

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING

COLLEGE OF MECHANICAL ENGINEERING



SECOND MONOGRAPH

**PERFORMANCE EVALUATION OF MESH MADE OF 3 DIFFERENT
TYPES OF RECYCLED PLASTICS FOR THE COLLECTION OF WATER
FROM NEBLINA IN THE HUMAN SETTLEMENT “FLOR DE
AMANCAES” (RIMAC)**

COURSE : Research methodology – MC601

PROFFESOR : Mendoza Suarez César Elías

2019

INDEX

1.	Introduction	2
2.	Background	2
3.	Problem Statement	3
4.	Hypothesis	3
5.	Objectives	3
6.	Justification	3
7.	Preparation of the Theoretical Frame	4
7.1.	Fog	4
7.2.	Fog Collector	5
7.3.	Mathematic Model	8
8.	Timetable	13
9.	Budget	15
10.	Conclusions and recommendations	15
11.	Bibliography	15
12.	Annexes	16

PERFORMANCE EVALUATION OF MESH MADE OF 3 DIFFERENT TYPES OF RECYCLED PLASTICS FOR THE COLLECTION OF WATER FROM NEBLINA IN THE HUMAN SETTLEMENT “FLOR DE AMANCAES” (RIMAC)

1. Introduction

Lima is one of the largest cities in the world that have grown in a desert. It is also the second city with less rainfall in the world. Its geography includes high hills that allow the stagnation of the humidity of the coastal sea, making it manifest in the form of a conglomerate of water saturation which is called fog.

Although the city is supplied with drinking water, largely by the public network, this does not happen with the peripheral areas of the capital. Therefore, the inhabitants of these areas should look for alternative sources of drinking water, sources for which high amounts of money are even paid.

Obtaining fog water is an alternative that has been studied and improved for years. Depending on the quality of the water obtained, it can be used for consumption purposes, agricultural purposes or human consumption purposes. Under this situation, the intention is to develop this research, to contribute to the knowledge and development of the capture of fog water. Relying on laboratory tests and the implementation of a prototype to achieve the research goal.

The area selected for the implementation of the prototype has been the human settlement Flor de Amancaes, which is located in the Rimac district, very close to the Lomas de Amancaes, a place known for the persistence of the fog throughout the year.

We currently have a prototype of another material, which is frequently used for this type of collection device, in order to obtain data for comparison purposes.

2. Background

The first investigations of the collector systems began in Chile in the 1960s with the team of researchers led by Dr. Robert Schemenauer, from the Department of Environment of Canada, and Professor Mrs. Pilar Cereceda, from the Pontifical Catholic University of Chile. Since then it has been experimented with a wide

variety of designs, although the most widespread and applied has a rectangular shape due to its simplicity and its high-water collection efficiency. This fog collector consists of a double Rachel mesh supported by two vertical posts, which is placed perpendicular to the prevailing wind direction.

Shown below are current fog water collection projects:

Project Tojquia — Guatemala

The largest project in the world, has 60 collection units and produces 5000L per day in the dry season.

Islas Canarias — Spain

Industrialized project and its water is obtained for subsequent packaging and commercialization. It gets 500L per day per collection unit.

Project "Desierto Verde" — Peru

It is located in the district of 'Villa María del Triunfo', in the province of Lima. It consists of 2 phases, the first one, was developed with fog-meters to reforest the area, the second phase began when the trees reached the necessary height for self-irrigation, in addition to functioning as additional trappers.

3. Problem Statement

4. Hypothesis

4.1. Null hypothesis

The plastic materials tested are inefficient for collecting water from the fog.

4.2. Work Hypothesis

Los materiales plásticos puestos a prueba presentan una eficiencia competente para la captación del agua de la neblina.

5. Objectives

5.1. General Objective

5.2. Specific Objectives

6. Justification

7. Preparation of the Theoretical Frame

7.1. Fog

7.1.1. Definition

In general, the hydrometeorological phenomenon that is caused by the condensation of the humidity of the air, still in suspension and in the form of water drops, is called fog. These drops of water are not large enough for the force of earth's gravity to cause them to precipitate, as is the case with rain.

