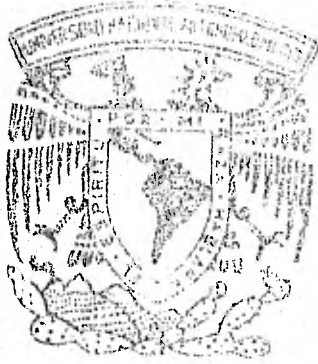


29  
132



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ingeniería Civil

## Muestreo de Agua y su Control de Calidad

T E S I S

Que para obtener el título de:  
INGENIERO CIVIL  
p r e s e n t a :  
LORENZO MONTUY GONZALEZ

México, D. F.

1982



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# TESIS CON FALLA DE ORIGEN



UNIVERSIDAD NACIONAL  
GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERIA  
EXAMENES PROFESIONALES  
60-1-302

Al Pasante señor LORENZO MONTUY GONZALEZ,  
P r e s e n t e .

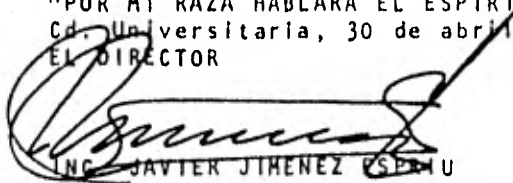
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección propuso el Profesor Ing. Ernesto Murguía Vaca, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CIVIL.

"MUESTREO DE AGUAS Y SU CONTROL DE CALIDAD"

- I. Antecedentes.
- II. Técnicas y sistemas de muestreo.
- III. Muestreo y su control de calidad.
- IV. Explicación del método estadístico para el control de calidad.
- V. Conclusiones.

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

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Cd. Universitaria, 30 de abril de 1982  
EL DIRECTOR

  
ING. JAVIER JIHENEZ PSE/10

  
JJE/09LH/ser

I N D I C E.

TEMA	PAGINA
Antecedentes .....	1
Técnicas y sistemas de muestreo de aguas .....	3
Muestreo y su control de calidad ..	30
Método estadístico .....	48
Desarrollo del trabajo .....	50
Recomendaciones .....	53
Conclusiones .....	54

## A N T E C E D E N T E S

La calidad del agua depende tanto de la fuente de la que proviene, como del uso a que destine, antes de poder controlar la calidad del agua, se deben conocer los diferentes aspectos que caracterizan a las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas de las posibles fuentes de agua así como los requisitos exactos que debe satisfacer el líquido que se utilizará en un determinado proceso. En consecuencia, es necesario elaborar un programa detallado para la evolución de los constituyentes, éste debe contar con datos analíticos que permitan determinar su efectividad, por lo tanto, es obvio que se requiera de métodos de pruebas.

El primer paso para que esto se cumpla, es imperiosa la necesidad de utilizar un sistema adecuado al muestreo, ya que un programa inadecuado puede conducir a la interpretación incorrecta de datos. La prueba efectuada debe proporcionar la mayor economía y tiempo, a la misma vez revelar la información buscada.

Para que lo anterior se cumpla, el muestreo tiene que hacerlo una persona especializada, puesto que de ello depende el grado de veracidad que tengan los resultados del laboratorio para hacerlos extensivos a la fuente que representa.

Esto implica también el cuidado en el manejo de las muestras hasta su llegada al laboratorio.

Una exploración de campo bien realizada puede compensar sólo parcialmente, una escasez en la información analítica, ya que señala la posibilidad de acontecimientos futuros, pero no indica, como lo hacen el muestreo y análisis repetidos, las fluctuaciones reales en la calidad, que tienen lugar día a día y mes a mes. Además, el muestreo frecuente permite establecer los valores medios y su variación, así como el grado de fluctuación en la calidad del agua.

El muestreo bien dirigido y confiable, asegura la validez de los resultados analíticos, para este fin, las -- muestras deberán representar verdaderamente a la masa de -- agua o de aguas residuales de las que se toman, y no debe haber cambios significativos en las muestras tomadas, entre los tiempos de muestreo y análisis, se puede necesitar equipo especial de muestreo y muestras compuestas respecto a tiempo, localización y volumen.

