del agua de lluvia puede tener más de un interceptor. En el caso que el área de captación tenga dos o más interceptores, ellos deberán atender áreas específicas del techo y por ningún motivo un determinado interceptor deberá captar las primeras aguas de lluvia de un área que haya sido atendida por otro interceptor.

Al inicio del tubo de bajada al interceptor deberá existir un estrechamiento que permita encauzar el agua hacia el interceptor sin que se produzcan reboses, y su ancho inicial debe ser igual al doble del diámetro de la canaleta debiendo tener la reducción a una longitud de dos veces el diámetro.

El volumen de agua resultante del lavado del techo puede ser recolectado en un tanque de plástico. Este tanque debe diseñarse en función del área del techo para lo cual se podrán emplear recipientes de 40, 60, 80 ó 120 litros, y para áreas mayores de techo se utilizarían combinaciones de estos tanques para captar dicho volumen.

El interceptor también se puede construir junto con un filtro a un costado del tanque de almacenamiento, dimensionando el interceptor como se mencionó anteriormente. En la siguiente figura se muestra un esquema de esta opción.

Figura 6. Sistema de intercepción y almacenamiento conjugado



Fuente: Obras hidráulicas rurales. Universidad del Valle. Santiago de Cali.

4.6.5 Tanque de almacenamiento

El tamaño del tanque de almacenamiento o cisterna esta dado por diversas variables: la cantidad de agua de lluvia, la demanda, la longitud proyectada de tiempos secos sin lluvia, la superficie de captación, la estética, las preferencias personales y el presupuesto.

La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las siguientes especificaciones⁶:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje
- Debe ser opaco, ya sea que venga así desde fábrica o pintado después. Esto es para evitar el crecimiento de algas
- Ser de fácil acceso para su limpieza y mantenimiento
- El ingreso del agua de lluvia podrá realizarse por el techo o por las paredes laterales del tanque de almacenamiento y no deberá ser menor de 75 mm de diámetro
- El interior del tanque de almacenamiento deberá ser impermeable y por ningún motivo el agua debe entrar en contacto con el ambiente con el fin de garantizar la calidad de agua.

Las cisternas deberán estar situadas lo más cerca posible de la oferta y la demanda para reducir la distancia de conducción. Los tanques de almacenamiento deben estar protegidos de la luz solar directa si es posible.

⁶ Guía de diseño para la captación del agua lluvia. Organización Panamericana de la Salud. Lima. 2004

Figura 7.Tanque de almacenamiento en plástico



Fuente: Layco limitada

El volumen del tanque de almacenamiento se determinará por medio del balance de masa a partir del mes de mayor precipitación y por el lapso de un año, entre el acumulado de la oferta de agua (precipitación pluvial promedio mensual de por lo menos 10 años) y el acumulado de la demanda mes por mes del agua destinada al consumo humano. El volumen neto del tanque de almacenamiento es la resultante de la sustracción de los valores máximos y mínimos de la diferencia de los acumulados entre la oferta y la demanda de agua⁷.

El volumen de diseño del tanque de almacenamiento será igual al 110% del volumen neto.

4.6.6 Distribución

El agua que se recolecta en el sistema puede ser distribuida ya sea mediante bombeo o por acción de la gravedad hasta el sitio de consumo o de almacenamiento final.

Las bombas están diseñadas para impulsar el agua en lugar de succionarla. Por lo tanto el sistema debe ser diseñado con las bombas en el mismo nivel y tan cerca como sea posible de los tanques de almacenamiento.

⁷ Organización Panamericana de la Salud. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y ciencias del ambiente. Especificaciones Técnicas. Captación de agua de lluvia para consumo humano.

Los sistemas de bombeo extraen agua de los tanques de almacenamiento, presionan y la almacenan en un tanque de presión hasta que se necesite.

La distribución típica de un sistema de bombeo consiste en una bomba de $\frac{1}{4}$ - 1 caballos de fuerza, por lo general un pozo poco profundo o una bomba de chorro de la bomba centrífuga de etapas múltiples, una válvula de retención y el interruptor de presión. Una válvula de retención unidireccional entre el tanque de almacenamiento y la bomba de agua a presión impide que esta sea devuelta al depósito. El interruptor de presión regula el funcionamiento del tanque de presión. El tanque de presión, con una capacidad normal de 40 galones (150 litros), mantiene la presión en todo el sistema.

Cuando el tanque de presión alcanza un umbral predeterminado, el interruptor de presión corta la energía a la bomba. Cuando hay demanda del agua, el interruptor de presión detecta la caída de presión en el tanque y la bomba se activa.

5. METODOLOGÍA

El apoyo que se brindó para lograr un avance en el proceso del Plan de Gestión Ambiental para la base naval de “El Morro” se realizó en dos etapas con la colaboración del personal presente en la base.

En una primera etapa se formuló el programa para el ahorro y uso eficiente del agua en el área naval con base en la Guía de Ahorro y Uso Eficiente del Agua del Ministerio el Medio Ambiente, 2002. Para la elaboración de dicho programa se realizó un diagnóstico que incluye: la identificación de todos los sitios donde existe uso o consumo de agua, descripción de todas las actividades que se realizan en la base, una cuantificación de los dispositivos y equipos, y un censo de las personas presentes normalmente en la base para cada actividad.

Se realizó la determinación de los caudales promedio en la red de distribución de agua mediante aforos volumétricos para los diferentes dispositivos y equipos que consumen agua, para poder realizar posteriormente la determinación del consumo de agua en la base y de igual manera los costos a los que se incurre para este abastecimiento.

Con esta información y mediante la elaboración de una matriz de correlación DOFA que permite evidenciar las fortalezas y amenazas internas de la base, así como las debilidades y oportunidades externas a las actividades realizadas normalmente, se generaron las estrategias de ahorro y uso eficiente del agua seleccionando posteriormente aquellas estrategias que no sean tan costosas ni tan complicadas para implementar.

Como paso a seguir, se formularon medidas para el ahorro de agua y se calculó el posible consumo, evidenciando una notable disminución virtual en las cantidades de agua que se consumen en la base. Por último se realizó el análisis costo beneficio para el sistema de ahorro propuesto.

En la etapa final se elaboró la propuesta técnico económica para la captación y aprovechamiento de las aguas lluvias en la base. Para esto Inicialmente se compiló información sobre las dimensiones de los edificios y sus características principales, así como datos meteorológicos y la información obtenida en el diagnóstico de la primera etapa.

Con la información recopilada se procedió a determinar la oferta y la demanda de agua en la base naval para poder establecer las características del sistema propuesto.

Para realizar la determinación de la demanda de agua se trabajó con el número de usuarios calculado en la etapa inicial del proceso y una dotación de agua asumida dependiendo de la actividad realizada.

Con la precipitación promedio mensual, el coeficiente de escurrimiento para el material de cobertura de las unidades (techos) y las áreas calculadas de los mismos se procedió a calcular el volumen de agua a captar, es decir, la oferta de agua en la base.

Posteriormente se calculan las diferentes especificaciones del sistema, de acuerdo con los parámetros de diseño dados, entre ellos: volúmenes de almacenamiento, cálculo de diámetros en tuberías y recomendaciones para el bombeo.

Durante todo el proceso se realizaron capacitaciones al personal de la base naval en los diferentes temas tratados, con el propósito de crear conciencia sobre la importancia que tiene el recurso agua y las diferentes medidas que se pueden tomar para lograr un ahorro del mismo.

6. DIAGNÓSTICO

6.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LAS ACTIVIDADES DESARROLLADAS DENTRO DEL ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”.

En el área naval se presentan diferentes actividades que consumen el recurso agua, definidas principalmente por consumo en oficinas y en los módulos habitacionales.

A continuación se presenta un resumen de estas actividades y un conteo del personal existente para cada actividad; teniendo en cuenta el personal que labora normalmente así como los usuarios y visitantes de la base.

Tabla 5. Edificios y actividades donde hay consumo de agua

Edificio	Descripción	No. Personas
Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico - CCCP	Dirección General	1
	Secretaría	1
	Planeación	1
	Área de apoyo	7
	Área Manejo Integrado de zona costera	12
	Área de Sistemas	5
	SIG y sensores remotos	3
	Área de protección del medio marino	4
	Área técnica	7
	Área de oceanografía operacional	7
	Visitantes	10
	Subtotal	58
Capitanía de Puerto de Tumaco – CP02	Jefatura de capitanía	2
	Oficina jurídica	2
	Área de apoyo	2
	Ingresos	1
	Gente de mar	4
	Litorales	3
	Seguridad	1
	Aseo	1
	Visitantes	10
	Subtotal	26
Estación de Guardacostas de Tumaco – EGUT	Operaciones	10
	Personal	12
	Mantenimiento	10
	Administración	15
	Subtotal	47

Tabla 5. (Continuación)

Edificio	Descripción	No. Personas
Módulo habitacional CCCP-CP02	Aseo y lavandería	2
	Usuarios	15
	Visitantes	3
	Subtotal	20
Módulo habitacional EGUT	Usuarios	15
	Visitantes	3
	Subtotal	18
Restaurante y cámara general	Personal	4
	Usuarios	16
	Subtotal	20
TOTAL		189

* Se encuentra incluido el personal de aseo y de servicios generales del CCCP.

** No se incluye el personal que habita en los módulos, ya que este se cuenta en las demás actividades.

Fuente: Elaboración propia

6.2 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA

Debido a la falta de un sistema de acueducto en el municipio de Tumaco, el agua para consumo humano en la base naval es obtenida de varios pozos de agua subterránea ubicados dentro del predio.

Es importante resaltar que hasta la fecha no se cuenta con el respectivo permiso de la autoridad ambiental competente, en este caso la Corporación Autónoma Regional de Nariño CORPONARIÑO para la concesión de aguas subterráneas.

6.2.1 Ubicación de los pozos

La base cuenta con cuatro pozos de agua subterránea distribuidos en diferentes puntos de acuerdo con la dependencia para la cual se necesite el recurso (Anexo A). En la tabla 6 se muestran las características de los pozos encontrados en la unidad.

El pozo ubicado cerca del módulo habitacional de CCCP – CP2 debido a los problemas que presenta por contaminación y alto contenido de sólidos, esta en proceso de clausura.

Tabla 6. Características de los pozos

Pozo	Profundidad (m)
CCCP	8
EGUT	6
Módulo CCCP – CP2	8
Módulo EGUT	8

Fuente: Elaboración propia

Los pozos son operados mediante la acción de electrobombas que trabajan con energía eléctrica suministrada generalmente del servicio público respectivo, pero en los casos en que falla el servicio, la unidad cuenta con una planta eléctrica que opera a base de combustible.

Tabla 7. Especificaciones de las electrobombas

Ubicación	Tipo de bomba	Potencia (Hp)	Horas de operación al día (h/día)
Pozo CCCP	Electrobomba	2	3
Tanque CCCP	Electrobomba	1	3
Pozo EGUT	Electrobomba	1	3
Módulo CCCP – CP2	Electrobomba	1	3
Módulo EGUT	Electrobomba	1	3

Fuente: Elaboración propia

6.3 ALMACENAMIENTO

El agua es bombeada de los pozos y es almacenada en tanques subterráneos y tanques elevados ubicados en cada una de las dependencias. En la tabla 8 se presentan las especificaciones de los diferentes tanques.

Tabla 8. Tanques de almacenamiento

Ubicación	Tipo de tanque	Capacidad (L)
Módulo CCCP – CP2	Subterráneo	70500
Módulo CCCP – CP2	Cisterna	53000
Módulo CCCP – CP2	Elevado (2 unidades)	1000
Módulo EGUT	Subterráneo	73000
Módulo EGUT	Elevado (4 unidades)	2000
CCCP	Subterráneo	14050
CCCP	Elevado (3 unidades)	1000

Tabla 8. (Continuación)

Ubicación	Tipo de tanque	Capacidad (L)
CCCP	Elevado	500
EGUT	Subterráneo	18930
EGUT	Elevado	2000
CP2	Subterráneo	7580
CP2	Elevado	1000
Guardia	Elevado	1000

Fuente: Elaboración propia

6.4 EQUIPOS Y DISPOSITIVOS QUE CONSUMEN AGUA

Teniendo en cuenta la tabla 5, a continuación se realiza una descripción de los equipos y dispositivos que realizan un consumo de agua en las diversas actividades desarrolladas al interior de la base naval.

Tabla 9. Equipos y dispositivos

Ubicación	Equipo o dispositivo	Características	Cantidad
Restaurante	Lavaplatos	Grifo normal*	4
	Mingitorio	Orinal	1
	Sanitario	Tanque de 16 L	2
	Lavamanos	Grifo normal*	2
Cámara general (ensenada)	Lavaplatos	Grifo normal*	1
	Mingitorio	Orinal	1
	Sanitario	Tanque de 16 L	2
	Lavamanos	Grifo normal*	2
Módulo habitacional CCCP – CP2	Sanitario	Tanque de 16 L	12
	Lavamanos	Grifo normal*	24
	Ducha	Grifo normal*	12
	Lavadoras de ropa	10 lb	2
Módulo habitacional EGUT	Sanitario	Tanque de 16 L	12
	Lavamanos	Grifo normal*	12
	Ducha	Grifo normal*	12
Guardia	Sanitario	Tanque de 16 L	1
	Lavamanos	Grifo normal*	1
CP2	Sanitario	Tanque de 16 L	4
	Mingitorio	Orinal	1
	Lavamanos	Grifo normal*	2
	Lavaplatos	Grifo normal*	1
CCCP	Sanitario	Tanque de 16 L	6
	Mingitorio	Orinal	3
	Lavamanos	Grifo normal*	6
	Lavaplatos	Grifo normal*	1

Tabla 9. (Continuación)

Ubicación	Equipo o dispositivo	Características	Cantidad
EGUT	Sanitario	Tanque de 16 L	2
	Lavamanos	Grifo normal*	2
	Mingitorio	Orinal	3
Camarotes Alfa, Bravo y Charly	Sanitario	Tanque de 16 L	3
	Lavamanos	Grifo normal*	5
	Ducha	Grifo normal*	3

* Sin dispositivo ahorrador

Fuente: Elaboración propia

6.5 CONDICIONES CLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

El clima de Tumaco está marcado por su estrecha cercanía con el mar dada su posición geográfica, así como por la influencia de la cordillera Occidental, lo que caracteriza la zona por el constante intercambio de brisa marina y brisa terrestre. Asimismo, por el desplazamiento de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) que se ubica muy cerca de Tumaco durante el primer trimestre del año (CCCP, 2007).

La humedad relativa es más regular en el primer semestre, arrojando valores promedio de 86%, los cuales son muy constantes. Durante el segundo semestre los valores promedio oscilan entre 85 y 87%. En términos generales este parámetro presenta índices altos en la región dado que esta zona se caracteriza la presencia de aires fríos.

La máxima temperatura se presenta en promedio en los meses de abril y mayo con un valor de 26.20 °C, mientras que en el mes de enero se presenta la temperatura promedio mínima con un valor de 25.50 °C. La temperatura promedio anual para la zona es de 25,82 °C.

6.5.1 Precipitación

Para la realización de esta propuesta es necesaria la información de los últimos 10 años como mínimo. Esta información fue suministrada por la estación meteorológica del IDEAM que se encuentra en las instalaciones del CCCP. La información se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 10. Datos de precipitación (1980 – 2009) en mm.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1980	278.3	115.4	248.9	176.3	227.1	163.7	64.6	37.8	8	100.1	92	65.1
1981	96.1	224.6	279.5	375.8	308.2	324.8	240.8	195.3	226.2	59.4	36.2	127.1
1982	269	124	220.5	431.2	274.2	289	158.2	94	96.9	93.2	81.2	132.1
1983	274.7	553.4	336.9	282.1	357.7	289	158.2	94	324.9	93.2	81.2	84.9
1984	346.3	460.4	293	347.7	221.9	381.3	210.2	58.6	96.3	93.5	233.2	205.8
1985	284.5	129.4	60.8	198.6	221.6	208.7	17.3	57	55.8	32.8	49.6	246
1986	693.1	118.7	407.6	116.8	138.7	60.6	52.6	97.6	103.9	189.7	137.3	186.6
1987	284.2	128.6	209	230.2	454.5	38.3	173.1	349.5	100.9	111.2	55.8	154.2
1988	477.3	493	7.3	521.7	398.5	245.7	128	29.6	44.5	49.6	43.1	144.5
1989	729.9	197	6.4	291.3	334.5	227.5	58	77.1	76.6	151.9	53.5	82.9
1990	32.4	201	176.2	182.7	98.8	420.9	113.2	8.2	50.5	114.9	6.4	183.2
1991	145.5	257	487.3	612.4	723	14.6	285	72.7	139.9	15	32.9	57.7
1992	60.1	354.8	566	706.9	695.9	435.1	256.3	202.4	79	133.7	90.4	290.9
1993	205.5	251.6	202.9	500	318.9	249.6	459.7	180.9	72.3	87.2	131.5	90.6
1994	400.4	189.9	343.4	401	354.1	160.9	43.1	71	13.9	91.2	20.5	124.1
1995	323.2	94	7	202.2	455.8	154	134.5	117	35.7	166.4	72.5	172
1996	397	126.5	262	451	330	186	54.9	45	98	63.7	24	247.1
1997	417.9	263	30.7	156	219	396.4	183.1	259.4	309.4	208.8	690.2	459.3
1998	902.3	556	565	662.4	350	327.1	689.2	135.7	365.3	29.5	44.2	34.7
1999	223.7	443.1	433.2	363.2	440.4	330.6	44	31.2	182.2	139.5	153.1	74.5
2000	148.8	399.4	236.9	201	368.6	185.9	62.5	54.9	128.8	90.2	23.2	257.3
2001	455.6	84.3	117.1	319.4	332.7	121.4	139.6	2.2	48.8	22.4	63.8	242.3
2002	244.5	391.3	277.4	299.5	577.1	239.4	216	2	76.6	183.4	143.6	401.5
2003	327	154.1	540.6	344	468.3	335.6	90.3	87.5	71	114.9	221.6	154.5
2004	292.8	337.1	80.4	134	406.2	85.1	118	39.7	232.6	104.2	23.8	57.4
2005	225.5	153.7	368.6	577.1	220.3	31.9	25.9	8	40.9	72.4	52.9	225.9
2006	261.7	451.5	220.8	127.8	90.1	253.5	61.9	88	231.9	147.9	342.9	78.3
2007	215.3	150.6	314.5	274.6	897.6	462.8	99.3	135.6	20.2	143.6	55.3	155.4
2008	496.8	218.1	412.7	159.3	321.2	180.2	209.8	294.8	105.8	172.7	104.1	220.6
2009	545.6	224.4	211.1	383.8	139.5	29.9	70.3	158.1	19.7	139.7	32.6	167.3

Fuente: Estación meteorológica IDEAM. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Área de Oceanografía Operacional AROPE

7. PROGRAMA PARA EL AHORRO Y USO EFICIENTE DEL AGUA EN EL ÁREA NAVAL DE “EL MORRO”

7.1 DETERMINACIÓN DE CAUDALES

Es necesario establecer el caudal promedio que circula en la red de distribución de agua, para esto fue necesaria la realización de aforos volumétricos en algunos de los dispositivos encontrados, principalmente grifos.