7.1.2. Types

Fogs can be classified according to the formation process (radiation fog, sea fog, steam fog and advection fog); and according to the geographical area where they occur (coastal fog, valley fog and mountain fog). Although the term "Stratus cloud" or "Stratum" is valid for not speculating how the fog occurred, by definition it refers to a cloud characterized by horizontal layers with a uniform base, contrary to convective clouds, which are as tall as they are wide.

- a. **Fog of radiation:** It is the type of fog that is very common in areas where cold air can accumulate during the night, or during longer periods in winter. This type of fog is usually observed in remote sensing studies, which are based on the remote detection of information that is produced on the Earth's surface and on other solar stars using satellite images. Since satellite images only show the upper part of fog banks, it is generally not possible to determine with certainty whether the cloud touches the surface of the earth.
- b. **Sea / steam fog:** Both are produced in the open oceans, but with the difference that sea fog is the fog that is formed due to the cooling of moist air over a cold ocean surface, while steam fog is formed typically when cold air with low water vapor saturation capacity flows over a hot water surface where water evaporates at a rate. The excess water vapor condenses into small droplets that form the vapor fog.
- c. **Fog of advection:** It requires constant winds that move a layer of fog that has formed in a certain place. In contrast to the radiation fog that basically requires weak wind conditions or stagnant air masses, the advection fog can have different properties. Droplet sizes typically vary between 1 and 30 microns in advection fog, but can reach sizes well above 50 microns in radiation fog.
- d. **Coastal fog:** They are typically advection fog, as is the case in the San Francisco area, the Atacama coastal desert, the Namibian coastal

desert, or in the polar regions during the summer, when the earth's surface is hotter than the surface of the cold ocean. In such cases, constant winds carry the dense fog that forms on the high seas to the coast.

- e. **Valley fog:** It is typically a radiation fog that forms in a mountain valley, while mountain or hillside fog is a cloud (not necessarily a stratum cloud) that moves over the surface of the earth at the height of the level of condensation of convective clouds and then touch the surface of the mountain floor as geographical obstacles. It is believed that cloud forests are influenced by this fog.

7.2. Fog collectors

7.2.1. Definition

Fog collectors or trappers are structures that are installed at certain heights in areas where fog occurs, with the aim of capturing the particles of water that it possesses, and being able to take advantage of this water resource.

Fog collectors consist of the following elements:

- a. **Collecting Mesh:** The collecting mesh can be made of plastic or metal, this prevents the absorption of any liquid in its structure, which makes it ideal for transport and containment of liquids [15]. Its function is to let the fog pass and condense its water content. The meshes are made with polypropylene threads, similar to nylon; but other materials can be used. The most commonly used mesh catchers are Raschel, which are made with polypropylene threads, similar to nylon. In those places where you do not have access to this type of mesh, you can select any material that meets the following characteristics:
 - Allow enough light to pass through to allow the circulation of the fog.
 - Be of a resistant material.
 - Allow condensation of water on the mesh.
 - Do not alter the physicochemical conditions of the water collected.
- b. **Supports:** The supports of the set can be of very different types, as long as they provide the appropriate structural needs.

adecuadas. En principio, una buena estructura con propiedades adecuadas estaría formada por soportes de acero inoxidable, dadas las condiciones húmedas de trabajo. La función de los soportes es:

- Permitir la ubicación en elevado, y la malla captadora en perpendicular a la dirección del viento predominante.
- Resistir el empuje de vientos de altas velocidades.
- Servir de soporte para las primeras fases del sistema de transporte del agua.

Los soportes pueden ser de bambú tratado, los propios árboles de la zona, postes de madera, postes de acero galvanizado o cualquier otro material resistente y estructural, y de fácil acceso en la zona de aplicación.

- c. **Almacenamiento y Distribución:** El sistema de almacenamiento y distribución está formado normalmente por un canal plástico o tubo de PVC con un diámetro aproximado de 110 mm. El cual está dispuesto en la parte inferior de la malla, éste se conecta a una manguera de diámetro determinado, para el transporte al lugar de almacenamiento o depósito donde se almacena el agua acumulada y desde la cual se canaliza hasta el punto de consumo.