Las muestras tomadas pueden proporcionar información incompleta y errónea. La interpretación de los resultados analíticos se complementan y refuerzan mediante un muestreo -- paralelo, no sólo de las aguas y aguas residuales, sino -- también de los constituyentes del medio, como natas flotantes y residuos arrojados por las tuberías; y también la -- flora y fauna de los bancos y fondos, junto con los sedimentos y depositos.

Las observaciones metereológicas, incluyendo temperatura, registro de tormentas, escurrimientos, sequías e inundaciones anteriores, aportan información importante. Así mismo, son importantes las temperaturas del aire y del agua.

Una exploración independiente del cuidado con que se lleva a cabo, sólo proporciona información limitada; muestra exclusivamente, las condiciones existentes en tiempo y lugares de muestreo.

Los mejores métodos analíticos, carecen de utilidad -- si se emplean técnicas de muestreo deficientes, de ahí que la muestra debe ser representativa del agua que se va a -- examinar y la concentración de los constituyentes de interés, debe ser la misma hasta que se efectuen las pruebas -- analíticas. La técnica de muestreo varia dependiendo del tipo del agua y su uso.

## TECNICAS Y SISTEMAS DE MUESTREO DE AGUAS.

Teniendo en cuenta la necesidad de la obtención de muestras representativas, a este respecto, constituyen factores de gran importancia, como la ubicación adecuada, tanto de los puntos de muestreo como del equipo auxiliar. Debido a ésto se consideró necesario enumerar los siguientes tipos de muestreos.

## MUESTREO MANUAL

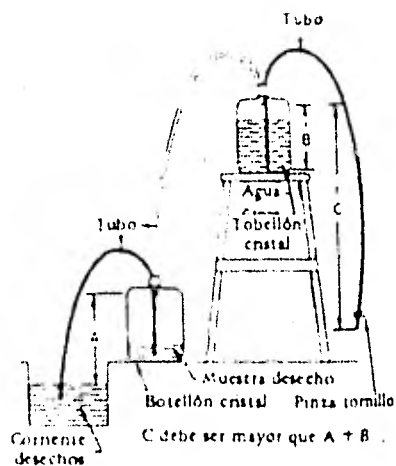
Las muestras líquidas se clasifican generalmente en dos grupos principales; las muestras instantáneas, locales, individuales o aleatorias y las que se denominan integradas, con<sup>tinuas</sup> o compuestas. La muestra aleatoria se recoge en forma manual y consiste en una sola porción de agua que sirve para una comprobación momentánea y es útil en la investigación de características anormales.

Para detectar variaciones en los constituyentes se requiere tomar una serie de muestras de este tipo. El volúmen de las muestras individuales dependerá de los requisitos del análisis. Si se trata de muestras compuestas, el volúmen recabado debe ser mayor que el que se necesita para la parte proporcional del compuesto. Para evitar errores graves en la concentración de sólidos suspendidos en las muestras compuestas, las muestras originales hechas al azar deben mantenerse perfectamente mezcladas mientras se transfieren de un recipiente a otro.

Al correlacionar las muestras compuestas con el flujo pueden determinarse las condiciones promedio. Estos resultados son muy útiles para calcular las cantidades de material de desecho que se descarga durante un período dado. Si la velocidad de flujo es constante, la muestra quedará integrada por varias porciones uniformes recogidas a intervalos regulares y frecuentes.



Cuando este equipo está correctamente diseñado e instalado, proporcionará muestras más frecuentes que las que se pueden obtener por muestreo manual, eliminando los errores - debidos al elemento humano, reduciendo los costos de supervisión y eliminando el trabajo rutinario y tedioso. Todo esto se ilustra en las figuras 1 y 2.



Este simple aparato montado con botellones y tubos permite un muestreo eficaz de los desechos cuando el flujo es casi constante. Conforme sale el agua del botellón superior, el vacío creado succiona el desecho dentro del inferior. Para llenar el botellón inferior durante el período de muestreo, se regula la velocidad de flujo mediante una pinza de tornillo.