Para realizar esta determinación, se utilizó la fórmula básica para el cálculo de un caudal volumétrico, que es la siguiente:

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

Ecuación 1

Tabla 11. Determinación de caudales

Tipo dispositivo	No	Fecha	Hora	Nivel inicial (mL)	Nivel final (mL)	Vol. del recipiente (mL)	Tiempo llenado (s)	Caudal (L/min.)	Caudal promedio (L/min.)
Grifo lavamanos CCCP	1	9/06/10	16:30	0	1300	3000	5	15.60	15.60
	2	9/06/10	16:32	0	1500	3000	5	18.00	
	3	9/06/10	16:34	0	1100	3000	5	13.20	
Grifo lavaplatos CCCP	1	10/06/10	09:10	0	1150	3000	5	13.80	15.20
	2	10/06/10	09:12	0	1450	3000	5	17.40	
	3	10/06/10	09:14	0	1200	3000	5	14.40	
Grifo ducha Módulo CCCP	1	10/06/10	09:35	0	1300	3000	5	15.60	15.80
	2	10/06/10	09:37	0	1250	3000	5	15.00	
	3	10/06/10	09:39	0	1400	3000	5	16.80	

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con los resultados obtenidos se observa que el caudal promedio en cada uno de los dispositivos estudiados es superior a 10 L/min, valor superior al recomendado para este tipo de equipos, con el fin de generar un consumo menor.

Para el caso de los equipos sanitarios no se realiza este cálculo, ya que todos los que se encuentran instalados en la base naval son de 16 L por descarga.

7.2 DETERMINACIÓN DEL CONSUMO DE AGUA

Es necesario determinar el consumo de agua en cada uno de los dispositivos estudiados, para esto se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Consumo} = \text{UP} * \text{CP} * \text{TU} * \text{NU} * \text{DS} = (\text{L/año}) \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde, UP: Usuarios potenciales
 CP: Caudal promedio (L/min.)
 TU: Tiempo de uso (min.)
 NU: Número de usos por día
 DS: Días de servicio al año (días/año)

Fuente: GONZÁLEZ S., José. Diseño de un sistema sostenible para el aprovechamiento de agua de lluvia para consumo domiciliar. Managua, Nicaragua. 2010

Debido a la cantidad de dispositivos existentes, es muy dispendiosa la tarea de realizar un aforo a cada uno de ellos, por lo cual, para realizar el cálculo del consumo promedio total de las diferentes dependencias, se tomaron los valores estimados en la tabla 11.

En la siguiente tabla se especifican los valores para los dispositivos encontrados en la base naval, así como la correspondiente determinación del consumo.

Tabla 12. Datos de consumo por equipo sin dispositivo de ahorro

Ubicación	Equipo o dispositivo	Cant.	UP	CP (L/min)	TU (min)	NU	DS (días/año)	Consumo (m ³ /año)
Restaurante	Lavaplatos	4	4	15.2	10	15	250	9120.0
	Sanitario	2	4	16		4	250	128.0
	Lavamanos	2	4	15.6	0.5	3	250	46.8
Cámara general (ensenada)	Lavaplatos	1	2	15.2	10	15	250	1140.0
	Sanitario	2	15	16		4	250	480.0
	Lavamanos	2	15	15.6	0.5	3	250	175.5
Módulo habitacional CCCP – CP2	Sanitario	12	20	16		4	365	5606.4
	Lavamanos	24	20	15.6	0.5	3	365	4099.7
	Ducha	12	20	15.8	4	2	365	11072.6
Módulo habitacional EGUT	Sanitario	12	15	16		4	365	4204.8
	Lavamanos	12	15	15.6	0.5	3	365	1537.4
	Ducha	12	15	15.8	7	2	365	14532.8
Guardia	Sanitario	1	3	16		4	365	70.1
	Lavamanos	1	3	15.6	0.5	3	365	25.6
CP2	Sanitario	4	26	16		4	250	1664.0
	Lavamanos	2	26	15.6	0.5	3	250	304.2
	Lavaplatos	1	26	15.2	10	15	250	14820.0

Tabla 12. (Continuación)

Ubicación	Equipo o dispositivo	Cant.	UP	CP (L/min)	TU (min)	NU	DS (días/año)	Consumo (m ³ /año)
CCCP	Sanitario	6	58	16		4	250	5568.0
	Lavamanos	6	58	15.6	0.5	3	250	2035.8
	Lavaplatos	1	58	15.2	10	15	250	33060.0
EGUT	Sanitario	2	47	16		4	250	1504.0
	Lavamanos	2	47	15.6	0.5	3	250	549.9
Camarotes Alfa, Bravo y Charly	Sanitario	3	5	16		4	365	350.4
	Lavamanos	5	5	15.6	0.5	3	365	213.5
	Ducha	3	5	15.8	7	2	365	1211.1
TOTAL								113520.6

Nota: Para algunas dependencias se trabajó con un DS de 250 días/año, mientras que para otras se utiliza 365 días/año debido a la actividad prestada en cada una y a que no se presta el servicio el día completo.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que el consumo en general para cada uno de los dispositivos es muy alto, por lo cual se recomienda tomar medidas que permitan generar un ahorro del recurso.

7.3 DETERMINACIÓN DE COSTOS POR ABASTECIMIENTO

En la base naval no se realiza ningún pago por el abastecimiento de agua, debido a que no se cuenta con un permiso de concesión de aguas subterráneas. El único costo relacionado con el servicio es el de la energía que se consume para el funcionamiento de las electrobombas que surten de agua a los tanques de almacenamiento.

Una estimación promedio de este costo se realizó con datos obtenidos de las facturas del servicio de energía eléctrica, más específicamente el dato correspondiente al valor del *Costo unitario de prestación del servicio* (\$/Kwh) cuyos registros para los últimos meses se muestra en la tabla siguiente.

Tabla 13. Costo unitario de prestación del servicio de los últimos meses

Mes	Costo unitario de prestación del servicio (\$/Kwh)
Junio	408.31
Mayo	411.20
Abril	423.13
Marzo	419.18
Febrero	427.71
Promedio	417.91

Fuente: Elaboración propia

Solamente se muestran los registros de los últimos meses debido a que esta es la información disponible en la base naval, puesto que la restante información se encuentra en la jurisdicción de la Intendencia Regional 1 (INRED01) que se trasladó al municipio de Buenaventura, Valle del Cauca.

Utilizando la siguiente ecuación, se obtiene el valor en Kwh para cada una de las bombas, de acuerdo con su capacidad en caballos de fuerza (HP).

$$\text{Consumo} = P * \frac{0.746 \text{ kW}}{1 \text{ hp}} * T \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde, P: Potencia de la bomba (en Hp)
T: Número de horas de trabajo de la bomba

Con esta ecuación y los datos suministrados en las tablas anteriores se realizan los cálculos del consumo energético por día y el valor económico que representa, recordando que el costo promedio para la prestación del servicio es de 418 \$/Kwh.

Tabla 14. Costo por operación de las electrobombas

Ubicación	Potencia (Hp)	Horas de operación al día (h/día)	Consumo (Kwh)	Costo unitario (\$/Kwh)	Costo (\$/día)
Pozo CCCP	2	3	4.5	417.9	1870.6
Tanque CCCP	1	3	2.2	417.9	935.3
Pozo EGUT	1	3	2.2	417.9	935.3
Módulo CCCP – CP2	1	3	2.2	417.9	935.3
Módulo EGUT	1	3	2.2	417.9	935.3
TOTAL					5611.7

Fuente: Elaboración propia

En consecuencia, el costo por operación de las electrobombas en un día es de \$5612 y que asciende aproximadamente a \$ 2'048380 al año. Relacionando este costo con el consumo total en m³ dado en la tabla 12, se tiene que un costo aproximado para el abastecimiento de agua en la base naval es:

$$\text{Costo por abastecimiento} = \frac{\text{Costo operación (\$/ año)}}{\text{Consumo (m}^3\text{/año)}}$$

$$\text{Costo por abastecimiento} = \frac{\$ 2'048380}{113520.6 \text{ m}^3} = \frac{\$ 18.04}{\text{m}^3}$$

De esta manera, el costo de energía para producir un metro cúbico de agua en la base naval es de \$18.04.

7.4 ANÁLISIS DOFA

En la siguiente tabla se muestra el listado de fortalezas, amenazas, debilidades y oportunidades de la base naval, para realizar un completo diagnóstico y generar las estrategias pertinentes para la disminución de los impactos generados.

Tabla 15. Listado de fortalezas, debilidades, oportunidades y amenazas

FACTORES INTERNOS	FORTALEZAS	F1	Buena disposición y colaboración del personal para atender a las observaciones y recomendaciones.
		F2	Interés directivo a los procesos de mejoramiento ambiental.
		F3	Reconocimiento de la institución DIMAR y del Centro de Investigaciones Oceanográficas a Hidrográficas del Pacífico CCCP.
		F4	Plan de Manejo Ambiental (PMA) al interior de DIMAR.
		F5	Plan de Gestión Ambiental (PGA) para la base naval “El Morro” 2010 – 2011.
	DEBILIDADES	D1	Exceso del consumo de agua en las unidades.
		D2	Falta de un programa de Ahorro y Uso Eficiente del Agua.
		D3	Deficiencias del sistema de tratamiento de aguas residuales.
		D4	Falta de capacitaciones a los empleados en el tema de ahorro y uso eficiente del agua (AYUEDA).
		D5	Falta de recursos económicos.
		D6	Falta de dispositivos medidores.
D7		Falta de un sistema de potabilización de agua.	
D8		Presencia de fugas en la red hidráulica de abastecimiento, por instalaciones antiguas, en proceso de deterioro y poco mantenimiento de las redes y equipos existentes.	
D9		Falta de compromiso ambiental de trabajadores, habitantes y visitantes de las instalaciones, quienes no regulan el uso de este recurso.	
D10		Sanitarios antiguos con tanques de alto volumen de agua y grifería sin dispositivos ahorradores de agua.	
D11		Falta de aprovechamiento de otras fuentes de agua.	
FACTORES EXTERNOS	OPORTUNIDADES	O1	Existencia en el mercado de dispositivos ahorradores de agua a precios económicos.
		O2	Disminución de los impactos ambientales generados al medio hídrico.
		O3	Potenciar la sensibilización y concienciación de los empleados.
		O4	Alta pluviosidad en la zona.
		O5	Mejora de la imagen institucional (reconocimiento).
		O6	Reducción del consumo de agua.
		O7	Promoción de los Sistemas de Gestión Ambiental de la empresa.
	AMENAZAS	A1	Sobreexplotación de acuíferos que produce contaminación por intrusión marina y por infiltración de aguas residuales.
		A2	Escasez de agua en condiciones de potabilidad.
		A3	Contaminación local de las aguas marinas por la existencia de vertidos de aguas residuales directamente al mar sin previa depuración.
		A4	Legislación ambiental en cuanto al recurso hídrico cada vez más estricta, que se puede reflejar en multas por incumplimiento a la misma.

Con este listado de factores y teniendo en cuenta la tabla de incidencia, se realiza la matriz DOFA con la cual se establecen estrategias dependiendo de la importancia que tenga un factor con otro (mayor valor en la sumatoria).

Tabla 16. Matriz D.O.F.A.

FACTORES EXTERNOS		OPORTUNIDADES							AMENAZAS			
		O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	A1	A2	A3	A4
FORTALEZAS	F1	0	1	4	0	0	3	2	1	0	0	0
	F2	1	0	2	0	3	1	4	0	1	1	3
	F3	0	4	2	0	4	2	3	0	0	0	4
	F4	0	2	0	0	3	0	4	0	0	0	3
	F5	0	2	0	0	4	3	4	3	3	3	3
SUMATORIA		1	9	8	0	14	9	17	4	4	4	13
DEBILIDADES	D1	3	2	4	1	0	4	0	4	4	2	0
	D2	3	1	4	1	0	4	2	3	2	1	1
	D3	0	1	0	0	0	3	0	0	0	4	1
	D4	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	D5	3	0	0	0	0	0	0	0	2	3	0
	D6	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
	D8	0	2	0	0	0	0	3	0	4	0	1
	D9	3	2	0	0	0	3	1	0	3	0	0
	D10	0	1	4	0	0	2	2	0	1	0	0
	D11	4	2	0	0	0	4	0	0	2	0	0
	D12	0	2	0	4	2	0	3	4	0	0	0
	SUMATORIA		16	15	13	6	2	22	13	11	18	10

Fuente: Elaboración propia

7.5 DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS

Teniendo en cuenta el resultado del cruce realizado en la matriz DOFA, y de acuerdo con su incidencia, se han generado las estrategias para la base naval que se muestran en la tabla 17. Estas estrategias se han planteado para aquellos cruces que tienen mayor valor en la sumatoria y por ende una mayor incidencia.

Tabla 17. Planteamiento de estrategias

	OPORTUNIDADES	AMENAZAS
FORTALEZAS	Estrategias FO (Potencialidades)	Estrategias FA (riesgos)
	Campañas de sensibilización y educación del personal en el tema de Ahorro y Uso Eficiente del agua.	Implementación de dispositivos medidores de agua para determinar los consumos reales.
	Generación e implementación de un Programa de ahorro y uso eficiente de agua (PAYUEDA) enmarcado dentro del Plan de Gestión Ambiental.	Establecer una propuesta para un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvia.
DEBILIDADES	Estrategias DO (desafíos)	Estrategias DA (limitaciones)
	Implementación de alternativas de ahorro de agua con elementos de bajo consumo, dispositivos ahorradores en grifos y duchas.	Búsqueda de fuentes alternas de agua con el fin de minimizar el impacto generado a los acuíferos de la zona.
	Acondicionamiento de las unidades existentes con alternativas que permitan ahorro de agua.	
	Motivar e incentivar a visitantes para mejorar hábitos de uso de agua.	
	Reportar y reparar periódicamente fugas y escapes en la red gracias a un programa de mantenimiento preventivo y correctivo.	
	Mantenimiento del sistema de aguas residuales existente.	

Fuente: Elaboración propia

Cada una de las estrategias planteadas a partir de la matriz DOFA se especifican con mayor detalle en el plan operativo que se encuentra en la sección 7.8.

7.6 ANÁLISIS COSTO BENEFICIO DEL AHORRO PROPUESTO

Para realizar esta determinación, es necesario establecer el consumo que se puede dar en la unidad si se instalan accesorios o se cambian algunos equipos existentes con el fin de generar el máximo ahorro de agua posible.

7.6.1 Ahorro de agua

En el caso de los grifos de duchas, lavamanos y lavaplatos, se va a utilizar un dato estimado de caudal de 10 L/min, que sería el valor si se instala un dispositivo economizador o un grifo nuevo.

Por otro lado, para los sanitarios, el caudal promedio a utilizar es el de un sanitario de bajo consumo que está en 4.5 Litros por descarga.

La determinación del consumo propuesto se realiza utilizando la misma fórmula dada para el consumo de agua en la unidad (Ecuación 2).

Tabla 18. Datos de consumo por equipo con dispositivo de ahorro

Ubicación	Equipo o dispositivo	Cant.	UP	CP (L/min)	TU (min)	NU	DS (días/año)	Consumo (m ³ /año)
Restaurante	Lavaplatos	4	4	10	10	15	250	6000.00
	Sanitario	2	4	4.5		4	250	36.00
	Lavamanos	2	4	10	0.5	3	250	30.00
Cámara general (ensenada)	Lavaplatos	1	2	10	10	15	250	750.00
	Sanitario	2	15	4.5		4	250	135.00
	Lavamanos	2	15	10	0.5	3	250	112.50
Módulo habitacional CCCP – CP2	Sanitario	12	20	4.5		4	365	1576.80
	Lavamanos	24	20	10	0.5	3	365	2628.00
	Ducha	12	20	10	4	2	365	7008.00
Módulo habitacional EGUT	Sanitario	12	15	4.5		4	365	1182.60
	Lavamanos	12	15	10	0.5	3	365	985.50
	Ducha	12	15	10	7	2	365	9198.00
Guardia	Sanitario	1	3	4.5		4	365	19.71
	Lavamanos	1	3	10	0.5	3	365	16.43
CP02	Sanitario	4	26	4.5		4	250	468.00
	Lavamanos	2	26	10	0.5	3	250	195.00
	Lavaplatos	1	26	10	10	15	250	9750.00
CCCP	Sanitario	6	58	4.5		4	250	1566.00
	Lavamanos	6	58	10	0.5	3	250	1305.00
	Lavaplatos	1	58	10	10	15	250	21750.00
EGUT	Sanitario	2	47	4.5		4	250	423.00
	Lavamanos	2	47	10	0.5	3	250	352.50
Camarotes Alfa, Bravo y Charly	Sanitario	3	5	4.5		4	365	98.55
	Lavamanos	5	5	10	0.5	3	365	136.88
	Ducha	3	5	10	7	2	365	766.50
TOTAL								66489.96

Fuente: Elaboración propia

Comparando estos valores con los obtenidos en la tabla 12, se puede observar que al realizar una inversión en dispositivos ahorradores, se genera un ahorro de agua en las instalaciones de la base naval de aproximadamente la mitad del consumo inicial.

Tabla 19. Comparación de consumos de agua sin la instalación de dispositivos de ahorro y con la instalación de los mismos.