El volumen de agua que se puede extraer de la niebla y la frecuencia con la que ésta puede ser recolectada, se pueden ver afectados o favorecidos por diferentes factores, entre los cuales encontramos:

- **Patrones globales de viento:** Vientos persistentes de una dirección, son ideales para la recolección de niebla.
- **Topografía:** Es necesario contar con relieve topográfico suficiente para interceptar las nieblas o nubes.
- **Alivio en los alrededores:** Es importante que no haya obstáculo para el viento a pocos kilómetros contra el viento del lugar. En las regiones costeras áridas, la presencia de una depresión o cuenca interior que se calienta durante el día puede ser una ventaja, ya que el área localizada de baja presión puede mejorar la brisa del mar y aumentar la velocidad del viento a través de la colección de dispositivos.
- **Altitud:** Una altura de trabajo es deseable cuando sea de menos dos tercios del espesor nube por encima de la base. Esta porción de la nube normalmente tendrá el mayor contenido de agua líquida.
- **Orientación de las características topográficas:** Es importante que el eje longitudinal de la sierra, colinas, o sistema de dunas sea perpendicular a la dirección del viento trayendo las nubes del océano.
- **Distancia de la costa:** Hay muchos lugares de gran altitud continental con cubiertas enormes de niebla frecuente. En estos casos, la distancia a la línea de costa, es irrelevante. Sin embargo,

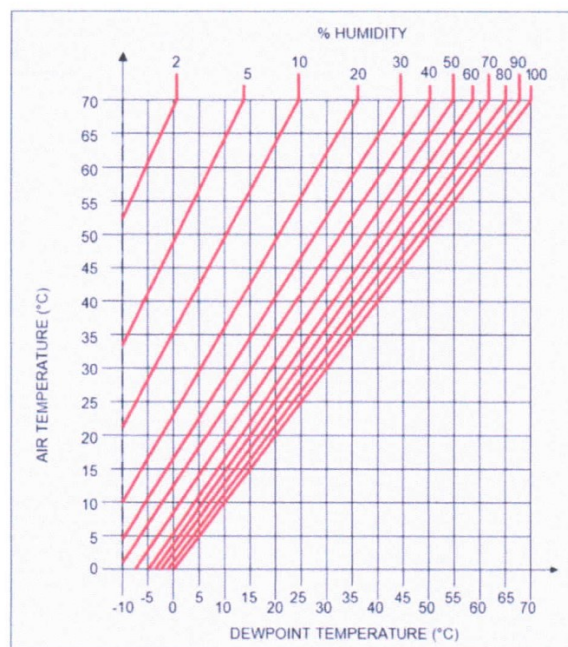
las áreas de alto relieve, cerca de la costa son generalmente sitios preferidos para la recolección de niebla.

- **Espacio para los colectores:** Los colectores de agua de niebla deben ser colocados a intervalos de aproximadamente 4,0 m para permitir que el viento sople en torno a los colectores.

7.2.2. Medición de parámetros asociados a la niebla

Como hemos mencionado anteriormente, existen parámetros que son fundamentales en la formación de la niebla; estos son: temperatura, punto de rocío, humedad, velocidad y dirección del viento. Dentro de estos parámetros, los más influyentes en la formación de la niebla son la velocidad media del viento, la temperatura, el punto de rocío y la humedad relativa, ya que para temperaturas bajas y humedades relativas mayores a 95% se tiene mayor probabilidad de condensación y formación de la niebla.

- Humedad Relativa:** Es la cantidad de vapor de agua que se tiene respecto a la cantidad necesaria para llegar al punto de saturación; se expresa en porcentaje. Un aire saturado tiene humedad relativa del 100% llegando al punto de rocío. La saturación se produce por un aumento en la humedad relativa con una misma temperatura o por el descenso de la temperatura con la misma humedad relativa.
- Punto de Rocío:** Es la temperatura a la cual comienza a condensarse el vapor de Agua que contiene una masa de aire, generando rocío, niebla, neblina, o incluso escarcha si la temperatura es lo suficientemente baja.