Fig. 1. Muestreador continuo

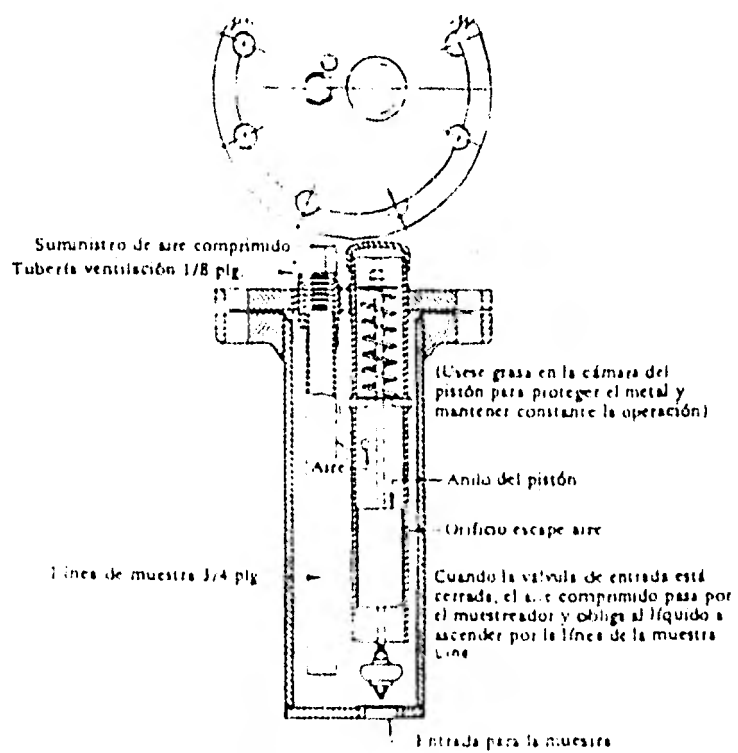


Fig. 2. Muestreador automático. Este muestreador que trabaja por elevación con aire, toma muestras de un albañal cuando no puede usarse una bomba.

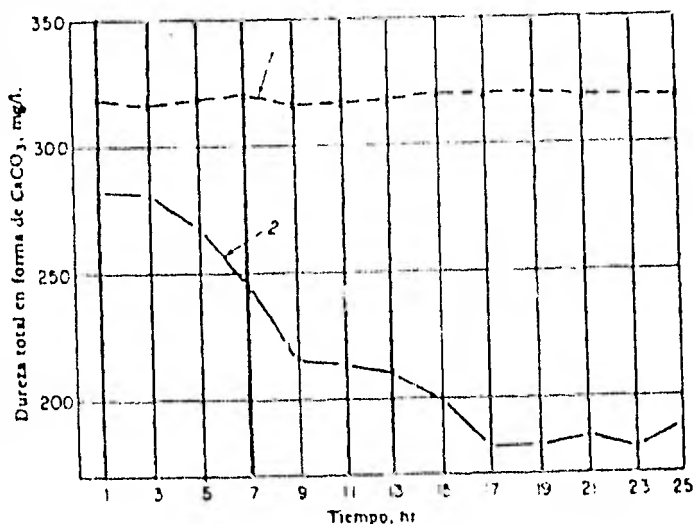
## MUESTREO PARA EL CONTROL DE PROCESOS DE TRATAMIENTO DE AGUA

El muestreo que tiene por objeto controlar el funcionamiento del proceso, es de primordial importancia para todos los tipos de planta de tratamiento de agua. La naturaleza del agua cruda y la calidad del efluente tratado, determinan el número de muestras requeridas y el tipo de pruebas -- químicas y físicas que se les practican. Si en la composición del agua cruda se presentan cambios notables y frecuentes, deben aumentarse en forma correspondiente; la frecuencia del muestreo y el número de pruebas que se llevan a cabo. Esto permitirá efectuar cambios en las dosificaciones químicas, antes de que la calidad del efluente tratado se vea afectado de un modo notable. De la misma manera, el muestreo y las pruebas del agua tratada debe ser lo suficientemente frecuentes para proporcionar datos que permitan mantener la calidad del agua e indicar cualquier deficiencia en el tratamiento debido a un cambio en la dosificación del compuesto químico o la variación en la calidad del agua que se recibe.