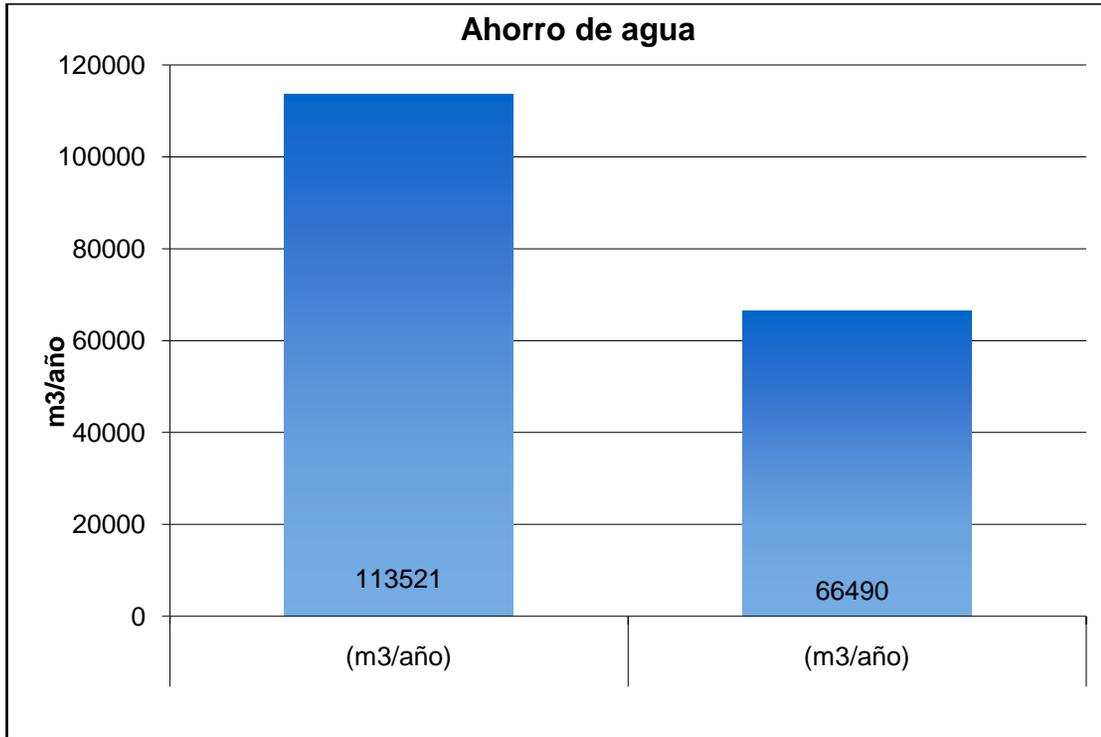
Ubicación	Equipo o dispositivo	Consumo sin dispositivo de ahorro (m ³ /año)	Consumo con dispositivo ahorrador (m ³ /año)
Restaurante	Lavaplatos	9120.0	6000.0
	Sanitario	128.0	36.0
	Lavamanos	46.8	30.0
Cámara general (ensenada)	Lavaplatos	1140.0	750.0
	Sanitario	480.0	135.0
	Lavamanos	175.5	112.5
Módulo habitacional CCCP – CP2	Sanitario	5606.4	1576.8
	Lavamanos	4099.7	2628.0
	Ducha	11072.6	7008.0
Módulo habitacional EGUT	Sanitario	4204.8	1182.6
	Lavamanos	1537.4	985.5
	Ducha	14532.8	9198.0
Guardia	Sanitario	70.1	19.7
	Lavamanos	25.6	16.4
CP2	Sanitario	1664.0	468.0
	Lavamanos	304.2	195.0
	Lavaplatos	14820.0	9750.0
CCCP	Sanitario	5568.0	1566.0
	Lavamanos	2035.8	1305.0
	Lavaplatos	33060.0	21750.0
EGUT	Sanitario	1504.0	423.0
	Lavamanos	549.9	352.5
Camarotes Alfa, Bravo y Charly	Sanitario	350.4	98.6
	Lavamanos	213.5	136.9
	Ducha	1211.1	766.5
TOTAL		113520.6	66490.0

Fuente: Elaboración propia

De esta manera, el ahorro de agua que se obtiene con la instalación de dispositivos ahorradores es de 47031 m³/año, dicho ahorro se reflejaría en una disminución de la producción de aguas residuales en la base naval.

La gráfica 1 permite mostrar la diferencia entre los dos consumos, evidenciando un potencial de ahorro de agua significativo que se puede alcanzar con la instalación de equipos y dispositivos economizadores.

Gráfica 1. Diferencia entre consumo con y sin dispositivos de ahorro.



7.6.2 Ahorro de capital

Con el ahorro de agua que se obtendría gracias a la instalación de los dispositivos y con el costo de abastecimiento obtenido en la sección 1.4 cuyo valor es de 18.04 \$/m³ se tiene lo siguiente:

$$\text{Ahorro de capital} = \text{Ahorro de agua (m}^3\text{/año)} * \text{Costo de abastecimiento (\$/m}^3\text{)}$$

$$\text{Ahorro de capital} = 47030.67 \text{ m}^3\text{/año} * 18.04 \text{ \$/m}^3 = \$848439.2 \text{ /año}$$

Se observa la importancia de la aplicación de tecnología nueva en la base naval en cuanto a dispositivos de ahorro de agua, que generaría un ahorro significativo de \$848439 al año.

7.7 Inversión requerida

Los dispositivos ahorradores que se instalan en los equipos ya existentes son bastante económicos en comparación con los equipos nuevos que inicialmente representan una inversión elevada.

Tabla 20. Costo de los dispositivos y equipos ahorradores

Equipo / dispositivo	Costo aproximado (\$)
Aireadores y perlizadores	9200.0
Reductores de flujo para duchas	11200.0
Sanitarios de bajo consumo	250000.0

Fuente: Elaboración propia

La inversión que se realizaría en la base naval para conseguir el ahorro propuesto es la siguiente:

Tabla 21. Costos de implementación

Equipo / Dispositivo	Cant.	Costo unitario (\$)	Costo total (\$)
Aireadores para grifos (lavamanos y lavaplatos)	61	9200.0	561200.0
Reductores de flujo para duchas	27	11200.0	302400.0
		Subtotal	863600.0
Sanitarios de bajo consumo	44	250000.0	11'000000.0
TOTAL			11'863600.0

Fuente: Elaboración propia

El costo de implementar sanitarios de bajo consumo es bastante elevado en comparación con los dispositivos ahorradores, por lo tanto estos últimos constituyen la alternativa económica más viable a corto y mediano plazo, y su implementación total tendría un valor de \$863600; sin embargo, es necesario resaltar que la instalación de sanitarios de bajo consumo es mucho más eficiente, aunque el ahorro se vea reflejado a largo plazo. De esta manera, una opción es que sean reemplazados los sanitarios sólo en las zonas que tienen mayor afluencia durante el día (CP02, CCCP y EGUT).

Para el caso de la instalación de dispositivos ahorradores el periodo de retorno de la inversión viene dado de la siguiente manera:

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\text{Inversión Total (\$)}}{\text{Ahorro de capital (\$/año)}}$$

$$\text{Periodo de retorno} = \frac{\$ 863600}{\$ 848439 / \text{año}} = 1 \text{ año}$$

Si se logra realizar la implementación de estas alternativas de ahorro de agua, la recuperación de la inversión se lograría en un periodo aproximado de 12 meses, tiempo relativamente corto para un ahorro significativo del recurso.

Dependiendo del tiempo en el cual se recupera la inversión se tienen las siguientes clasificaciones⁸:

- Si es de 1 año o menor se considera que el proyecto es sencillo.
- Si es menor a 4 años es un proyecto de costo medio.
- Si es mayor a 4 años es un proyecto de alto costo.

Por lo tanto se puede decir que este constituye un proyecto sencillo, puesto que el periodo de recuperación de la inversión es de 1 año.

También se puede realizar un ahorro en el consumo de agua en las baterías sanitarias si se implementan otras alternativas en conjunto con los dispositivos propuestos. Dichas alternativas se especifican en la siguiente sección.

7.8 PLAN OPERATIVO

A continuación se presenta una descripción detallada de las estrategias propuestas en el análisis DOFA.

7.8.1 Campañas de sensibilización y educación al personal y a visitantes en el tema de ahorro y uso eficiente del agua.

Objetivo: Generar en el personal y visitantes una cultura de ahorro del agua y su buen uso.

Actividades: Para llevar a cabo esta estrategia, se presentan las siguientes actividades.

⁸ Texto guía de la producción mas limpia en la industria.

- Diseño de eslogan y logotipo: Teniendo en cuenta que el CCCP cuenta con un Comité Ambiental recién establecido, las acciones a desarrollar se realizarán en coordinación con éste. De esta manera, se toma para las campañas de sensibilización y educación ambiental el logotipo del comité (Figura 8), cuyo eslogan es “Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”.

Figura 8. Logo comité ambiental



Fuente: MA2MHI Muñoz Peña Wilson David

- Diseño de elementos de difusión: en conjunto con el comité ambiental, se diseñaron una serie de “Avisos ambientales” en donde se encuentran consejos e información pertinente para generar un impacto en la población de la Unidad Naval, de tal manera que se repliquen en sus actividades normales dentro y fuera de las instalaciones (Anexo B).
- Desarrollo de exposiciones: se elaboraron varias presentaciones en diapositivas con diversas alternativas y consejos para el ahorro y uso eficiente del agua, las cuales se presentaron a los funcionarios y demás personal presentes en la Unidad Naval. Este tipo de presentaciones se realizaron de forma periódica, tomando en cuenta la alta rotación del personal de la Unidad.

7.8.2 Implementación de alternativas de ahorro de agua con elementos de bajo consumo. Instalar dispositivos ahorradores de agua en grifos y duchas.

Una de las alternativas más eficientes para la reducción en el consumo de agua se logra gracias a la instalación de dispositivos ahorradores, con lo que se logran disminuciones representativas.

Objetivo: Disminuir el consumo de agua potable mediante la instalación de dispositivos ahorradores (aireadores y perlizadores).

Actividades:

El personal de mantenimiento y de servicios generales de la unidad será el encargado de realizar esta implementación de acuerdo al tipo de dispositivo a instalar o si no se tiene conocimiento será necesaria la colaboración de algún técnico o personal que esté capacitado al respecto.

7.8.3 Acondicionamiento de las unidades que consumen agua existentes con alternativas que permitan ahorro del recurso.

Una alternativa que se puede implementar para disminuir el consumo de agua especialmente de las baterías sanitarias, es la instalación de elementos dentro del tanque de 16 L con el propósito de reemplazar parte de la capacidad del mismo.

Objetivo: Reducción de los consumos de agua en la unidad debidos al uso de las baterías sanitarias.

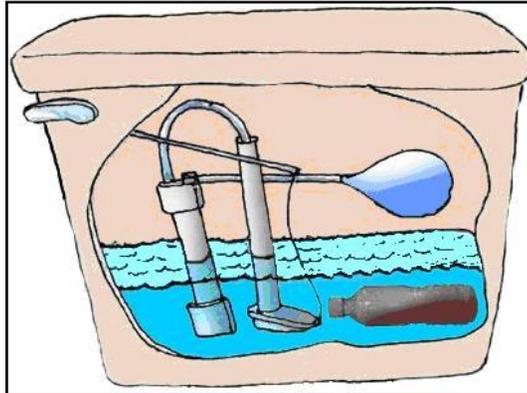
Actividades:

Una de las maneras más eficientes es regular el nivel de agua en el tanque mediante la reubicación del mismo con la válvula flotante (globo), hasta alcanzar el nivel deseado.

Otra forma de realizar este acondicionamiento consiste en reemplazar parte del volumen del tanque con botellas plásticas que se llenan con tierra o arena (figura 9). Si se introducen por ejemplo dos botellas de gaseosa de 600 mL cada una, se logra una disminución de 1,2 Litros por cada descarga.

El problema con cualquiera de estas opciones es que en algunos casos al descargar el sanitario no se logra la evacuación deseada, y por tanto se va a requerir una nueva descarga. Es por esta razón que se recomienda reemplazar las unidades por sanitarios de baja descarga.

Figura 9. Ahorro de agua en sanitarios convencionales



Fuente: elaboración propia

7.8.4 Reportar y reparar periódicamente fugas y escapes en la red gracias a un programa de mantenimiento preventivo y correctivo.

Objetivo: Detectar y eliminar las fugas con el fin de disminuir los porcentajes de pérdida de agua por desperdicio.

Actividades:

Revisión periódica del sistema en búsqueda de fugas: esta revisión debe realizarse quincenalmente por parte del personal de mantenimiento y servicios generales.

En el anexo E se encuentran algunas recomendaciones para tener en cuenta al momento de realizar los mantenimientos, al igual que el formato para realizar su respectivo registro y de las revisiones efectuadas.

- Informe de las fugas detectadas: es necesario que se comunique a todo el personal de la base la importancia de reportar cualquier fuga que se observe para que sea reparada en el menor tiempo posible.
- Mantenimiento a tanques de las baterías sanitarias: es necesario que se realice un lavado a este tipo de tanques por lo menos una vez al mes, debido a que el agua del a Unidad contiene sedimentos que se depositan en el fondo del tanque, y sobre los empaques de la válvula de salida, causando fugas y disminución de la vida útil del sistema.

7.8.5 Mantenimiento del sistema de aguas residuales existente.

Objetivo: Minimizar los impactos generados por el vertido de las aguas residuales.

Actividades:

7.8.5.1 Trampa de grasas⁹:

El mantenimiento de trampas de grasas y aceites se lleva a cabo siguiendo los siguientes pasos:

1. Destapar los tanques y extraer los elementos flotantes que generalmente son grasas y aceites, con una vasija preferiblemente con orificios (colador o nasa) retirar las natas (grasas) flotantes. Si hay suficiente cantidad retirar los lodos del fondo, dejando un porcentaje (20% de la cantidad total inicial).
2. Transportar las natas y lodos preferiblemente en caneca, retirándoles toda el agua posible. Evitar cualquier derrame.
3. Las grasas se vacían en un hueco que debe abrirse previamente en la tierra y al cual se le debe agregar cal agrícola, antes y después de vaciar las grasas.
4. El hueco se cubre con la tierra extraída del mismo.

7.8.5.2 Tanque séptico:

- **Inspección de los lodos:**

1. Cada seis (6) meses con una vara de dos metros de largo y forrada 0.90 m con un trozo de tela blanco a partir de uno de sus extremos, se mide la profundidad de la capa de lodo en el fondo del tanque séptico.
2. Abra la primera tapa de registro e introduzca la vara con la punta forrada hacia abajo hasta tocar el fondo del tanque, déjela allí unos cinco minutos y retírela lentamente.

⁹ Manual de operación y mantenimiento de pozos sépticos, filtro anaerobio y trampa de grasas.

3. Mida la zona de la vara que sale untada de lodos sobre el trozo de tela (debe presentar un zona negra), si esta zona mide más del 40% de la profundidad del tanque, debe realizarse la limpieza del mismo.

• **Inspección de natas:**

1. Con una vara de dos metros de largo y una aleta articulada en un extremo (colador) de 15 x 15 cm, se hace la inspección empujando a través de la capa superficial. Hacer una marca en la vara donde está el nivel de la nata.

2. Luego se baja del todo la vara, hasta cerca del fondo, y se va subiendo lentamente, la aleta se pone en posición horizontal y se levanta hasta que la resistencia de la nata se sienta. Hacer una segunda marca en la vara. La distancia entre las dos marcas determina el espesor de la capa.

3. Si la diferencia entre las dos marcas registradas en la vara es mayor a 7.5 cm, será necesaria la limpieza del tanque.

• **Mantenimiento completo:**

1. Antes de limpiar el tanque, se debe dejar ventilar, quitando una de las tapas hasta que los gases se hayan desalojado, para así evitar riesgos de explosión o asfixia.

2. Se sacan la mayoría de los lodos, dejando una pequeña capa de éstos en el fondo del tanque (20% de la capa de lodos existentes antes de la limpieza), para garantizar la actividad bacteriana en los pozos.

3. Transportar las natas y lodos en canecas, retirándoles toda el agua posible. Evitar cualquier derrame. También es posible utilizar estos lodos para abono, previa preparación en un sitio específico (retirar la mayor cantidad de agua posible y mezclarlos con cal agrícola).

4. Enterrar los lodos y natas en un hueco que debe abrirse previamente en la tierra, agregando un poco de cal agrícola antes y después de hacer el vaciado de los lodos y natas; luego se procede a tapar el hueco con la misma tierra de excavación.

7.8.6 Implementación de dispositivos medidores de agua

Objetivo: Establecer consumos reales de agua en la base naval.

Actividades:

- Instalar en cada uno de los edificios existentes un dispositivo medidor de agua, que permita determinar cuantitativamente de forma directa el consumo que se realice en cada una de las actividades, con el fin de establecer la eficiencia que se logre con las medidas implementadas para el ahorro de agua y sirva de información base para la toma de decisiones futuras.

8. PROPUESTA TÉCNICO ECONÓMICA PARA LA CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS EN LA BASE NAVAL

8.1 ÁREA EFECTIVA DE CAPTACIÓN DE AGUA LLUVIA

Para la determinación de las áreas de captación, se trabajó con información existente (planos y fotografías aéreas de la base) que permitieron la elaboración del plano correspondiente al anexo C, con el cual fue posible establecer el área de cada uno de los edificios con que cuenta la base naval. Esta información se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 22. Área de captación disponible

Edificio	Área disponible (m ²)
CCCP	1461.9
CP02	776.3
EGUT	741.6
Restaurante y cámara general	299.7
Módulo CCCP/CP02	518.3
Módulo EGUT	437.3
ÁREA TOTAL	4235.1

Fuente: Elaboración propia

El área total disponible para captación de aguas lluvias en la base naval es de 4235 m², pero debido a la distancia que existe entre los diferentes edificios y las actividades que se realizan en cada uno, es complicado realizar una captación conjunta. Es por esto que se planea dividir la propuesta en 2 subsistemas de acuerdo con su ubicación, como se muestra en el anexo C, de la siguiente manera:

Tabla 23. Componentes del Subsistema 1:

Edificio	Área disponible (m ²)
CCCP	1461.9
CP02	776.3
EGUT	741.6
ÁREA TOTAL	2979.8

Tabla 24. Componentes del subsistema 2:

Edificio	Área disponible (m ²)
Restaurante y cámara general	299.7
Módulo CCCP/CP02	518.3
Módulo EGUT	437.3
ÁREA TOTAL	1255.3

8.2 PRECIPITACIÓN PROMEDIO MENSUAL

Con la información de precipitación suministrada por la estación meteorológica del IDEAM, es posible determinar la precipitación promedio mensual para la zona, de acuerdo con la ecuación dada por la Guía de diseño para la captación del agua lluvia del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS).

$$Pp_i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n}$$

Ecuación 4

Donde,

n : Número de años evaluados

p_i : Valor de precipitación del mes “i”, (mm)

Pp_i : Precipitación promedio del mes “i” de todos los años evaluados, (mm).