7.3. Modelo Matemático

7.3.1. Estimación de agua líquida a partir de la niebla

La cantidad de agua producida por la niebla se puede determinar a partir de la información generada por los neblinómetros. Sin embargo, la disponibilidad de estos dispositivos es escasa en la etapa de exploración de los proyectos, por lo cual se requiere de la medición de otros parámetros que permitan, mediante el uso de ecuaciones matemáticas, determinar la producción de agua líquida en un lugar que no cuente con neblinómetros.

Para determinar el potencial de producción de agua líquida a partir de la niebla, se usará la ecuación de flujo másico:

$$\dot{m} = \rho \times v \times A$$

Donde:

\dot{m} = Flujo másico (Kg/s)

v = Velocidad media del viento (m/s)

ρ = Densidad de agua en la niebla (Kg/m³)

A = Superficie de recolección (m)

7.3.2. Potencial de recolección

El potencial de producción de agua líquida en la niebla en un lugar determinado se puede determinar recurriendo a la medición de otros parámetros. Como se supondrá, por parámetros externos, el volumen captado no es el total de agua presente en la niebla, si no, una parte de esta

Por tanto, el flujo másico recolectado será:

$$\dot{m} = \rho \times v \times A \times E$$

Donde:

E = Eficiencia del atrapanieblas (%)

Para pasar de caudal másico a caudal líquido se definirá un periodo de medición (1 día) y conociendo que un Kg de agua equivale a 1 Litro de la misma, se podrá obtener el potencial de producción en L/m²-día.

7.3.3. Principio de operación y eficiencia de colección

La eficiencia de colección se define como la fracción del agua que contiene la niebla que llega al estanque de almacenamiento. La eficiencia de colección se puede descomponer en tres eficiencias: la

eficiencia aerodinámica, la eficiencia de deposición y la eficiencia de drenado.

$$\eta_{col} = \eta_{AC} \times \eta_{dep} \times \eta_{dr}$$

Donde:

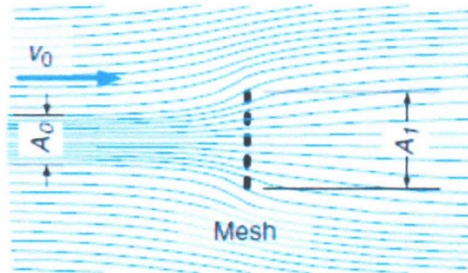
η_{AC} = Eficiencia aerodinámica

η_{dep} = Eficiencia de deposición

η_{dr} = Eficiencia de drenado

a. Eficiencia aerodinámica

Para entender la eficiencia aerodinámica de colección hay que tener en cuenta que la malla es una obstrucción para el flujo de la niebla. Por lo tanto, parte del flujo pasará por los alrededores de la malla.



En la anterior imagen se muestra el flujo de niebla de velocidad V_0 que se dirige hacia la malla del atrapanieblas; parte de este flujo se desvía y pasa por los alrededores. El área A_0 corresponde al flujo de niebla que pasa a través de la malla; A_1 corresponde al área efectiva de la malla del atrapanieblas. La razón de áreas A_0/A_1 , también llamada como relación de área de flujo libre (A_{op}/A) por Juan de Dios Rivera, representa la fracción del flujo no perturbado que efectivamente llega a la malla.

$$f = \frac{A_{op}}{A}$$

Donde:

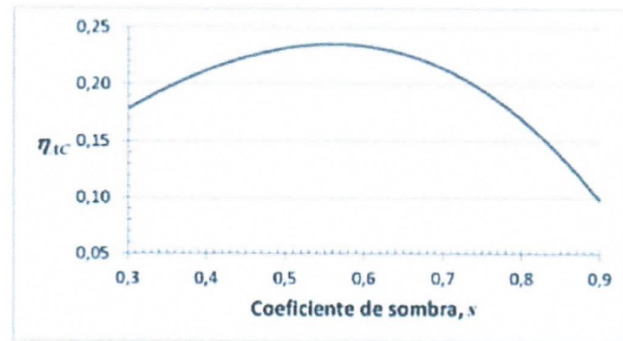
A_{op} = Área de apertura de la malla (m^2)