Cuando las muestras de agua fluyen en una corriente -- continua, permiten usar instrumentos que registran también -- continuamente algunas características, tales como PH, conductividad, temperatura, turbidez, color, oxígeno disuelto, hidrógeno y contenido de sílice. Debe valorarse la posibilidad de instalar estos instrumentos, ya que algunas veces se justifica su uso, gracias a la reducción en costo de mano de obra que ofrecen al sustituir a determinaciones del laboratorio, sumamente tardados.

Por lo general, para que la operación de las plantas -- de tratamientos de agua sea más eficiente, se requiere establecer puntos de muestreo para agua cruda, agua tratada y otros materiales. En las plantas de clarificación y suavizamiento que operan con grandes flujos y utilizan el tratamiento con lodos, ya sea por contacto o en capa; casi siempre es necesario hacer un muestreo manual periódico, para medir la concentración y el nivel del lodo dentro de la unidad.

La frecuencia de muestreo dependerá de la variabilidad en la concentración del constituyente que se utilice como base para el control. Por lo regular, para abastecimientos de agua de composición relativamente constante, basta con extraer muestras a intervalos de ocho horas. Por el contrario, cuando el abastecimiento tiene una composición que cambia con rapidez o se trata de un proceso muy sensible, puede ser necesario tomar muestras o intervalos inferiores a una hora, ver figura 3.



Curva 1 = Agua de pozo

Curva 2 = Agua de río

Fig. 3. Aguas de dureza constante y variable.

Para el control satisfactorio de las unidades de intercambio iónico, incluyendo los suavizadores de zeolita que funcionan en los ciclos de sodio e hidrógeno, y las unidades desmineralizadas de lechos múltiples y mixtos, se requiere establecer varios puntos de muestreo; esto permite concluir el ciclo de operación antes de que la calidad del agua tratada se deteriore de manera notable. Puesto que esta clase de tratamiento pueden funcionar en forma total o parcialmente automática; generalmente el muestreo es continuo y se utilizan instrumentos de control que registran constantemente el PH, las diferencias en conductividad y la pureza.

Los instrumentos que registran el sílice, deben de estar bien calibrados, para terminar el ciclo de servicio de los desmineralizadores conforme se llega al punto de agotamiento del material de intercambio iónico. Para lograr éxito en la operación de este método específico de tratamiento es importante contar con un registrador de sílice que proporcione una exactitud de 0.2 a 0.5 mg/lt, y hacer un muestreo manual.

Por lo general, se requiere tomar muestras manuales cuando está por concluir el ciclo de operación y nuevamente, después de la generación, al poner otra vez en servicio, la unidad; esto variará dependiendo del tipo de instalación y de su grado de instrumentación.

El tiempo necesario para coleccionar estas dos muestras debe establecerse mediante determinaciones periódicas, durante breves intervalos o basándose en el volumen de agua procesado al final de dos o tres ciclos de desmineralización y dos o tres ciclos de enjuague. La composición de algunas aguas tratadas por intercambio iónico, varía con mucha rapidez hacia el final del ciclo de servicio y pueden requerirse intervalos de muestreo hasta de un minuto.

#### RECOLECCION DE MUESTRAS PARA AGUAS NEGRAS, EFLUENTES Y DESECHOS.

El método normal es la recolección de una muestra compuesta, formada por porciones tomadas periódicamente durante 24 horas; en muchos casos, es recomendable tomar muestras compuestas individuales, en períodos de 1, 2 ó 4 horas, o bien dividir la muestra para que represente turnos de trabajo o viceversa, ampliar el período de muestreo para que incluya un ciclo completo de operación y tome en cuenta todas las descargas especiales, variables o periódicas a intervalos irregulares así como las labores de limpieza de fin de semana, lo que es particularmente recomendable para desechos industriales.