Aplicando la ecuación 4 a los datos suministrados por la estación meteorológica del IDEAM se obtiene la precipitación promedio mensual para el periodo comprendido entre los años 1980 a 2009.

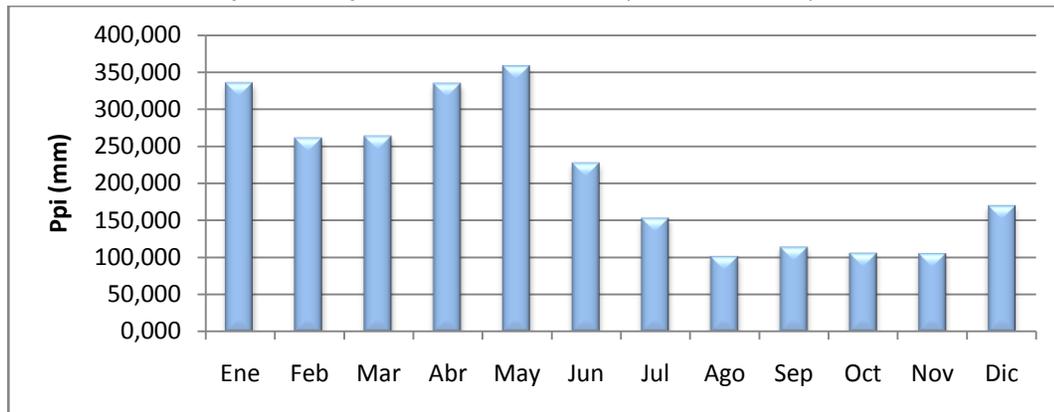
Tabla 25. Precipitación promedio mensual Pp_i (mm)

Mes	Precipitación promedio mensual
Enero	335.2
Febrero	261.5
Marzo	264.1
Abril	334.3
Mayo	358.1
Junio	227.6
Julio	153.9
Agosto	102.8
Septiembre	115.2
Octubre	107.2
Noviembre	106.4
Diciembre	170.8
Promedio de las precipitaciones mensuales	211.4

Es posible observar que en la zona se encuentran diferenciados dos periodos, uno seco y uno húmedo. El primero entre los meses de julio a diciembre con un promedio de 126.1 mm en donde el mes más seco se presenta en agosto con 102.8 mm.

El periodo húmedo se presenta de enero a junio con un promedio de 296.8 mm con la mayor precipitación en el mes de mayo cuyo valor es de 358.1 mm.

Gráfica 2. Precipitación promedio mensual (1980 – 2009)



8.3 DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE ALMACENAMIENTO

8.3.1 Determinación de la demanda de agua

A partir de la dotación (demanda) asumida por persona se calcula la cantidad de agua que se necesita para atender las necesidades de los usuarios a ser beneficiados en cada uno de los meses.

$$D_i = \frac{Nu * Nd * Dot}{1000}$$

Ecuación 5

Donde,

Nu : Número de usuarios que se benefician del sistema

Nd : Número de días del mes analizado

Dot : Dotación (L/persona/día)

Di : Demanda mensual (m³)

La dotación neta corresponde a la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que ocurran en el sistema de acueducto dependiendo del nivel de complejidad del sistema (Norma RAS Título A, 2000).

De acuerdo con la última modificación realizada al RAS 2000, consignada en la resolución 2320 de 2009, las dotaciones netas máximas que se pueden utilizar en climas cálidos y nivel de complejidad bajo no debe exceder de 100 L/hab día según la siguiente tabla:

Tabla 26. Dotación neta mínima y máxima

Nivel de Complejidad	Dotación neta máxima para poblaciones con clima frío o templado (L/hab*día)	Dotación neta máxima para poblaciones con clima cálido (L/hab*día)
Bajo	90	100
Medio	115	125
Medio alto	125	135
Alto	140	150

Fuente: Resolución 2320 de 2009

Según Melguizo, la dotación de agua depende del tipo de actividad donde se realice el consumo, así:

Tabla 27. Dotación de agua

Tipo de establecimiento	Dotación diaria
Personal en residencias	70 L/persona
Oficinas en general	50 L/persona

Fuente: Melguizo, 1994

Para este caso se va a trabajar con el valor de la dotación neta máxima establecido en la norma RAS para un nivel de complejidad bajo de acuerdo con las características de la zona de estudio y un clima cálido.

8.3.2 Determinación del volumen de agua captada (oferta de agua)

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo, el coeficiente de escorrentía y el área disponible, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes.

$$A_i = \frac{Pp_i \cdot Ce \cdot Ac}{1000}$$

Ecuación 6

Donde,

P_{pi}: Precipitación promedio mensual (L/m²)

C_e: Coeficiente de escorrentía

A_c: Área de captación (m²)

A_i: Abastecimiento correspondiente al mes "i" (m³)

Con base en los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua de lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes. A continuación se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de cada uno de los meses de la oferta y la demanda respectivamente (CEPIS, 2003).

8.3.2.1 Oferta acumulada

Se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Aa_i = Aa_{(i-1)} + A_i$$

Ecuación 7

Donde,

A_{a_i}: Volumen acumulado al mes "i"

A_{a_(i-1)}: Volumen acumulado mes anterior

A_i: Oferta de agua en el mes "i".

8.3.2.2 Demanda acumulada

Se determina usando la siguiente expresión:

$$Da_i = Da_{(i-1)} + D_i$$

Ecuación 8

Donde,

D_{a_i}: Demanda acumulada al mes "i"

D_{a_(i-1)}: Demanda acumulada mes anterior

D_i: Demanda de agua en el mes "i"

8.3.3 Volumen de almacenamiento

Corresponde a las desviaciones entre la curva de demanda y la curva de masa; se obtiene el resultado restando los valores de la demanda y la oferta para cada mes. Para este caso se realizó una variación del sistema propuesto en la guía de diseño para la captación de aguas lluvias (CEPIS), por algunas recomendaciones dadas en el libro *Obras Hidráulicas Rurales* de la Universidad del Valle en su sección de *Captación de aguas lluvias*. De acuerdo con esto, la ecuación para realizar el cálculo del volumen de almacenamiento es la siguiente:

$$V_i = D_i - A_i$$

Ecuación 9

Donde,

V_i : Volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i” (m^3)

A_i : Volumen del agua que se captó en el mes “i” (m^3)

D_i : Volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i” (m^3)

El volumen de agua necesario para satisfacer la demanda es el máximo valor acumulado de las desviaciones positivas calculadas.

Teniendo en cuenta que el material de construcción de los techos es aluminio, para un correspondiente coeficiente de escurrimiento de 0.9, se encontraron los siguientes resultados para una dotación neta de 100 L/hab*día.

Tabla 28. Determinación del volumen de almacenamiento del sistema

Mes	Precip. Ppi	Nu	Dot	Nd	Demanda Di (m^3)	Oferta Ai (m^3)	Dem Acum Dai (m^3)	Of Acum Aai (m^3)	Vol. Almac. Vi (m^3)	Vol. acum (m^3)
Ene	335.17	189	100	31	585.9	1277.5	585.9	1277.5	-691.6	
Feb	261.53	189	100	28	529.2	996.8	1115.1	2274.4	-467.6	
Mar	264.12	189	100	31	585.9	1006.7	1701.0	3281.1	-420.8	
Abr	334.33	189	100	30	567.0	1274.3	2268.0	4555.4	-707.3	
May	358.14	189	100	31	585.9	1365.1	2853.9	5920.5	-779.2	
Jun	227.65	189	100	30	567.0	867.7	3420.9	6788.2	-300.7	
Jul	153.92	189	100	31	585.9	586.7	4006.8	7374.9	-0.8	
Ago	102.83	189	100	31	585.9	391.9	4592.7	7766.8	194.0	194.0
Sep	115.22	189	100	30	567.0	439.2	5159.7	8206.0	127.8	321.8
Oct	107.20	189	100	31	585.9	408.6	5745.6	8614.6	177.3	499.1
Nov	106.42	189	100	30	567.0	405.6	6312.6	9020.2	161.4	660.5
Dic	170.79	189	100	31	585.9	651.0	6898.5	9671.2	-65.1	

De esta manera, el volumen del tanque de almacenamiento para el sistema sería de 660.5 m³, y puesto a que en las especificaciones de diseño se aconseja que la altura máxima del tanque debe ser de 3.0 m para evitar sobrepresiones, el tanque tendría las siguientes dimensiones: 11 m de ancho, 20 m de largo y 3 m de alto.

Para efectos de construcción y de costos, es mejor que el sistema tenga un solo tanque de almacenamiento, pero debido a la separación que existe entre cada uno de los edificios en la unidad no es recomendable hacerlo de esta manera por lo que las pendientes para garantizar el arrastre de sólidos serían superiores al 1% generando profundización de las tuberías y un excesivo enterramiento de los tanques para un terreno plano como éste.

Una opción es dividir el sistema en general en 6 subsistemas, uno para cada edificación, en donde la oferta de cada subsistema cubre su propia demanda, con el inconveniente de construir 6 tanques de almacenamiento los cuales generan gran costo.

Por lo tanto, es preferible dividir el sistema en dos subsistemas de acuerdo con la cercanía de las edificaciones como se estableció en las tablas 23 y 24.

8.3.3.1 Volumen de almacenamiento subsistema 1

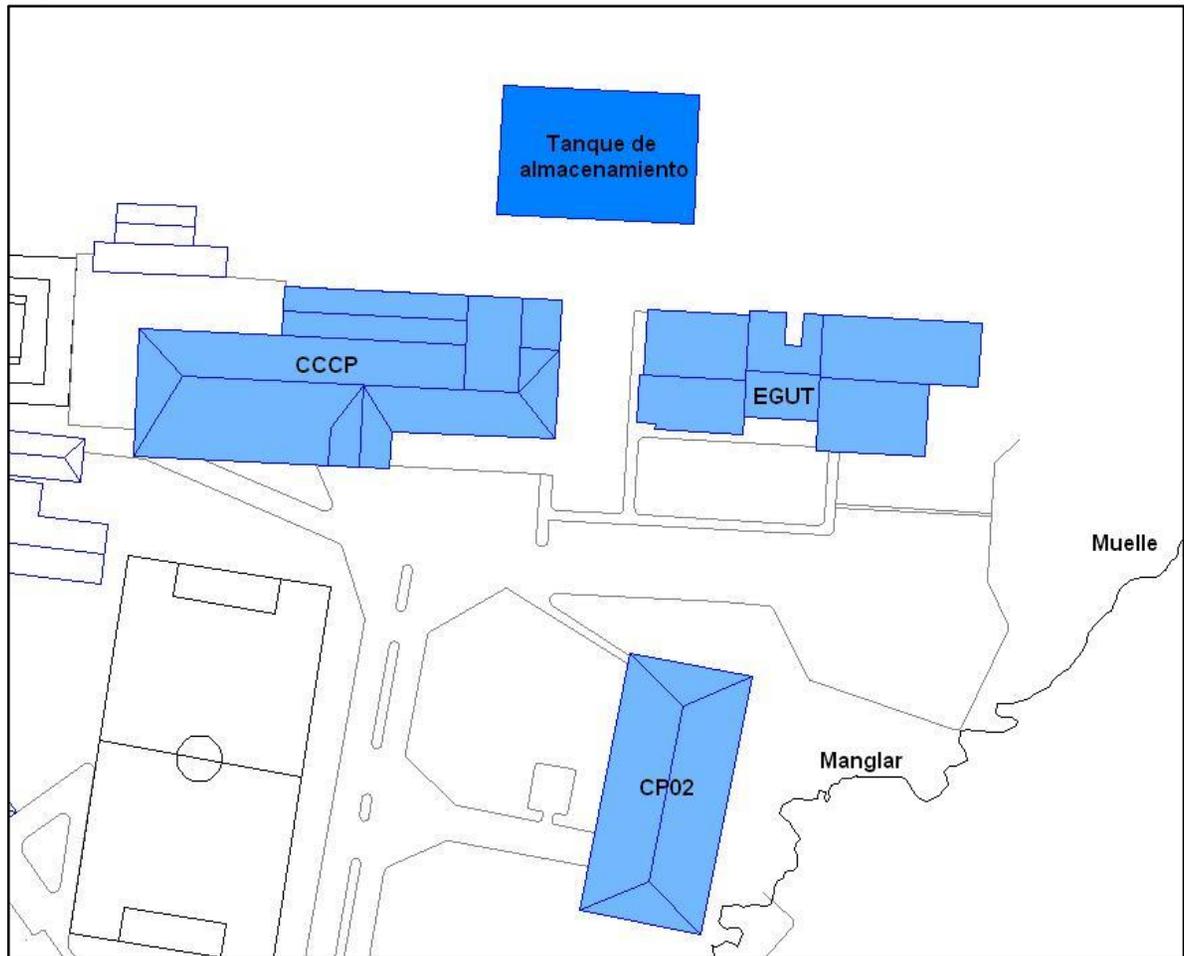
Este subsistema está compuesto por los edificios CCCP, CP02 y EGUT, ya que por distribución espacial son los más cercanos. En la siguiente tabla se muestra el área y número de usuarios para cada uno de ellos, y los datos con los que se trabajó este subsistema.

Tabla 29. Datos subsistema 1

Edificio	Área (m ²)	No. Usuarios
CCCP	1461.9	58
CP02	776.3	26
EGUT	741.6	47
Subsistema 1	2203.5	131

En la figura 10 se observa con más detalle la ubicación de los edificios.

Figura 10. Área de captación necesaria subsistema 1



Como se puede observar en la figura, la mejor opción es realizar la captación en los techos de CCCP y EGUT y ubicar el tanque de almacenamiento donde señala, y realizar el abastecimiento a los tres edificios mediante bombeo. Así, el área a utilizar es de 2203.5 m² para una población de 131 usuarios.

Si se realiza la captación en toda el área disponible, se tiene para este subsistema el mismo caso que con el sistema general, en donde el tanque de almacenamiento queda sobredimensionado. Sin embargo para satisfacer la demanda es más seguro captar toda el agua y que el sobrante salga por el rebosadero.

Es importante resaltar que en esta área se manejan principalmente actividades de oficina, por lo que se va a trabajar con una dotación neta de 70 L/persona-día. Los resultados obtenidos se presentan en la tabla 30.

Tabla 30. Volumen modificado subsistema 1

Mes	Precip. Ppi	Nu	Dot	Nd	Demanda Di	Oferta Ai	Dem Acum Dai	Of. Acum Aai	Vol. Almac. Vi	Vol. acum
Ene	335.17	131	70	31	284.3	664.7	284.3	664.7	-380.4	
Feb	261.53	131	70	28	256.8	518.6	541.0	1183.3	-261.9	
Mar	264.12	131	70	31	284.3	523.8	825.3	1707.1	-239.5	
Abr	334.33	131	70	30	275.1	663.0	1100.4	2370.1	-387.9	
May	358.14	131	70	31	284.3	710.2	1384.7	3080.3	-426.0	
Jun	227.65	131	70	30	275.1	451.4	1659.8	3531.8	-176.3	
Jul	153.92	131	70	31	284.3	305.2	1944.0	3837.0	-21.0	
Ago	102.83	131	70	31	284.3	203.9	2228.3	4040.9	80.4	80.4
Sep	115.22	131	70	30	275.1	228.5	2503.4	4269.4	46.6	127.0
Oct	107.20	131	70	31	284.3	212.6	2787.7	4482.0	71.7	198.7
Nov	106.42	131	70	30	275.1	211.0	3062.8	4693.0	64.1	262.7
Dic	170.79	131	70	31	284.3	338.7	3347.1	5031.7	-54.4	

El volumen de almacenamiento necesario para que este subsistema cubra con la demanda debe ser máximo de 263 m³, con las siguientes dimensiones para el tanque de almacenamiento:

Tabla 31. Dimensiones tanque 1

Dimensión	Cantidad
Largo	10.0 m
Ancho	7.5 m
Profundidad	3.5 m

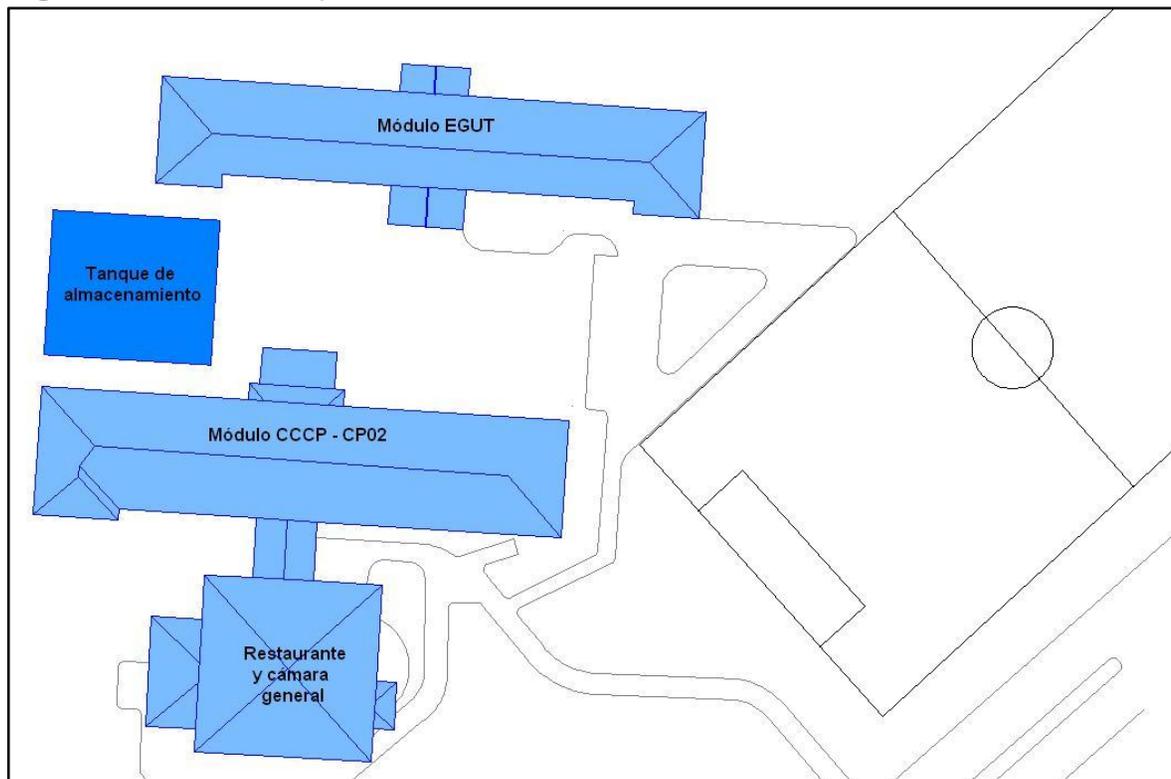
8.3.3.2 Volumen de almacenamiento subsistema 2

Como en el subsistema anterior, de acuerdo con la cercanía entre ellos, este subsistema se compone por los edificios correspondientes al módulo habitacional CCCP/CP02, módulo habitacional EGUT y el edificio donde se encuentra el restaurante y la cámara general. En la tabla 32 se presentan los datos para este subsistema, y en la figura 11 la distribución y posible ubicación del tanque de almacenamiento.