A = Área de recolección (m^2)

También se suele usar, tanto a nivel matemático como comercial, la sombra de la malla, que se define como el complemento de la porosidad:

$$S = 1 - f$$

Un gráfico típico de la eficiencia aerodinámica versus el coeficiente de sombra se muestra en el gráfico 2. Es concebible aumentar la permeabilidad de la malla mediante un diseño aerodinámico cuidadoso del tejido y de sus filamentos, con lo que se podría aumentar la eficiencia máxima de colección. La presión del viento sobre la malla también se puede modificar ligeramente cambiando su razón de aspecto y convexidad.



Matemáticamente, la eficiencia aerodinámica de colección se puede calcular de la siguiente manera:

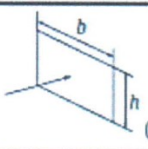

$$\eta_{AC} = \frac{S}{1 + \sqrt{\frac{C_o}{C_D}}}$$

Dónde:

C_o =Coeficiente de caída de presión del flujo de aire que atraviesa la malla.

C_D =Coeficiente de arrastre de una superficie no permeable.

Además, se cuenta con la siguiente información:

Geometry	Aspect ratio (b/h)	Drag coefficient (C_d)
 (1)	1	1.18
	5	1.2
	10	1.3
	20	1.5
	∞	2.0
 (2)		2.3

El coeficiente de caída de presión para la malla de seda es igual a la una para malla de alambre multiplicado por una constante:

$$C_o = k_{Re} \left(1.3(1 - f) + \left(\frac{1}{f} - 1 \right)^2 \right)$$

La ecuación es válida para un número de Reynolds basado en el diámetro de la fibra de malla (Re_D) menor que 400. Éste se calcula de la siguiente manera:

$$Re_D = \frac{\rho_v \times v \times D}{\mu}$$

Donde:

ρ_v = Densidad del aire (Kg/m^3)

v = Velocidad del aire (m/s)

D = Diámetro de la fibra de la malla (m)

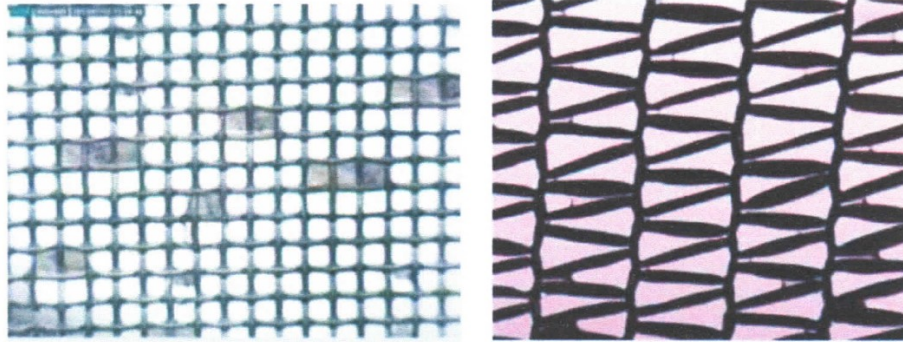
μ = Viscosidad del viento (Pa.s)

Dado que la mayoría de los materiales de malla utilizados en la colección de agua de niebla son de plástico, sólo consideraremos sólo la última ecuación. Para Re_D menor que 400, Idel'cik da un factor de corrección k_{Re} que multiplica la ecuación. Para Re_D mayor que 400, el factor de corrección k_{Re} tiene un valor de 1.62.