Las porciones individuales deben tomarse en frascos de boca ancha, cuya boca tenga un diámetro mínimo de 35 mm. y con una capacidad mínima de 120 ml. Las porciones individuales deben tomarse cada hora, en ocasiones cada media hora y aún cada 5 minutos, mezclándose al final de cada período de muestreo, ó combinándose en un solo frasco, según se vayan tomando.

Si hay que agregar preservativos, la operación debe verificarse en el momento de la recolección, debe hacerse la advertencia que, en algunos casos, es necesario el examen de muestras individuales.

Es de desearse, y en algunos casos resulta absolutamente esencial, que las muestras individuales se combinen en volúmenes proporcionales al gasto de escurrimiento. Para aguas negras, efluentes y desechos industriales, es suficiente un volumen final de 2 a 3 litros.

#### PRESERVACION DE LAS MUESTRAS.

Las muestras de aguas negras, efluentes y desechos, deben analizarse tan pronto como sea posible después de su recolección. Ningún método individual de preservación es enteramente satisfactorio y el preservativo debe escogerse, tomando en cuenta las determinaciones que se van a verificar todos los métodos de preservación son inadecuados, cuando se aplican a sólidos suspendidos, y el formaldehído, afecta a tantas determinaciones, que no se recomienda su empleo.

#### MUESTREO PARA ANALISIS FISICOS Y QUIMICOS

##### FRECUENCIA DEL MUESTREO.

Mientras que la vigilancia de la calidad higiénica del agua exige análisis bacteriológicos frecuentes, los análisis químicos pueden hacerse de una forma mucho más espaciada.

Se recomienda el análisis para detectar sustancias tóxicas; por lo menos una vez al año, pero debe hacerse con mayor frecuencia, cuando se sepa que en el agua en cuestión existen sustancias tóxicas o concentraciones próximas a la máxima tolerada o en ciertas circunstancias especiales, por ejemplo, cuando en la zona se haya establecido alguna industria nueva que pueda eliminar efluentes tóxicos.

Una vez al año, debe practicarse un análisis químico completo de todos los sistemas de abastecimiento de agua. Los análisis químicos ordinarios se harán una vez al mes, cuando se trate de sistemas que abastecen a más de 50,000 habitantes o dos veces al año si se trata de poblaciones menos numerosas.

Pueden precisarse análisis químicos más frecuentes para vigilar los procesos de tratamiento de agua.

#### TOMA, TRANSPORTES Y CONSERVACION DE LAS MUESTRAS.

Para el análisis químico general, se necesita una muestra de 2 litros como mínimo, recogida en un frasco químicamente limpio de vidrio, de buena calidad, prácticamente incoloro; el frasco estará provisto de un tapón esmerilado o de un tapón de plástico revestido de polietileno, y antes de llenarlo, se enjuagará por lo menos tres veces con el agua que vaya analizarse. En casos especiales, se usarán -- frascos de polietileno, por ejemplo, cuando las muestras se vayan a enviar por vía aérea.

Las muestras se enviarán cuando antes al laboratorio, -- y se mantendrán frescas durante el transporte. Entre lo re cogido de la muestra y la iniciación del análisis químico, -- debe transcurrir el menor tiempo posible y en ningún caso -- más de 72 horas.

En el momento de la toma de la muestra han de realizarse ciertas observaciones, por ejemplo, las mediciones de la temperatura, el PH y el cloro residual. La valoración del anhídrido carbónico libre, debe asimismo efectuarse en el -- momento de la toma, pero cuando esto no sea posible, habrá -- que tomar una muestra sólo con este fin y para ello se llenará completamente el frasco, que se mantendrá refrigerado -- con hielo hasta el momento del análisis.

También se necesita una muestra especial para la prueba de oxígeno en solución. La muestra se ha de tomar en un frasco de cuello fino de 200 a 300 ml. de capacidad y provisto de un tapón de vidrio muy ajustado; si se toma la -- muestra de un grifo, se hará que el agua llegue hasta el -- fondo del frasco por medio de un tubo de vidrio y se dejará que desborde durante dos o tres minutos antes de ajustar el tapón.