Tabla 32. Datos subsistema 2

Edificio	Área (m ²)	No. Usuarios
Módulo habitacional CCCP – CP02	518.3	20
Módulo habitacional EGUT	437.3	18
Restaurante y cámara general	299.7	20
Subsistema 1	955,6	58

Figura 11. Área de captación necesaria subsistema 2



En este sistema también se propone captar solo una parte del área disponible, correspondiente al módulo CCCP-CP02 y al Módulo EGUT sin que esto evite que la oferta satisfaga la demanda de los tres edificios. El tanque de almacenamiento se ubicaría en la zona que se muestra en la figura.

Tabla 33. Volumen de almacenamiento subsistema 2

Mes	Precip. Ppi	Nu	Dot	Nd	Demanda Di	Oferta Ai	Dem Acum Dai	Of. Acum Aai	Vol. Almac. Vi	Vol. acum
Ene	335.17	58	100	31	179,8	288,3	179,8	288,3	-108,5	
Feb	261.53	58	100	28	162,4	224,9	342,2	513,2	-62,5	
Mar	264.12	58	100	31	179,8	227,2	522,0	740,4	-47,4	
Abr	334.33	58	100	30	174,0	287,6	696,0	1027,9	-113,6	
May	358.14	58	100	31	179,8	308,0	875,8	1336,0	-128,2	
Jun	227.65	58	100	30	174,0	195,8	1049,8	1531,8	-21,8	
Jul	153.92	58	100	31	179,8	132,4	1229,6	1664,1	47,4	47,4
Ago	102.83	58	100	31	179,8	88,4	1409,4	1752,6	91,4	138,8
Sep	115.22	58	100	30	174,0	99,1	1583,4	1851,7	74,9	213,7
Oct	107.20	58	100	31	179,8	92,2	1763,2	1943,9	87,6	301,3
Nov	106.42	58	100	30	174,0	91,5	1937,2	2035,4	82,5	383,8
Dic	170.79	58	100	31	179,8	146,9	2117,0	2182,3	32,9	416,7

Para una población de 58 usuarios y trabajando con una dotación neta de 100 L/persona-día, el volumen máximo del tanque de almacenamiento es de 416.7 m² para satisfacer la demanda.

Tabla 34. Dimensiones tanque 2

Dimensión	Cantidad
Largo	11.9 m
Ancho	10.0 m
Profundidad	3.5 m

8.3.4 Volumen del interceptor de las primeras aguas

El volumen del interceptor está dado a razón de 1 litro de agua lluvia por cada m² de techo, debido a que se necesita 1 mm de lluvia para lavar un metro cuadrado. Para determinar el volumen se usa la siguiente ecuación.

$$V_{\text{Interc}} = \left(\frac{1 \text{ L}}{\text{m}^2} \cdot A_c \right)$$

Ecuación 10

Donde,

V_{interc} : Volumen del interceptor

A_c : Área de captación

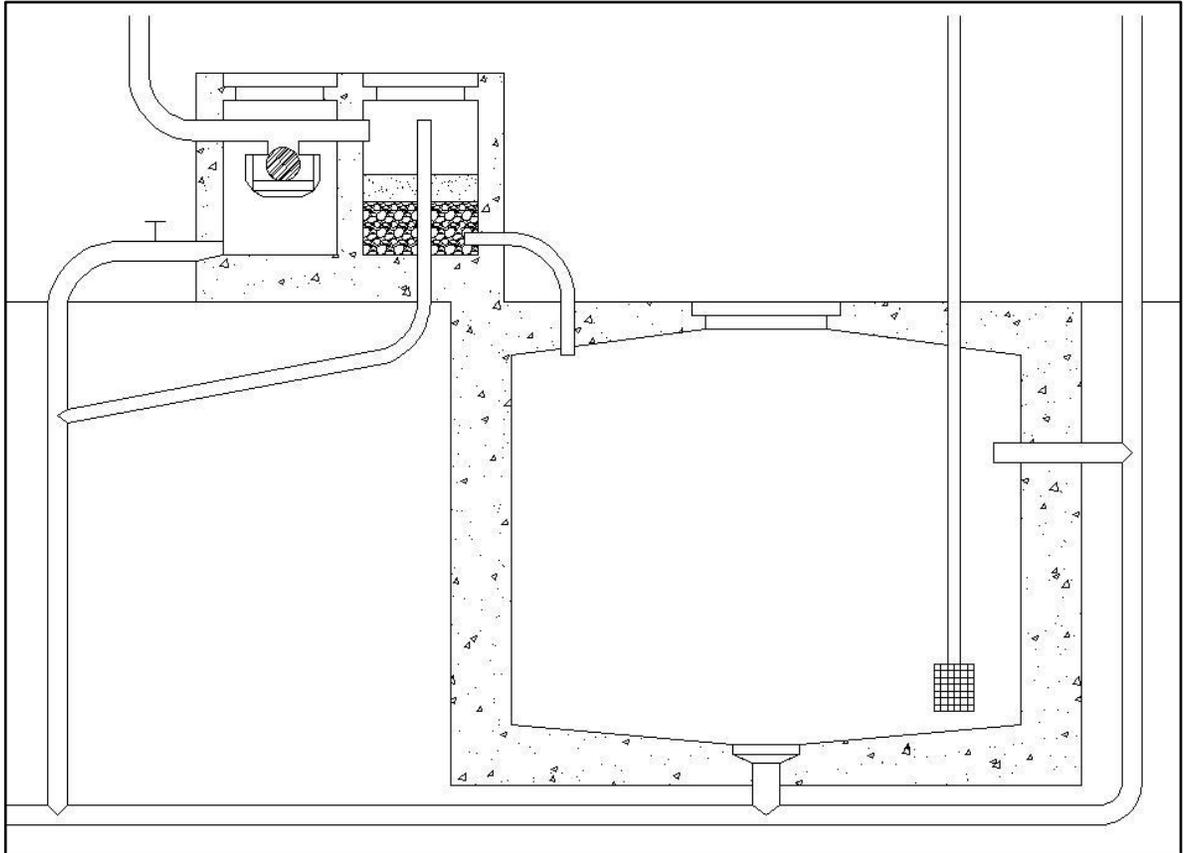
De esta manera, el volumen del interceptor para cada subsistema se presenta a continuación:

Tabla 35. Volumen tanque interceptor

Subsistema	Área (m ²)	Volumen interceptor (L)	Volumen (m ³)
Subsistema 1	2203.5	2204	2.2
Subsistema 2	955.6	956	1.0

Se propone construir el tanque interceptor junto con un filtro a un lado del tanque de almacenamiento, como se muestra en la figura 12.

Figura 12. Sistema de intercepción y almacenamiento



Fuente: Modificado de Obras hidráulicas rurales. Universidad del Valle. Santiago de Cali.

8.3.5 Determinación del área requerida para el filtro

El área del filtro se halla utilizando la siguiente ecuación¹⁰:

$$A_f = \frac{C}{v}$$

Ecuación 11

Donde,

A_f : Área del filtro

v : Velocidad de infiltración ($m^3/m^2/día$)

C : Capacidad de la cisterna (tanque de almacenamiento), en m^3 .

¹⁰ CALDERÓN, Jhon; LARA, Benilda; ZAMBRANO Napoleón. Universidad del Cauca. Popayán. 1997. Pág. 131

Si se utilizan filtros lentos de arena, que funcionan con una velocidad de filtración media¹¹ de 4 m³/m²/día y aplicando la anterior fórmula, el área de cada filtro es la siguiente:

Tabla 36. Área de filtros

Subsistema	Volumen tanque (m ³)	Área del filtro (m ²)
Subsistema 1	262.7	65.7
Subsistema 2	416.7	104.1

Una de las principales desventajas al usar filtros lentos de arena, es que necesitan grandes áreas para que se cumpla con su objetivo. Esta desventaja se puede observar en los resultados, siendo las áreas de los filtros de 66 y 104 m² respectivamente.

Es por esto que se propone realizar los cálculos como si se tratara de un *Filtro grueso dinámico*, cuya velocidad de filtración se encuentra entre 2 y 3 m/h, es decir 48 y 72 m³/m²/día, ya que al ser aguas de lluvia, la cantidad de sólidos presente puede ser retenida sin complicaciones¹².

La filtración gruesa es un sistema de filtración en lechos de grava o arena gruesa con tamaños de grano mayores a los 2.0 mm. La eficiencia de la filtración gruesa se fundamenta en la gran área superficial disponible en los lechos de materia granular, que posibilita la existencia de mecanismos de remoción de naturaleza física, química o biológica, según las características del agua a tratar y las especificaciones de la unidad de filtración (GALVIS, 2004).

La velocidad de filtración puede ser tan baja como la usada en los filtros lentos o tan alta como la usada en filtros rápidos, dependiendo del tipo de filtro, la calidad del agua a tratar y la calidad de agua deseada (GALVIS, 2004).

Según (Galvis G, *et al*, 1999) cada una de las tres capas del lecho filtrante se recomienda de 0.20 m y con las siguientes especificaciones en cuanto a tamaño de la grava: superior: 3 – 6 mm; intermedio: 6 – 13 mm e inferior: 13 – 25 mm.

¹¹ CEPIS, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua. Lima, 2002. Pág. 449

¹² PAS-LAC, Programa de Agua y Saneamiento, América Latina y el Caribe. Tecnologías alternativas para la provisión de servicios de agua y saneamiento en pequeñas localidades.

Utilizando el valor máximo de 72 m³/m²/día (correspondiente a 3 m/h), el área de cada filtro es la siguiente:

Tabla 37. Área definitiva de filtros

Subsistema	Volumen tanque (m ³)	Área del filtro (m ²)
Subsistema 1	262.7	3.6
Subsistema 2	416.7	5.8

Al realizar este cambio, se obtienen áreas mucho más factibles. De esta manera, se proponen dos filtros rectangulares, uno para cada subsistema con las siguientes dimensiones:

Tabla 38. Dimensionamiento de los filtros

Subsistema	Área del filtro (m ²)	Largo (m)	Ancho (m)
Subsistema 1	3.6	2.4	1.5
Subsistema 2	5.8	3.0	1.9

Se recomienda que los filtros tengan profundidades de 1.2 m, con lecho filtrante de 0.8 m compuesto de grava con la gradación especificada previamente.

8.3.6 Sistema de conducción

El sistema de conducción lo componen las canaletas y bajantes que permiten recolectar el agua de lluvia.

8.3.6.1 Determinación del caudal de diseño en la canaleta

$$Q_{\text{diseño}} = \frac{A \cdot I \cdot C_e}{3600}$$

Ecuación 12

Donde,

- $Q_{\text{diseño}}$: Caudal de diseño que circula por la canaleta (L/s)
 A : Área de techo a evaluar (m²)
 I : Intensidad pluviométrica (mm/h)
 C_e : Coeficiente de escorrentía (a dimensional)

8.3.6.2 Selección de la canaleta a utilizar

En la ecuación de Manning

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$$

Ecuación 13

Donde,

R: Radio hidráulico = A/Pm

S: pendiente de la canaleta (%)

n: Coeficiente de rugosidad (a dimensional)

Este se establece de acuerdo con el material de la canaleta (tabla 39).

A: Área transversal del canal calculada con el tirante hidráulico.

P: Perímetro mojado.

Teniendo en cuenta las dimensiones de la canaleta,

$$V = \frac{1}{n} \cdot \frac{(b \cdot y)^{2/3}}{(b + 2y)^{2/3}} \cdot S^{1/2}$$

Ecuación 14

Donde,

b: Ancho de la canaleta

y: Profundidad del agua en la canaleta (m), cuyo valor es 60% del valor de h.

Chequeo: La velocidad de flujo en la canaleta debe ser menor a 1.0 m/s

Finalmente, con la ecuación de continuidad

$$Q_{\text{calc}} = \frac{1}{n} \cdot \frac{(b \cdot y)^{5/3}}{(b + 2y)^{2/3}} \cdot S^{1/2}$$

Ecuación 15

Donde,

Q_{calc} : Caudal calculado con las dimensiones de la canaleta (m³/s)

Tabla 39. Coeficientes de rugosidad de Manning

Material	Coeficiente
Concreto simple hasta 0.45 m de diámetro	0.011
Concreto reforzado de 0.60 m de diámetro o mayor	0.011
Asbesto cemento	0.010
Acero galvanizado	0.014
Acero sin revestimiento	0.014
Acero con revestimiento	0.011
Polietileno de alta densidad	0.009
PVC (Policloruro de vinilo)	0.009

Fuente: VALDEZ y GUTIÉRREZ. Abastecimiento de agua potable. México. 1994.

Utilizando canaletas comerciales de PVC, se cumple sin problema con las especificaciones de diseño establecidas.

Una canaleta comercial de PVC presenta las siguientes dimensiones:

Tabla 40. Dimensiones canaleta comercial de PVC

Dimensión	Cantidad
Largo	3.00 m
Ancho	0.16 m
Alto	0.10 m

El cálculo se realizó para cada una de los subsistemas de acuerdo a las áreas que se tienen proyectadas para ser utilizadas, chequeando que la velocidad de flujo en las canaletas, sea menor que 1.0 m/s. Los resultados se muestran en la tabla 41.

Para realizar el cálculo de las canaletas, es necesario determinar el área de las secciones de techo a utilizar en cada edificación. Por lo tanto en los anexos E y F se muestra con detalle los techos de las edificaciones en cada subsistema.

Tabla 41. Caudales de diseño de canaletas

SUBSISTEMA 1						
Edificio	Áreas (m²/s)	Q diseño (L/s)	Q (m³/s)	Q calc (m³/s)	V flujo (m/s)	
Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico	A1	326.7	24.50	0.025	0.01	0.83
	A2	109.5	8.21	0.008	0.01	0.83
	A3	109.5	8.21	0.008	0.01	0.83
	A4	124.6	9.35	0.009	0.01	0.83
	A5	66.3	4.97	0.005	0.01	0.83
	A6	41.1	3.08	0.003	0.01	0.83
	A7	214.1	16.06	0.016	0.01	0.83
	A8	400.1	30.01	0.030	0.01	0.83
	A9	69.6	5.22	0.005	0.01	0.83
Estación de Guardacostas de Tumaco	A1	135	10.13	0.01	0.01	0.83
	A2	93.1	6.98	0.01	0.01	0.83
	A3	81.2	6.09	0.01	0.01	0.83
	A4	190.4	14.28	0.01	0.01	0.83
	A5	241.7	18.13	0.02	0.01	0.83
SUBSISTEMA 2						
Edificio	Áreas (m²/s)	Q diseño (L/s)	Q (m³/s)	Q calc (m³/s)	V flujo (m/s)	
Módulo habitacional CCCP - CP02	A1	13.1	0.98	0.001	0.01	0.83
	A2	30.4	2.28	0.002	0.01	0.83
	A3	204.5	15.34	0.015	0.01	0.83
	A4	12.1	0.91	0.001	0.01	0.83
	A5	25.5	1.91	0.002	0.01	0.83
	A6	205.4	15.41	0.015	0.01	0.83
	A7	13.7	1.03	0.001	0.01	0.83
	A8	13.7	1.03	0.001	0.01	0.83
Módulo habitacional EGUT	A1	21.6	1.62	0.002	0.01	0.83
	A2	199	14.93	0.015	0.01	0.83
	A3	7.3	0.55	0.001	0.01	0.83
	A4	7.3	0.55	0.001	0.01	0.83
	A5	21.6	1.62	0.002	0.01	0.83
	A6	157.9	11.84	0.012	0.01	0.83
	A7	10.1	0.76	0.001	0.01	0.83
	A8	10.1	0.76	0.001	0.01	0.83

Para estos caudales es posible la utilización de canaletas comerciales de PVC de 3 metros de longitud. Teniendo en cuenta esto y las dimensiones de cada superficie de captación, en la siguiente tabla se presenta la cantidad aproximada de canaletas a utilizar para cada subsistema.

Tabla 42. Número de canaletas por subsistema

Subsistema	Edificio	No. de canaletas
Subsistema 1	CCCP	62
	EGUT	54
	Subtotal	116
Subsistema 2	Módulo CCCP – CP02	43
	Módulo EGUT	43
	Subtotal	86
TOTAL		202

En esta determinación se tienen en cuenta sólo las edificaciones de las cuales se va a realizar captación, dando como resultado aproximado un total de 202 canaletas para el sistema completo.

Un bajante comercial de PVC asegura la evacuación de hasta 150 m². Un bajante rectangular de PVC evacua aproximadamente 120 m² de superficie, y las circulares de 3" y 2" aproximadamente 120 m² y 60 m² respectivamente.

Si se utilizan bajantes circulares de 3", las cantidades necesarias para cada subsistema son las siguientes:

Tabla 43. Número de bajantes por subsistema

Subsistema	Edificio	Áreas (m ²)	No. de bajantes
Subsistema 1	CCCP	1461.9	12
	EGUT	741.6	7
	Subtotal		19
Subsistema 2	Módulo CCCP – CP02	518.3	5
	Módulo EGUT	437.3	4
	Subtotal		9
TOTAL			28

Es necesario que se instalen mallas o rejillas en los canales como se muestra en la figura 4 para evitar la entrada de sólidos (hojas, ramas, etc.) al sistema.

8.3.7 Sistema de distribución

El sistema de distribución del suministro de agua para el edificio debe diseñarse de manera que abastezca los aparatos y equipos con la mínima cantidad de agua necesaria para obtener un funcionamiento que satisfaga los requisitos de salubridad con presiones y velocidades adecuadas (ICONTEC, 2004).

Es necesario aclarar que el alcance del proyecto es determinar alternativas para la captación de agua lluvias en la base naval, por lo tanto, el diseño específico del sistema de almacenamiento y del sistema de bombeo se formulan como un pre dimensionamiento teniendo en cuenta que no se tienen los esquemas de las redes. En futuros proyectos se deben diseñar estos sistemas con detalle de forma que cumpla con los requisitos para el abastecimiento del sistema.