Re	k_{Re}
40	1.16
80	1.05
120	1.01
300	1
350	1.01
400	1.01

b. Eficiencia de deposición

La eficiencia de deposición toma en cuenta que las gotitas tienden a seguir las líneas de flujo del aire y van a tratar de pasar por los costados de los filamentos. Si una gotita sigue perfectamente las líneas de flujo, pero esta última pasa a una distancia de la superficie del filamento menor que el radio de la gotita, ella chocará y se depositará, como muestra la Figura 7a. Esto se llama deposición por intercepción. Las gotitas tienen una densidad casi mil veces mayor que el aire, y si su tamaño y velocidad son suficientemente grandes comparado con la curvatura de la línea de flujo en la que se encuentra inicialmente, no la podrá seguir, continuando en una trayectoria más recta y, eventualmente, chocando con el filamento.



La eficiencia de deposición se puede calcular utilizando las ecuaciones para el impacto de partículas en un cilindro en flujo cruzado, para un número de Stokes mayor a 0.08:

$$\eta_{dep} = \frac{stk^2}{(stk + 0.6)^2}$$

Donde:

stk = Número de Stokes

c. Eficiencia de drenado

Finalmente, la *eficiencia de drenado* se define como la razón entre el agua que llega al estanque de almacenamiento y la que se ha depositado en la malla. Las pérdidas se producen por arrastre de gotas por el viento, agua que se desprende de la malla y cae fuera de la canaleta.

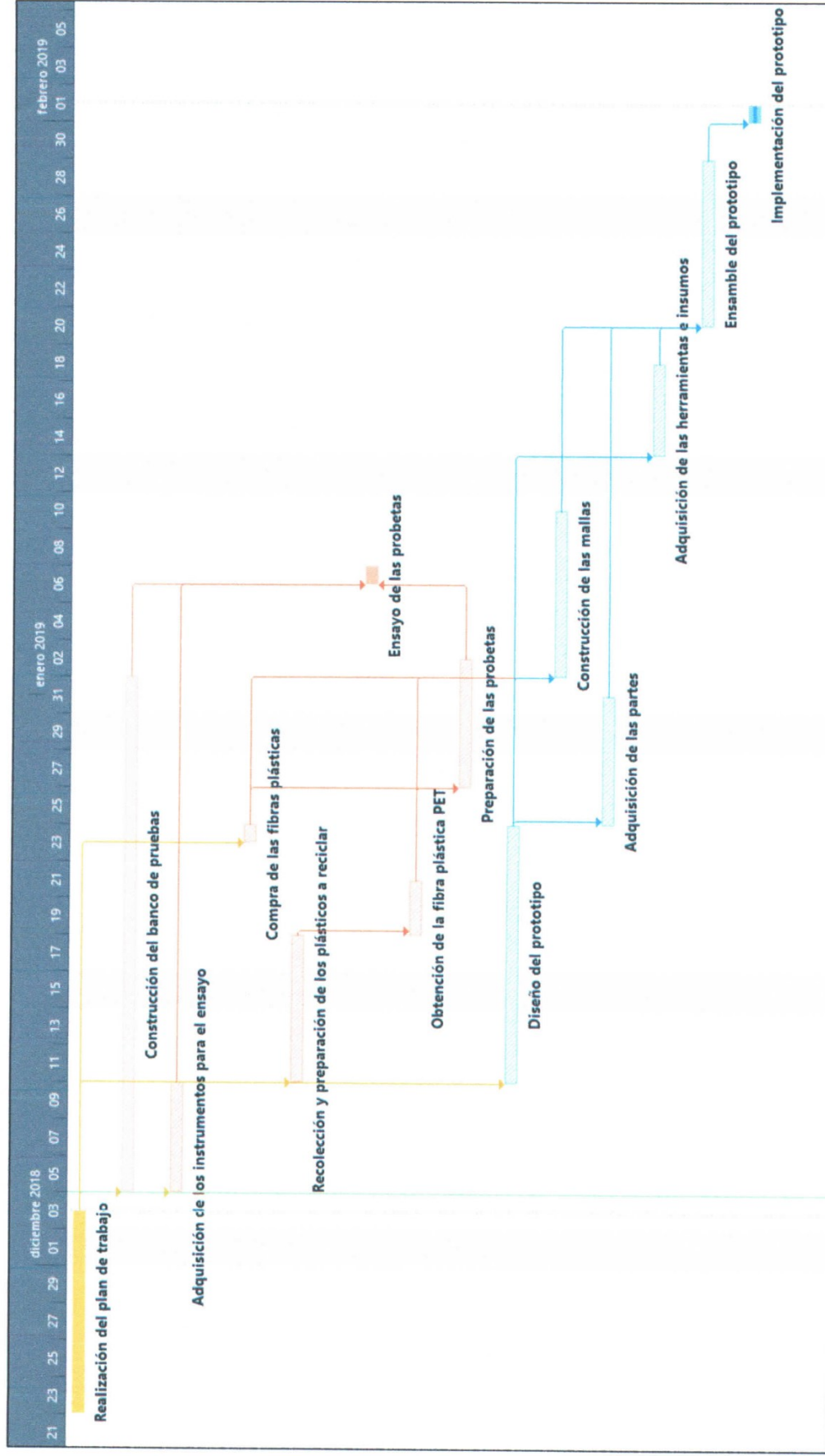
$$\eta_{dr} = \frac{V_{agua\ malla}}{V_{almacenamiento}}$$