Cuando se ha de recoger el agua de una corriente o de un depósito, se empleará un aparato que permita renovar varias veces el agua en el frasco de muestreo. El oxígeno di suelto en la muestra se (fijará), en el mismo lugar donde -- se ha efectuado la toma, e inmediatamente después de la ope

ración, se medirá además en grados celsius, la temperatura del agua en el momento del muestreo.

Conviene asimismo, tomar una muestra especial para el análisis de hierro, nitratos y materia orgánica (oxidabilidad). La muestra se fijará en el momento de la toma, agregando 1 ml. de ácido sulfúrico concentrado por litro de -- agua.

Una vez recogida la muestra, la determinación de ácido sulfúrico, se hará lo antes posible.



## MUESTREO PARA EL EXAMEN BACTERIOLOGICO PARA AGUA POTABLE

Los procedimientos que deben aplicarse para verificar exámenes bacteriológicos rutinarios de muestras de aguas, - que tengan como propósito calificar su calidad sanitaria y su adaptabilidad a usos generales, pero en estos procedimientos, hay que comprender perfectamente sus limitaciones. Estos métodos no permiten identificar, aislar y enumerar -- las bacterias patógenas que contengan las aguas, teniendo -- estas pruebas como único propósito, la indicación del grado de contaminación de las aguas con desechos de origen humano o animal.

Se ha hecho costumbre manifestar los resultados de las pruebas coliformes en el índice del número más probable; de be quedar bien entendido que, al procederse así, se concede que ese índice es el número de bacterias coliformes, que -- tiene mayor probabilidad, sobre cualquier otro número de -- conducir a los resultados obtenidos en el laboratorio. En realidad, no es la enumeración de las bacterias coliformes en un volumen determinado de muestra, pero aún así, es una indicación muy valiosa, para juzgar la calidad sanitaria de las aguas y la efectividad de los procedimientos de potabilización de las mismas.

El examen bacteriológico del agua, se hará en muestras recogidas en puntos representativos a través del sistema de distribución.

La frecuencia del muestreo y la localización de los -- puntos de muestreo, en el sistema de distribución, deben -- conducir a determinar apropiadamente, la calidad bacteriológica del abastecimiento de agua.

La frecuencia del muestreo y la distribución de los -- puntos de muestreo, se definirán por la agencia informante, y por la autoridad certificante, después de que una u otra o ambas, investiguen la fuente, el método de tratamiento y la protección impartida.

El número mínimo mensual de muestras que se tomen del sistema de distribución y que se examinen por la agencia informante, o su representante autorizado, debe estar de acuerdo entre la población servida y el número mínimo de muestras mensuales.

Al determinar el número mensual de muestras examinadas, se incluirán los siguientes muestreos, haciendo la salvedad que todos los resultados deben encontrarse reunidos y disponibles para inspección y que los métodos de laboratorio y la competencia técnica del personal; han sido aprobados por las agencias informantes y certificantes:

- a.- Muestras examinadas por la agencia informante.
- b.- Muestras examinadas por los laboratorios de los departamentos locales de salubridad.
- c.- Muestras examinadas por los laboratorios comerciales.

Las muestras diarias que se tomen a continuación de una muestra no satisfactoria, se consideran como muestras especiales y no se incluirán en la determinación del número mensual de muestras examinadas. Estas muestras no satisfactorias, de series diarias, no servirán de base para condenar el abastecimiento, siempre que:

- 1.- Se hagan esfuerzos inmediatos y activos para localizar la causa de tal contaminación.
- 2.- Que se tome acción inmediata para eliminar tal causa.
- 3.- Que sean satisfactorios los muestreos siguientes a esa acción correctiva.

#### RECOLECCION DE MUESTRAS.

Para la recolección de muestras bacteriológicas, pueden usarse frascos de vidrio resistente a la acción disolvente del agua, siempre que tengan suficiente capacidad para contener el volumen de agua necesaria para las pruebas, y que puedan lavarse y esterilizarse adecuadamente, conservando sin contaminación las muestras, hasta el momento en que se verifique el examen.