8.3.7.1 Caudal de bombeo (caudal máximo posible)

Se establece con base en la suma de los caudales mínimos requeridos para el funcionamiento adecuado de los aparatos sanitarios. Según la red que se tenga, este caudal se estima como la suma de los caudales requeridos por cada aparato sanitario (RODRÍGUEZ, 2005).

Para estimar la demanda del suministro de agua de los diferentes aparatos sanitarios, expresada en unidades de consumo bajo diversas condiciones de servicio, se debe considerar la Tabla 42 (ICONTEC, 2004).

La *unidad de consumo* se define como el caudal demandado por un lavamanos de tipo privado, por grifo, que equivale a un caudal de 1 pie³/min, es decir, un factor de seguridad de 2.5 con respecto al caudal mínimo requerido por el mismo aparato para su funcionamiento adecuado (RODRÍGUEZ, 2005).

Tabla 44. Unidades de consumo por aparato sanitario

Aparato	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de gasto
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Lavamanos	Público	Llave	4
Fregadero de cocina	Hotel restaurante	Llave	4
Lavadero de 1 a 3 compartimientos	Privado	Llave	3
Ducha	Publica	Válvula mezcladora	4
Orinal	Publico	Llave	2
Lavadora	Pública	Llave	4

Fuente: ICONTEC. Código colombiano de fontanería. NTC 1500/2004

El caudal de bombeo se puede determinar utilizando el método de Hunter modificado¹³ (norma Icontec 1500), el cual trata de transformar el método Hunter

¹³ RODRÍGUEZ, Héctor A. Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. 2005. Pág. 94

en un método relativamente “económico” desde el punto de vista de la estimación de los caudales o gastos de los aparatos.

Rodríguez en su libro presenta las siguientes ecuaciones para facilitar el cálculo del caudal máximo probable en función de las unidades de consumo.

Para unidades de consumo entre $3 < UC < 240$:

- $Q = 0.1163(UC)^{0.6875}$ para aparatos comunes **Ecuación 16**
- $Q = 0.7243(UC)^{0.384}$ para aparatos con fluxómetro **Ecuación 17**

Para unidades de consumo entre $260 < UC < 1000$:

- $Q = 0.074(UC)^{0.7504}$ para aparatos comunes **Ecuación 18**
- $Q = 0.3356(UC)^{0.5281}$ para aparatos con fluxómetro **Ecuación 19**

Esta información y el estimativo de dispositivos y aparatos que se encuentran en la unidad, permite calcular el total de unidades de gasto en cada subsistema, para determinar la demanda de cada uno.

Tabla 45. Determinación de unidades de gasto (UG)

Subsistema	Ubicación	Equipo o dispositivo	Cant	UG	ΣUG	Subtotal	TOTAL
Subsistema 1	CP02	Sanitario	4	5	20	34	122
		Orinal	1	2	2		
		Lavamanos	2	4	8		
		Lavaplatos	1	4	4		
	CCCP	Sanitario	6	5	30	64	
		Orinal	3	2	6		
		Lavamanos	6	4	24		
		Lavaplatos	1	4	4		
	EGUT	Sanitario	2	5	10	24	
		Lavamanos	2	4	8		
		Orinal	3	2	6		
	Subsistema 2	Restaurante y cámara general	Lavaplatos	5	4	20	
Orinal			2	2	4		
Sanitario			4	5	20		
Lavamanos			4	4	16		
Módulo CCCP – CP2		Sanitario	12	5	60	212	
		Lavamanos	24	4	96		
		Ducha	12	4	48		
Módulo EGUT		Lavadoras de ropa	2	4	8	156	
		Sanitario	12	5	60		
		Lavamanos	12	4	48		
		Ducha	12	4	48		

Con estos valores calculados, se procedió a determinar el caudal de bombeo para cada subsistema, cuyo resultado se muestra en la siguiente tabla. El subsistema 1 se trabajó con la ecuación 16, mientras que para el cálculo del caudal en el subsistema 2 se utilizó la ecuación 18, de acuerdo con los criterios dados en cada ecuación.

Tabla 46. Caudales de bombeo

Subsistema	UC	Q _b (L/s)	Q _b (m ³ /s)
Subsistema 1	122	3.162	0.0032
Subsistema 2	428	6.980	0.0070

8.3.7.2 Cálculo del diámetro de la tubería de succión

Con base en el caudal de bombeo determinado en el paso anterior y la velocidad media de succión (tabla 47), es posible establecer el diámetro que debe tener la tubería de succión para el sistema de bombeo.

$$D_s = 1.1284 \sqrt{\frac{Q_b}{V}}$$

Ecuación 20

Donde:

D_s: Diámetro de la tubería de succión (m)

Q_b: Caudal de bombeo (m³/s)

V: Velocidad media de succión (m/s)

Tabla 47. Velocidad media en tuberías que origina diseños más económicos

Tipo tubería	Velocidad media (m/s)	
	Mínima	Máxima
Tuberías de succión en bombas centrífugas, de acuerdo con la carga de succión, longitud, temperatura del agua (<70°C)	0.5	1.0
Tuberías de descarga en bombas	1.5	2.0

Fuente: SOTELO, A., Gilberto. Hidráulica General

Tomando el valor máximo dado por Sotelo, se determinó el diámetro de la tubería de succión.

Tabla 48. Diámetro de la tubería de succión

Subsistema	Q _b (m ³ /s)	D _s (m)	D _s (pulg)	Ø comercial (pulg)
Subsistema 1	0.0032	0.063	2.5	3.0
Subsistema 2	0.0070	0.094	3.7	4.0

El diámetro a utilizar en la tubería de succión para el subsistema 1 es de 3.0 pulgadas, mientras que para el subsistema 2 es de 4.0 pulgadas.

8.3.7.3 Cálculo del diámetro de la tubería de descarga o impulsión

El cálculo de la tubería de impulsión puede ser hallado empleando la siguiente ecuación:

$$d_i = 1.3 \left(\frac{n}{24} \right)^{0.25} \sqrt{Q_b}$$

Ecuación 21

Donde,

d_i: Diámetro de la tubería de impulsión (m)

n: Número de horas de bombeo (horas)

Q_b: Caudal de bombeo (m³/s)

El número de horas de bombeo y el número de arranques en un día, depende del rendimiento de la fuente, el consumo de agua, la disponibilidad de energía y el costo de operación. Por razones económicas y operativas, es conveniente adoptar un periodo de bombeo de ocho horas diarias, que serán distribuidas en el horario más ventajoso. En situaciones excepcionales se adoptará un periodo mayor, pero considerando un máximo de 12 horas (OPS/CEPIS, 2005).

Tabla 49. Diámetro de la tubería de impulsión

Subsistema	Q _b (m ³ /s)	D _s (pulg)	d _i (m)	d _i (pulg)	Ø comercial (pulg)
Subsistema 1	0.0032	2.5	0.056	2.2	3.0
Subsistema 2	0.0070	4.0	0.083	3.2	4.0

Los diámetros comerciales a usar son de 3.0 y 4.0 pulgadas para el subsistema 1 y 2 respectivamente.

8.3.7.4 Cálculo de pérdidas por fricción

La pérdida de carga por fricción (J) se evalúa mediante la fórmula de Hazen – Williams, como sigue:

$$J = 10.67 \cdot \frac{Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.87}}$$

Ecuación 22

Donde,

- J: Pérdida de carga unitaria en tanto por uno (m.c.a./m)
- Q: Caudal (m³/s)
- C: Coeficiente de Hazen Williams (a dimensional) (ver tabla 50).
- D: Diámetro de la tubería (m)

Tabla 50. Coeficiente de Hazen – Williams

Material	Coeficiente de Hazen – Williams
Asbesto cemento	140
Latón	135
Tabique	100
Fierro fundido (nuevo)	130
Concreto (cimbra metálica)	140
Concreto (cimbra madera)	120
Concreto simple	135
Cobre	135
Acero corrugado	--
Acero galvanizado	120
Acero (esmaltado)	148
Acero (nuevo, sin recubrimiento)	145
Acero (remachado)	110
Plomo	135
Plástico (PVC)	150
Madera (duelas)	120
Vidrio (laboratorio)	140

Fuente: Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods

Utilizando tubería de PVC que tiene un coeficiente de 150 y de acuerdo con los diámetros comerciales adoptados, los valores de J para cada subsistema son:

Tabla 51. Pérdida de carga unitaria para cada subsistema

Subsistema	Diámetro (m)	Q _b (m ³ /s)	J (m.c.a./m)
Subsistema 1	0.063	0.0032	0,006
Subsistema 2	0.094	0.0070	0,007

Con estos valores de J se calculan las pérdidas por fricción multiplicándolo a la longitud total de la tubería, como se muestra en la siguiente fórmula:

$$H_f = L \cdot J$$

Ecuación 23

Donde,

- H_f : Pérdidas por fricción o rozamiento
 L: Longitud total de la tubería
 J: Pérdida de carga unitaria en tanto por uno (m.c.a./m)

La longitud total de la tubería viene dada por la longitud normal de la misma, más la longitud equivalente por pérdidas de presión en accesorios. La longitud equivalente de cada accesorio, se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 52. Longitudes equivalentes a pérdidas locales (en metros de tubería de hierro fundido). (Azevedo N., J. y Acosta A., G. 1975)

Accesorio	Diámetro D		13	19	25	32	38	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
	mm	Pulg.	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6	8	10	12	14
Codo 90° Radio largo			0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.3	5.5	6.1	7.3
Codo 90° radio medio			0.4	0.6	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.8	3.7	4.3	5.5	6.7	7.9	9.5
Codo 90° Radio corto			0.5	0.7	0.8	1.1	1.3	1.7	2.0	2.5	3.4	4.2	4.9	6.4	7.9	9.5	10.5
Codo 45°			0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.2	1.5	1.9	2.3	3.0	3.8	4.6	5.3
Curva 90° R/D - 1 1/2			0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6	1.9	2.4	3.0	3.6	4.4
Curva 90° R/D -1			0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.3	1.6	2.1	2.5	3.3	4.1	4.8	5.4
Curva 45°			0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.1	1.5	1.8	2.2	2.5
Entrada normal			0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.6	2.0	2.5	3.5	4.5	5.5	6.2
Entrada de Borda			0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11.0
Válvula de compuerta abierta			0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4
Válvula tipo globo abierta			4.9	6.7	8.2	11.3	13.4	17.4	21.0	26.0	34.0	43.0	51.0	67.0	85.0	102.0	120.0
Válvula de ángulo abierta			2.6	3.6	4.6	5.6	6.7	8.5	10.0	13.0	17.0	21.0	26.0	34.0	43.0	51.0	60.0
Té de paso directo			0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.6	2.1	2.7	3.4	4.3	5.5	6.1	7.5
Té salida lateral			1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0
Té salida bilateral			1.0	1.4	1.7	2.3	2.8	3.5	4.3	5.2	6.7	8.4	10.0	13.0	16.0	19.0	22.0
Válvula de pie			3.6	5.6	7.3	10.0	11.6	14.0	17.0	20.0	23.0	30.0	39.0	52.0	65.0	78.0	90.0
Salida de tubería			0.4	0.5	0.7	0.9	1.0	1.5	1.9	2.2	3.2	4.0	5.0	6.0	7.5	9.0	11.0
Válvula de retención tipo liviana			1.1	1.6	2.1	2.7	3.2	4.2	5.2	6.3	6.4	10.4	12.5	16.0	20.0	24.0	28.0
Válvula de retención tipo pesado			1.6	2.4	3.2	4.0	4.8	6.4	8.1	9.7	12.9	16.1	19.3	25.0	32.0	38.0	45.0

Nota: las longitudes equivalentes de la tabla corresponden a tuberías de hierro fundido. Deben usarse factores de corrección para otros materiales, $FC = (C_{material}/100)^{1.85}$

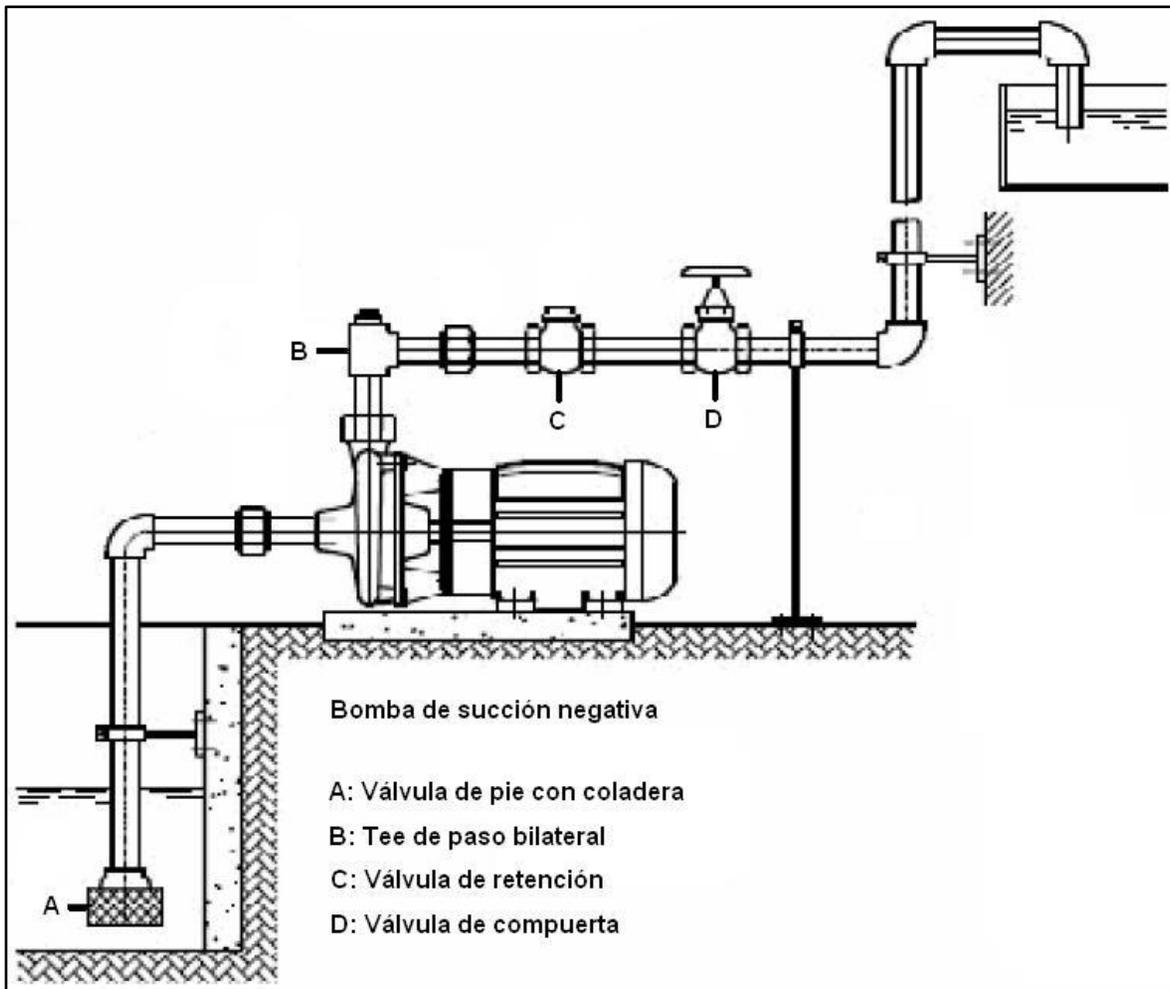
Fuente: GUEVARA, María Elvira. Ayudas Flujo a presión.

Generalmente, un sistema de bombeo consta de los accesorios en la tubería de succión y de impulsión que se muestran en la figura 13.

Estos accesorios generan ciertas pérdidas, que se calcularon de acuerdo con la longitud equivalente que supone cada uno y los resultados se muestran en la siguiente tabla.

Se realizó la respectiva corrección para los accesorios en PVC, que como ya se dijo tiene un coeficiente de 150 y aplicando la fórmula dada por Guevara, que genera un factor de corrección de 2.12.

Figura 13. Accesorios en un sistema de bombeo



Fuente: OPS/CEPIS. Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Lima, 2005

Tabla 53. Accesorios para el sistema de bombeo

Accesorio	Diámetro	Longitud equivalente Real			Longitud equivalente Modificada		
		2.5	3.0	4.0	2.5	3.0	4.0
Codo 90° Radio corto		2.0	2.5	3.4	4.2	5.3	7.2
Válvula de compuerta		0.4	0.5	0.7	0.8	1.1	1.5
Válvula de pie		17.0	20.0	23.0	36.0	42.3	48.7
Válvula de retención		8.1	9.7	12.9	17.1	20.5	27.3
Té salida bilateral		4.3	5.2	6.7	9.1	11.0	14.2

En la siguiente tabla se presentan los valores estimados en longitud equivalente para cada subsistema, teniendo en cuenta los datos presentados anteriormente.

Tabla 54. Longitudes equivalentes para cada subsistema

Tubería de Succión				
	Accesorio	Cantidad	Le 3.0"	Le total
Subsistema 1	Válvula de pie con coladera	1	42.3	47.6
	Codo 90° Radio corto	1	5.3	
Tubería de impulsión				
	Accesorio	Cantidad	Le 3.0"	Le total
Subsistema 1	Válvula de retención	1	20.5	48.5
	Válvula de compuerta	1	1.1	
	Codo 90° R. corto	3	5.3	
	Té de paso bilateral	1	11.0	
	Accesorio	Cantidad	Le 4.0"	Le total
Subsistema 2	Válvula de retención	1	27.3	64.6
	Válvula de compuerta	1	1.5	
	Codo 90° R. corto	3	7.2	
	Té de paso bilateral	1	14.2	

Para el cálculo de las pérdidas, se asumió una longitud de 6 metros para las tuberías de succión, a la cual se le suma la longitud equivalente de los accesorios de acuerdo al diámetro que se calculó para cada subsistema.

Tabla 55. Pérdidas por fricción en tubería de succión

Subsistema	Long (m)	Le (m)	L total (m)	J (m.c.a./m)	Hf (m)
Subsistema 1	6.0	47.6	53.6	0.006	0.35
Subsistema 2	6.0	55.9	61.9	0.007	0.43

Para cada uno de los sistemas se plantea que el agua lluvia captada sea impulsada por las bombas a un tanque elevado del cual se distribuye posteriormente el agua a cada edificio por acción de la gravedad.