8. Cronograma

8.1. Plan de Trabajo

N°	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
1	Realización del plan de trabajo	7 días	23/11/18	03/12/18	
2	Construcción del banco de pruebas	20 días	05/12/18	01/01/19	1
3	Adquisición de los instrumentos para el ensayo	4 días	05/12/18	10/12/18	1
4	Compra de las fibras plásticas	1 día	24/12/18	24/12/18	1
5	Recolección y preparación de los plásticos a reciclar	6 días	11/12/18	18/12/18	1
6	Ensayo de las probetas	1 día	07/01/19	07/01/19	7,2,3
7	Obtención de la fibra plástica PET	3 días	19/12/18	21/12/18	5
8	Preparación de las probetas	5 días	27/12/18	02/01/19	6,4
9	Diseño del prototipo	10 días	11/12/18	24/12/18	1
10	Construcción de las mallas para el prototipo	7 días	02/01/19	10/01/19	4,6,9
11	Adquisición de las partes del prototipo	5 días	25/12/18	31/12/18	9
12	Adquisición de las herramientas e insumos para el prototipo	5 días	08/01/19	14/01/19	9
13	Ensamble del prototipo	7 días	15/01/19	23/01/19	10,11,12
14	Implementación del prototipo	1 día	24/01/19	24/01/19	13

8.2. Diagrama de Gantt



9. Presupuesto

La estructura de los costos y el presupuesto general es el siguiente

9.1. Ensayo de las propiedades del material

Preparación de la probeta:	250\$
Banco de pruebas:	500\$
Instrumentos utilizados:	200\$
Realización del ensayo (laboratorio):	400\$
Total	1350\$

9.2. Construcción del prototipo

Equipos:	100\$
Materiales:	250\$
Insumos:	150\$
Herramientas:	50\$
Total	550\$

9.3. Gastos Generales

Remuneración del equipo:	5500\$
Gastos administrativos:	500\$
Transporte:	1000\$
Total	7000\$

9.4. Presupuesto Total

Concepto	Presupuesto
Ensayo del material	\$1,350.00
Construcción del prototipo	\$550.00
Gastos generales	\$7,000.00
Total	\$8,900.00

10. Conclusiones y Recomendaciones

11. Bibliografía

- *La importancia de la niebla como fuente natural y artificial de agua* – Barradas V., 2006
- *Captación de agua de niebla para reforestación en Perú y Bolivia* – Román T., 2013
- *La niebla puede ser una fuente de agua* – Rodríguez S., 2012
- *Mallas para atrapanieblas* – Rivera J./ Leiva J., 2014
- *Eficiencia de la captación de agua de neblina empleando diferentes textiles* – Diaz E., Tesis de título profesional, 2015
- *Optimal Design of Permeable Fiber Network Structures for Fog Harvesting* – Park K./ Cohen R., MIT, 2013
- *Marine fog: A review* – Darko Koračin/Clive E. Dorman, 2014

12. **Anexos**