Debido a que no se tiene un esquema específico de las instalaciones hidráulicas, se hace el siguiente planteamiento: el subsistema 1 consta de edificios de una sola planta, por lo que se necesita aproximadamente una altura de 10.0 metros de presión mínima y 3.0 metros de seguridad para garantizar la presión del sistema. En el subsistema 2 los tres edificios existentes son de dos plantas, por lo tanto, la altura del tanque elevado debe ser aproximadamente de 18.0 metros (15.0 metros de presión mínima y 3.0 metros para garantizar la presión del sistema).

Suponiendo una distancia de 6.0 metros desde los tanques de almacenamiento de agua lluvia hasta los tanques elevados, la longitud de la tubería de impulsión para cada subsistema sería la siguiente:

Tabla 56. Pérdidas por fricción en tubería de impulsión

Subsistema	Long (m)	Le (m)	L total (m)	J (m.c.a./m)	Hf (m)
Subsistema 1	19.00	48.5	67.5	0.006	0.44
Subsistema 2	24.00	64.6	88.6	0.007	0.61

8.3.7.5 Carga dinámica total de la bomba (CTD) ó Altura dinámica total

La altura dinámica total se compone de la altura dinámica de succión y de la altura dinámica de impulsión.

a. Cálculo de la altura dinámica de succión

En condiciones ideales de temperatura, altura al nivel del mar, equipos perfectos, etc., la altura máxima de succión podría tomarse como de 10.33 m.c.a. (Calderón, 1992).

Según Calderón, para efectos prácticos la altura máxima de succión se calcula considerando las siguientes pérdidas, las cuales le deben ser restadas a 10.33 m.c.a.:

1. Por altura sobre el nivel del mar (Ha): De acuerdo con Calderón, las posibles pérdidas son las siguientes:

Tabla 57. Pérdidas por altura sobre el nivel del mar

Altura (m)	Pérdida (m)	Altura (m)	Pérdida (m)
100	0.125	1200	1.440
200	0.250	1300	1.550
300	0.375	1400	1.660
400	0.500	1500	1.770
500	0.625	1600	1.880
600	0.750	1700	1.990
700	0.870	1800	2.090
800	0.990	1900	2.190
900	1.110	2000	2.290
1000	1.220	3000	3.230
1100	1.330		

Fuente: CALDERÓN R., John. Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios. Universidad del Cauca. 1992

La altura de la zona es de 2 m.s.n.m., por lo tanto el valor de las pérdidas por altura es prácticamente nulo, es así que para este caso no se tiene en cuenta este valor.

2. Por temperatura (Ht): En el caso de las pérdidas por temperatura, estas se estiman con la siguiente tabla:

Tabla 58. Pérdidas por temperatura

Grados Centígrados	Pérdidas (m)
5	0.09
10	0.13
15	0.17
20	0.24
25	0.32
30	0.43
40	0.75
50	1.25

Fuente: CALDERÓN R., John. Instalaciones hidráulicas y sanitarias en edificios. Universidad del Cauca. 1992

Como se había dicho anteriormente, la temperatura media de Tumaco es de 25.8°C. Interpolando este valor con la tabla anterior, se tiene que la pérdida por temperatura en cada subsistema es de 0.34 metros.

3. Por depresiones barométricas (Hdb): Steel recomienda un valor de 0.36 metros.
4. Por vacío imperfecto de la bomba (Hvb): Para este valor, Steel recomienda adoptar valores entre 1.80 y 2.40 metros.

5. Por fricción en la tubería y accesorios (Hf): Calculado con la fórmula de Hazen – Williams anteriormente descrita.
6. Por velocidad (Hv): Está dada por la cabeza de velocidad, que se calcula usando la siguiente fórmula:

$$\frac{V^2}{2g}$$

Ecuación 24

Donde,

V: Velocidad de flujo (m/s)

g: Valor de la gravedad (9.8 m/s²)

El valor de la velocidad de flujo es el mismo que se utilizó para el cálculo del diámetro de la tubería de succión dado en la tabla 47. De esta manera, las pérdidas por velocidad en cada subsistema son de 0.05 metros.

La altura máxima de succión se calcula de la siguiente manera:

$$AMS = 10.33 - H_t - H_a - H_{db} - H_{vb} - H_f - H_v \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde,

AMS: Altura máxima de succión (m)

Ht: Pérdidas por temperatura (m)

Ha: Pérdidas por altura sobre el nivel del mar (m)

Hdb: Pérdidas por depresiones barométricas (m)

Hvb: Pérdidas por vacío imperfecto de la bomba (m)

Hf: Pérdidas por fricción en la succión (m)

Hv: Pérdidas por velocidad (m)

Tabla 59. Altura máxima de succión para cada subsistema

Subsistema	Ht (m)	Hdb (m)	Hvb (m)	Hf (m)	Hv (m)	AMS (m)
Subsistema 1	0.34	0.36	2.4	0.35	0.05	6.83
Subsistema 2	0.34	0.36	2.4	0.43	0.05	6.75

La altura dinámica de succión (ADS) es la suma de la altura estática de succión, medida según sea positiva o negativa, pérdidas por fricción en tuberías y accesorios, y pérdidas por velocidad (Calderón, 1992).

$$ADS = AES + H_f + H_v$$

Ecuación 26

Donde,

ADS: Altura dinámica de succión (m)

AES: Altura estática de succión (m)

H_f: Pérdidas por fricción (m)

H_v: Pérdidas por velocidad (m)

Tabla 60. Cálculo de la altura dinámica de succión

Subsistema	AES (m)	H _f (m)	H _v (m)	ADS (m)
Subsistema 1	2.0	0.35	0.05	2.4
Subsistema 2	2.0	0.43	0.05	2.5

b. Cálculo de la altura dinámica de impulsión

La altura dinámica de impulsión – ADI se calcula considerando la altura estática de impulsión – AEI (corresponde a la diferencia de nivel entre la salida de la bomba y la válvula del flotador del tanque alto), las pérdidas por fricción en las tuberías y accesorios de la impulsión y la presión de servicio requerida por la válvula del flotador, la cual puede tomarse como 5.0 m.c.a. (CALDERÓN, 1992).

$$ADI = AEI + H_f + P_s$$

Ecuación 27

Donde,

ADI: Altura dinámica de impulsión (m)

AEI: Altura estática de impulsión (m)

P_s: Presión de servicio (5.0 m)

De acuerdo al planteamiento hecho anteriormente para el cálculo de las pérdidas por fricción, se tendría una AEI de 13.0 metros para el subsistema 1 con edificios de una sola planta y de 18.0 metros para el subsistema 2 que cuenta con edificios de dos plantas. La altura dinámica de impulsión para los subsistemas es la siguiente:

Tabla 61. Cálculo de la altura dinámica de impulsión - ADI

Subsistema	AEI (m)	H _f (m)	P _s (m)	ADI (m)
Subsistema 1	13.0	0.44	5.0	18.4
Subsistema 2	18.0	0.61	5.0	23.6

Finalmente, la altura dinámica total (ADT), también conocida como Carga Dinámica Total (CDT), corresponde a la sumatoria de la altura dinámica de succión y de impulsión.

$$ADT = ADS + ADI \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde,

ADT: Altura Dinámica Total (m)
 ADS: Altura Dinámica de succión (m)
 ADI: Altura dinámica de impulsión (m)

Tabla 62. Cálculo de la Altura Dinámica Total - ADT

Subsistema	ADS (m)	ADI (m)	ADT (m)
Subsistema 1	2.4	18.4	20.8
Subsistema 2	2.5	23.6	26.1

8.3.7.6 Potencia hidráulica de la bomba

$$P_h = \frac{Q \cdot ADT}{76 \cdot n}$$

Ecuación 29

Donde:

Ph: Potencia hidráulica de la bomba en caballos de fuerza (HP)
 Q: Caudal de Bombeo (L/s)
 ADT: Altura dinámica total (m)
 n: Eficiencia de la bomba (0.65)

8.3.7.7 Potencia eléctrica de la bomba

$$P_e = 1.20 \cdot P_h$$

Ecuación 30

Donde:

Pe: Potencia eléctrica (HP)
 Ph: Potencia Hidráulica (HP)

Tabla 63. Determinación de la potencia para cada subsistema

Subsistema	ADT (m)	Q bombeo (L/s)	Ph (HP)	Pe (HP)
Subsistema 1	20.8	3.16	1.33	1.60
Subsistema 2	26.1	6.98	3.69	4.42

Se pueden utilizar electrobombas de 2.0 y 4.5 HP respectivamente, ya que estas son las que se encuentran en el mercado.

8.4 COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

8.4.1 Costos aproximados de construcción de tanques y filtros

Para la determinación aproximada de los costos de construcción de los tanques de almacenamiento es necesario calcular el volumen de los muros, teniendo en cuenta un espesor de 30 cm.

Tabla 64. Volumen de concreto para cada tanque de almacenamiento

Subsistema	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen concreto (m ³)
Subsistema 1	10.0	3.5	7.5	81.75
Subsistema 2	11.9	3.5	10.0	117.4

Actualmente, cada m³ de concreto tiene un costo de \$260000, y por cada m³ de concreto se necesitan 100 kg de hierro, cada kg con un valor de \$4500. De esta manera en la siguiente tabla se muestran los resultados.

Tabla 65. Costos de construcción de los tanques de almacenamiento

Subsistema	Vol. concreto (m ³)	Costo (\$)	Cant. hierro (kg)	Costo (\$)	TOTAL (\$)
Subsistema 1	81.75	21'255000	8175	36'787500	58'042500
Subsistema 2	117.39	30'521400	11739	52'825500	162'348600

En el caso de los filtros, el espesor sería de 0.2 m con un lecho filtrante de 0.8 m. El costo aproximado del m³ de grava es de \$120000.

Tabla 66. Volumen de concreto para cada filtro

Subsistema	Largo (m)	Alto (m)	Ancho (m)	Volumen concreto (m ³)
Subsistema 1	2.4	1.2	1.5	3.31
Subsistema 2	3.0	1.2	1.9	4.63

Tabla 67. Costos de construcción de los filtros

Subsistema	V conc (m ³)	Costo (\$)	Cant. hierro (kg)	Costo (\$)	V grava (m ³)	Costo (\$)	TOTAL (\$)
Subsistema 1	3.31	861120	331,2	1'490400	2.88	345600	2'697120
Subsistema 2	4.63	1'204320	463.2	2'084400	4.56	547200	3'835920

Finalmente, los costos aproximados de ejecución de esta propuesta de captación y aprovechamiento de aguas lluvias son.

Tabla 68. Costos (aproximados) de implementación del sistema

Item	Cantidad	Valor unitario (\$)	Valor total (\$)
Canal en PVC por 3 m	202	53855	10'878710
Bajante redonda por 3 m en PVC 3"	28	26790	750120
Accesorios para canal en PVC	100	63000	6'300000
Accesorios para bajante en PVC	28	38000	1'064000
Tanque de almacenamiento en concreto			141'389400
Filtros			6'533040
Electrobomba 4,5 HP	1	600000	600000
Electrobomba 2.0 HP	1	200000	200000
TOTAL			\$ 167'715270

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Cuando se piensa en la creación de un programa de ahorro de agua en cualquier sector, con el propósito de obtener las estrategias adecuadas, es importante realizar un diagnóstico exhaustivo de todas las actividades que se ejecutan en la zona, determinando caudales que permitan evidenciar los consumos reales y de esta manera plantear las medidas de ahorro y uso eficiente que sean pertinentes.
- Las estrategias para el ahorro y uso eficiente del agua constituyen una valiosa herramienta para disminuir un consumo del recurso, pero es necesaria la colaboración de todo el personal involucrado, para que se logren los resultados esperados.
- Es recomendable que se ejecuten en lo posible las medidas de ahorro proyectadas con el fin de obtener la disminución esperada en el consumo, y de igual manera, realizar un continuo seguimiento de las medidas implementadas para establecer la eficiencia de las mismas.
- La captación de aguas lluvias representa una alternativa adecuada para el abastecimiento de agua y su implementación en la base naval es susceptible de ser replicada en el resto de la población de Tumaco, que también sufre por desabastecimiento del vital líquido, siendo además útil en la generación de conciencia en cuanto al uso racional del agua.
- Según los resultados obtenidos en la determinación del sistema de captación, se observa que con las condiciones meteorológicas de la zona y con las áreas de captación disponibles, se puede satisfacer la demanda de agua para los usuarios de la base naval, es decir, que el sistema es técnicamente viable.
- Para que la oferta de agua pueda cubrir con la demanda que se tiene en la base naval, es necesario restringir los usos del agua y que se implementen las recomendaciones dadas en cuanto al ahorro del recurso.
- El agua recolectada puede ser potabilizada con la implementación de filtros lentos de arena y grava, lo que permite la retención de material suspendido y particulado que se va depositando entre las capas de diferente diámetro, y

finalmente se debe realizar desinfección con cloro de acuerdo a las condiciones del agua. Para la determinación de las dosis óptimas de cloro es necesario que se efectúen pruebas de laboratorio.

- Es necesario que se constituya un plan de mantenimiento del sistema recolector. La instalación de rejillas en las mismas, constituye una forma eficiente de prevenir el ingreso de elementos al sistema. De igual manera, es importante que se desaloje el interceptor después de la primera lluvia cuando se esté en invierno, y en verano (periodo seco) se debe realizar después de que pasen tres días de inactividad lluviosa. Esto con el fin de que se arrastren hacia el interceptor polvo y otras partículas que se hayan depositado durante este tiempo.
- Una alternativa para el abastecimiento de agua la constituye la utilización del agua de lluvia captada para recargar los acuíferos de los cuales se está tomando el agua actualmente. Aprovechando la infraestructura de los tanques de almacenamiento de agua subterránea sólo es necesaria la instalación de canaletas y bajantes en los edificios que conforman la base naval, y en este caso, se puede pensar en la implementación de un sistema de tratamiento como el que fue descrito anteriormente. Sin embargo es necesario que se realicen pruebas para determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas actuales de dichos pozos y realizar un adecuado mantenimiento del sistema de aguas residuales existente.
- Esta propuesta solamente muestra la viabilidad que existe para la implementación de un sistema de captación y aprovechamiento de aguas lluvias, no constituye un diseño completo del mismo. Los datos aquí presentados deben tomarse como pre dimensionamiento, ya que no se muestra detalle la instalación y construcción del sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDULLA, Fayez A; AL-SHAREEF, A. W. Roof rainwater harvesting systems for household water supply in Jordan. Jordan. 2008. Pág. 1-2

Ahorro y Uso Eficiente del Agua. Centro Nacional de Producción más limpia. Documento electrónico. Consultado abril 2010. Disponible en:
<http://www.tecnologiaslimpias.org/html/archivos/catalogo/Catalogo%20ID32.pdf>

ARREGUIN C., Felipe. Uso eficiente del agua. Instituto mexicano de tecnología del agua, CNA. México. 2000. Pág. 8-21

Ayuda montaje de accesorios. Documento electrónico. Consultado mayo 2010. Disponible en:
http://ecologicbarna.com/ayudamontaje_ahorradores_griferia.html

BALLÉN S, José A.; GALARZA G., Miguel A.; ORTIZ M. Rafael O. Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia. Universidad Nacional de Colombia. Seminario Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimiento Urbano de Agua. 2006. Pág. 1-5

BAUMANN, D. D.; BOLAND, J. J.; SIMS, J. H., (1980). "The Problem of Defining Water Conservation". The Cornett Papers. University of Victoria. Victoria B. C., pp. 125 – 134.

CASTAÑEDA P., Natalia. Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia, como alternativa para el ahorro de agua potable, en la Institución Educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia. Medellín. 2010. Pág. 36

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas (CCCP). [Documento electrónico]. Disponible en:
<http://www.cccp.org.co/modules.php?name=News&file=article&sid=630>
Visitado en febrero de 2010

Centro de investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Prácticas académicas. Disponible en:
<http://www.cccp.org.co/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=74>
Visitado en febrero de 2010

Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. Guía de diseño para la captación de aguas lluvias Lima, Perú. 2001. Pág. 1-15

COLOMBIA. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Guía de ahorro y uso eficiente del agua., 2002. [Documento electrónico].

Computer Applications in Hydraulic Engineering, 5th Edition, Haestad Methods

DIMAR – Portal marítimo colombiano. Localización geográfica. Disponible en:
<http://www.dimar.mil.co/VbeContent/newsdetailmore.asp?id=378&idcompany=57&comments=comm>
Consultado en febrero de 2010

Directiva permanente No 007 DIMAR-DILEM-534 Plan de Manejo Ambiental al interior de DIMAR. Dirección General Marítima. [Documento interno].

Dirección General Marítima – DIMAR. Disponible en:
<http://www.armada.mil.co/?idcategoria=89276>
Visitada en febrero de 2010

Estudio Nacional del Agua. IDEAM. [Documento electrónico]. Disponible en:
<http://www.meteoaeronautica.gov.co/jsp/info/institucional/media/descargas/catalogopublicaciones/enatexto.pdf>
Consultado en abril de 2010

GALVIS, G.; LATORRE, J.; VISSCHER, J.T. Filtración en Múltiples Etapas. Tecnología Innovadora para el Tratamiento de Agua. Cali, Colombia. 1999

GONZÁLEZ S., José. Diseño de un sistema sostenible para el aprovechamiento de agua de lluvia para consumo domiciliario. Managua, Nicaragua. 2010. Pág. 13-44

Guía de diseño para la captación del agua lluvia. Organización Panamericana de la Salud. Lima. 2004. Pág. 1-15

Guía CONAFOVI. Uso eficiente del agua en desarrollos habitacionales. México. 2005. Pág. 31-33, 44-47

GUEVARA, María Elvira. Ayudas Flujo a presión. Popayán, Colombia. 2009

GUISAO LÓPEZ, Yaned. Manual de operación y mantenimiento de pozos sépticos, filtro anaerobio y trampa de grasas. Colombia. 2008. Pág. 8-9.

KRISHNA, Hari J. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. Third edition. Austin, Texas. 2005. Pág. 6-25

MELGUIZO B., Samuel. Fundamentos de Hidráulica e Instalaciones de abasto en las edificaciones. Centro de Publicaciones Universidad Nacional Medellín 1994. Quinta edición, primera parte, pág. 165, 318-326.

OPS/CEPIS. Guías para el diseño de estaciones de bombeo de agua potable. Lima. 2005

Portal de Información Turístico: Tumaco Perla del Pacífico (2006). [En línea]. Disponible en: <http://www.tumaco.net/html/index.php>
Consultado en febrero de 2010.

Red de desarrollo sostenible. Programa de Gestión Ambiental. [Documento electrónico]. Disponible en: <http://www.rds.org.co/gestion/>
Visitado en febrero de 2010.

Red global para el manejo integrado de zonas costeras. Disponible en: <http://www.invermar.org.co/coastman/index.jsp>
Consultado en abril de 2010

RODRÍGUEZ, Héctor A. Diseños hidráulicos, sanitarios y de gas en edificaciones. Ed. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá. 2005. Pág. 94

SOLÉ GIUSTI, Manuela. Tecnologías para ahorrar agua. La era ecológica. Documento electrónico. Consultado junio 2010. Disponible en: http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?ahorrar_agua.htm

Texto guía de la producción mas limpia en la industria. Instituto Tecnológico Metropolitano. Medellín. 2008. Pág. 14

VELÁSQUEZ T., Diego A. Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico. Plan de Gestión Ambiental 2010 – 2011 para el Área Naval de “El Morro”. [Documento interno en revisión].

ANEXO A. Distribución y ubicación actual de tanques y pozos



Fuente: Modificación plano Área Naval El Morro – CCCP

ANEXO B. Elementos de difusión (avisos ambientales)

 **COMITÉ AMBIENTAL** 
“ Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”



En la ducha, mantén el grifo abierto solo el tiempo indispensable, cerrándola mientras te enjabonas. Toma duchas breves y con baja presión de agua.

 **COMITÉ AMBIENTAL** 
“ Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”



Cuando te bañes, hazlo con poca agua y tapona el desagüe antes de abrir el grifo. Puedes usarla para la limpieza del hogar. Pero recuerda mejor ducha que baño. E

 **COMITÉ AMBIENTAL** 
“ Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”



En el lavado, cierra el grifo mientras te cepillas los dientes y te lavas las manos y cara.

 **COMITÉ AMBIENTAL** 
“ Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”



En el cepillado de dientes, moja el Cepillo y acláralo, coge un vaso de agua para enjuagarte. Con este sistema te ahorraras hasta 10 litros de agua al día.

 **COMITÉ AMBIENTAL** 
“ Porque cuidar el planeta es compromiso de todos”



Tira de la cadena sólo Cuando sea necesario, y no lo utilices Como cenicero o papelera. Recuerda que cada vez que descargamos la Cisterna estamos usando 10 litros de agua.

ANEXO C. Distribución y ubicación de los edificios



Fuente: Modificación plano Área Naval El Morro – CCCP

ANEXO D. Accesorios sanitarios y dispositivos economizadores

Debido a la importancia que tiene el excesivo consumo de agua, se ha buscado la manera de utilizar el recurso de una manera racional gracias a la invención de dispositivos y técnicas como sanitarios de bajo consumo, dispositivos economizadores entre otros.

GRIFOS Y DISPOSITIVOS ECONOMIZADORES:

En el mercado se encuentran actualmente grifos que tienen características de ahorro como aireadores, reguladores de caudal y temporizadores. De igual manera, en el mercado se encuentran dispositivos economizadores, entre los más comúnmente utilizados se encuentran los perlizadores y los reductores de caudal.



A continuación se presentan de manera detallada las características de los grifos y dispositivos ahorradores:¹⁴

- a. **Grifos con aireador:** Los aireadores pulverizan el agua a presión continua a partir de 1 bar de presión y sin aumentar su caudal a presiones mayores. Consiguen aumentar el volumen del agua, de forma que con menor caudal consiguen el mismo efecto. Hay modelos que consiguen, según sus fabricantes, un ahorro de hasta un 90% y funcionan con acumuladores de agua y termos eléctricos.
- b. **Grifos con regulador de caudal:** Disponen de un dispositivo que permite limitar el paso máximo de agua. Algunos pueden manipularse sin desmontar el grifo, lo que puede hacerse fácilmente por el usuario. La mayor parte de los

¹⁴ SOLÉ GIUSTI, Manuela. Tecnologías para ahorrar agua. La era ecológica. http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?ahorrar_agua.htm

modelos presentan un acceso al mecanismo disimulado, de modo que no suponga un impacto estético negativo, pero a la vez lo bastante accesible como para ser manipulado con una simple moneda. Esto los convierte en especialmente indicados para lugares públicos (hoteles, residencias, etc.). Permiten modificar el caudal máximo hasta un 50%.

- c. **Grifos con temporizador o push-button:** Se accionan mediante un pulsador y se cierran después de un tiempo establecido. Suelen permitir ajustar el tiempo de funcionamiento. Son muy recomendables en aseos de lugares públicos, pues evitan el despilfarro de agua en el caso de que los usuarios no cierren los grifos.
- d. **Grifos con sensores infrarrojos:** Son la última novedad del mercado. Funcionan mediante infrarrojos que se activan por proximidad, de forma que el agua cae colocando las manos bajo el grifo y cesa la salida al apartarlas. Necesitan instalación eléctrica o pilas, según los modelos. Existen también válvulas para urinarios de las mismas características. Se consiguen ahorros en el consumo de agua de entre el 70 y el 80%. Su precio es elevado.

Dispositivos economizadores¹⁵:

Los dispositivos ahorradores son pequeños elementos que se pueden incorporar al mecanismo de nuestros grifos o inodoros. Su precio es bajo y permiten a cambio un importante ahorro del consumo de agua. Por lo general, su instalación no ofrece grandes dificultades.



- a. **Perlizadores:** Son dispositivos que mezclan aire con el agua, incluso cuando hay baja presión, saliendo las gotas de agua en forma de “perlas”. Sustituyen a los filtros habituales de los grifos y evitan la sensación de pérdida de caudal al abrir menos el grifo. Existen diversos modelos para griferías de lavabos y bidés, de cocina y para duchas. Economizan más de un 40% de agua y energía.

¹⁵ SOLÉ GIUSTI, Manuela. Tecnologías para ahorrar agua. La era ecológica.
http://www.eraecologica.org/revista_04/era_ecologica_4.htm?ahorrar_agua.htm

- b. Economizadores o reductores de caudal:** Dispositivos que reducen el caudal de agua en función de la presión. Consiguen un ahorro comprobado de entre un 40% y un 60%, dependiendo de la presión de la red.

DUCHAS¹⁶:

También existen sistemas o aparatos de bajo consumo que se pueden instalar en la ducha, tales como reductores de flujo o duchas de bajo consumo.

Las duchas convencionales utilizan de 15 a 20 litros por minuto a una presión del agua de 60 psi (libras por pulgada cuadrada). Actualmente se encuentran en el mercado duchas con un consumo de 10 L/min que han demostrado tener un buen desempeño.



Ahorros en este campo también se pueden obtener mediante cambios en el comportamiento de los usuarios, chequeos regulares de fugas, modificaciones en el sistema de conducción (instalación de discos de restricción de flujo) e instalación de válvulas de corte temporal (permiten reactivar el flujo a la temperatura previa del agua).

- Interruptor de ducha: Permite cortar el caudal durante el enjabonado manteniendo la temperatura de uso. Muy recomendable en griferías de doble mando.
- Duchas de alta eficiencia: Mediante desarrollos del tubo Venturi se aumenta la velocidad del chorro de salida con un reducido caudal de entrada. El efecto de sobre presión proporciona un suave masaje de millones de gotitas de todos los tamaños.

¹⁶ Ahorro y Uso Eficiente del Agua. Centro Nacional de Producción mas limpia.
<http://www.tecnologiaslimpias.org/html/archivos/catalogo/Catalogo%20ID32.pdf>

SANITARIOS DE BAJO CONSUMO:

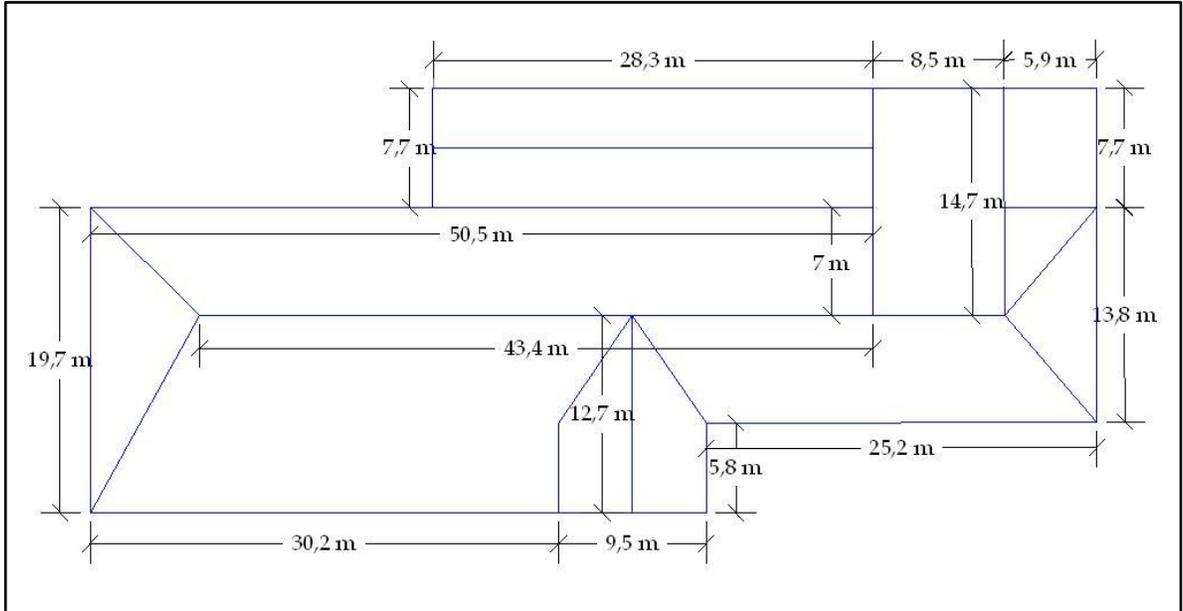
Pueden ahorrar hasta un 50% de agua por descarga. Utilizan alrededor de 6 a 10 litros.

Existen tres tipos principales de sanitarios: vaciado por gravedad, vaciado por válvula y de tanque presurizado, siendo este último el más moderno y mejor diseñado, pero también son los más costosos. De estos los más comúnmente utilizados son los de vaciado por gravedad. En general, las medidas de eficiencia de consumo de agua en los sanitarios incluyen el mejoramiento del mantenimiento, reducción de volúmenes y opciones de reemplazo de las unidades ineficientes.

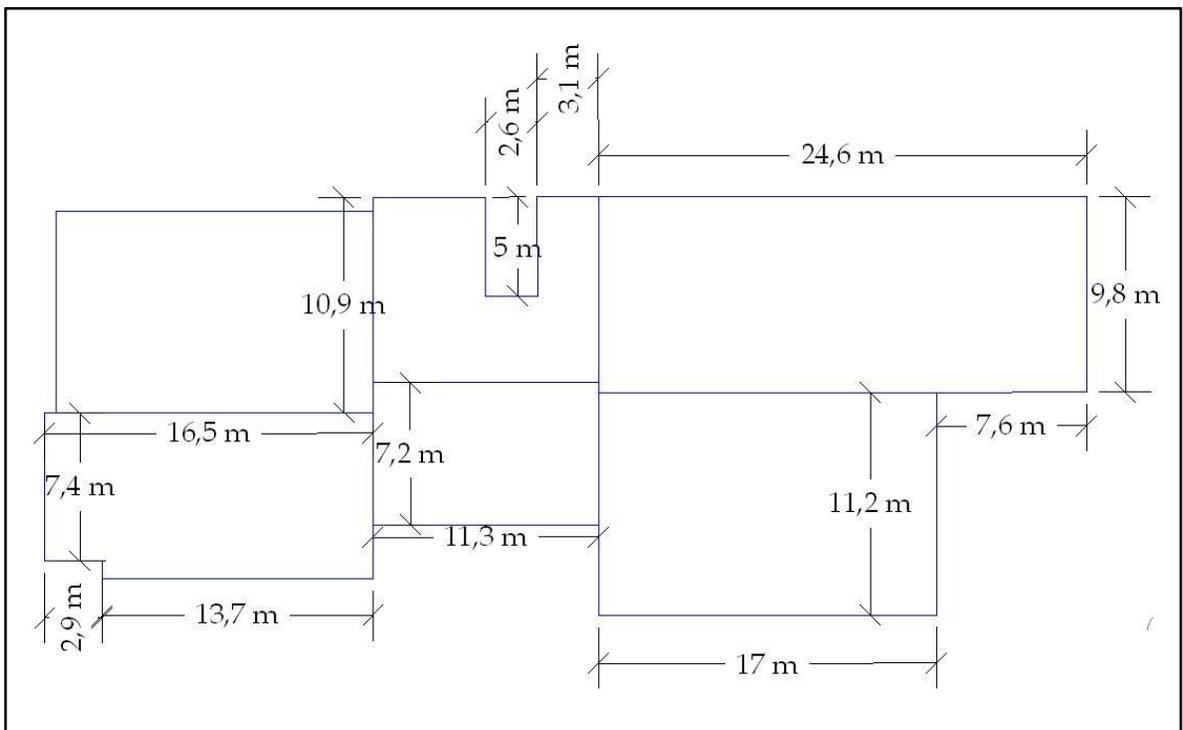
En la alternativa de reemplazo, se recomienda sustituir las unidades ineficientes por sanitarios de consumo ultra bajo (1,6 galones por vaciado), opción que representa los mayores ahorros en consumo de agua, además que la mayoría de los cambios de estas unidades presentan unos periodos de retorno de la inversión, menores de cuatro años.

ANEXO E. Especificaciones de los techos en el subsistema 1

Centro de Investigaciones Oceanográficas e Hidrográficas del Pacífico

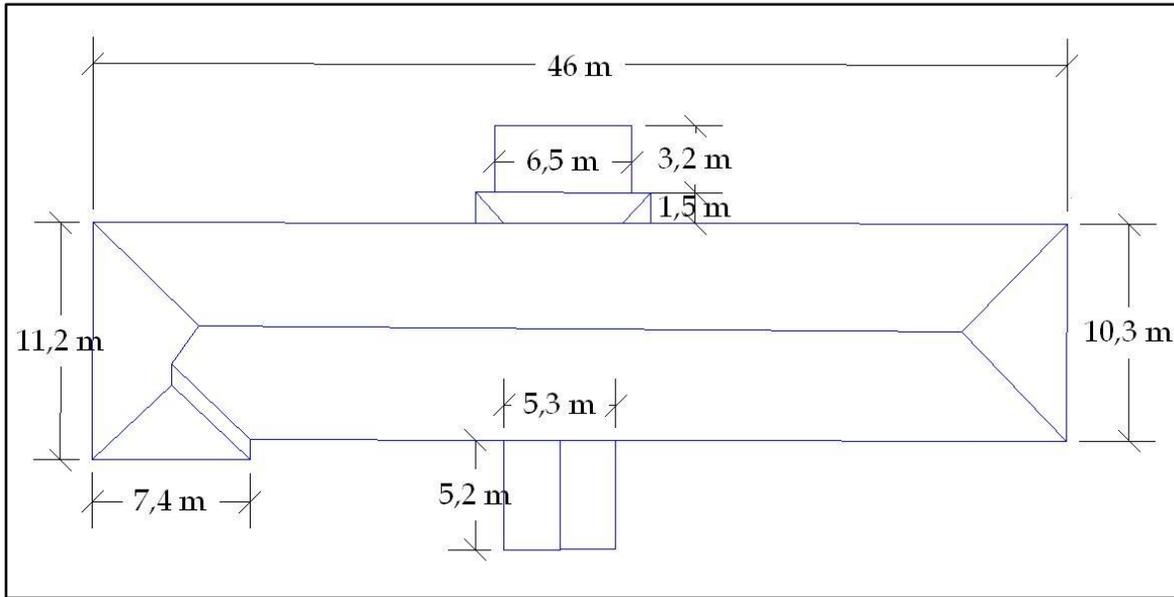


Estación de Guardacostas de Tumaco

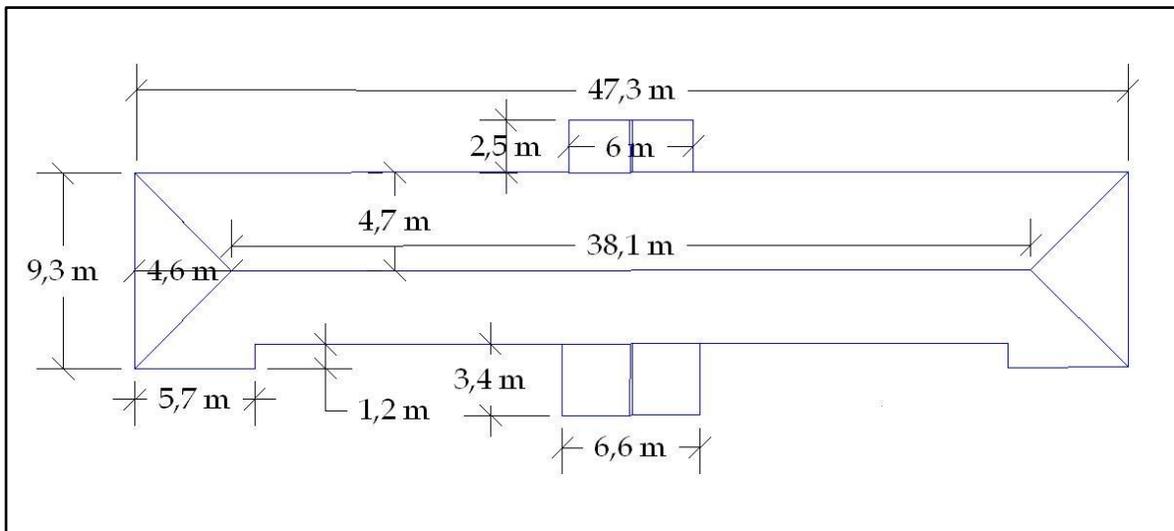


ANEXO F. Especificaciones de los techos en el subsistema 2

Módulo habitacional CCCP – CP02



Módulo habitacional EGUT



ANEXO G. Formato de mantenimiento y reparación de fugas

Área:
Fecha:
Responsable:
Descripción del elemento o equipo: _____ _____
Ubicación: _____
Forma de detección: Inspección ____ Reportado por: _____
Tipo de mantenimiento: Preventivo: ____ Correctivo: ____
Actividades realizadas: _____ _____ _____ _____
Materiales: _____ _____ _____
Equipos: _____ _____ _____
Observaciones: _____ _____ _____ _____