Se recomiendan los frascos de tapón esmerilado, de preferencia de boca ancha.

Pueden usarse cachuchas con rosca, de metal o de plástico, para cerrar los frascos de muestra, siempre que no se produzcan compuestos volátiles, durante la esterilización y que su revestimiento o empaques no produzcan compuestos tóxicos o bacteriológicos, durante dicha esterilización.

Antes de esterilizarlas, deben cubrirse las bocas y los cuellos de los frascos de muestra con chapa metálica, tela ahulada, papel impermeable grueso o cubiertas de botellas lecheras.

Los frascos que se destinen para la recolección de muestras que contengan cloro residual (aguas tratadas, aguas de alberca, etc.), a no ser que contengan caldo para la siembra directa, deben contener un agente decolorador.

El agente decolorador, tiosulfato de sodio, debe agregarse a los frascos limpios y secos antes de la esterilización, en una cantidad suficiente para dar una concentración aproximada de 100 mg/lt.; esto puede lograrse agregando 0.1 ml. de solución de tiosulfato de sodio al 10% a cada frasco de 4 onzas (112 ml.). Cuando se toma la muestra de agua, debe dejarse en el frasco un amplio espacio con aire para que, antes de su exámen se homogenice la muestra, por agitación.

Debe cuidarse escrupulosamente que las muestras sean en realidad del agua representativa de la fuente en estudio y asimismo, que no ocurra contaminación alguna después del muestreo, hasta el momento del exámen.

Para muestreos en grifos o llaves, debe seleccionarse lo que tenga un uso más frecuente y debe dejarse correr el agua, por no menos de 5 minutos; deben evitarse grifos mal ampaoados, que goteen, pues el agua que escurre por su exterior puede contaminar la muestra. Las muestras recolectadas deben llevar un registro, identificándose en cada frasco, de preferencia por una etiqueta atada o adherida al envase. El registro debe incluir todos los informes pertinentes, que permitan una identificación positiva de la muestra en cualquier instante debiendo anotarse:

- 1.- Nombre del muestreador.
- 2.- La hora de recolección de la muestra y la fecha.
- 3.- La localización exacta de la estación de muestreo.
- 4.- La temperatura del agua.

Además debe anotarse cualquier otro dato que pueda necesitarse en lo futuro para propósito de correlación, como las condiciones metereológicas, el nivel o espejo del agua, el --gasto o caudal de la corriente, etc. Las estaciones de muestreo deben identificarse por una descripción detallada por mapas o planos y/o con la ayuda de estacas, boyas o balizas terrestres que permitan su identificación por otras personas, + sin necesidad de confiar en la memoria o los instintos personales.

## MUESTREO PARA ANALISIS VIRULOGICOS.

FRECUENCIA DE LAS TOMAS.

Los análisis virulógicos no pueden realizarse con tanta frecuencia como los bacteriológicos. En las grandes colectividades que utilizan aguas superficiales o subterráneas, que es necesario tratar, la frecuencia de los análisis virulógicos, dependerá de las circunstancias locales.

Para la toma, transporte y conservación de las muestras se utilizará la misma técnica de muestreo que en los análisis bacteriológicos, pero como para la toma, sirven unos simples frascos limpios, y no necesariamente estériles, puede recurrirse a frascos de material plástico. Las muestras han de ser de un volumen mínimo de dos litros y se enviarán inmediatamente al laboratorio.

## MUESTREO PARA ANALISIS BIOLÓGICO.

Para la toma de muestras en los sistemas de abastecimiento con distribución por redes de tuberías, pueden utilizarse los siguientes métodos:

1 .- Para tomar muestras del grifo, puede filtrarse un gran volumen de agua a través de un filtro de membrana; a continuación se deseca la membrana a la que se da transparencia mediante un tratamiento con aceite de inmersión, y puede procederse al examen microscópico, consiste en fijar al grifo un dispositivo especial de filtro a través del cual se hace pasar un gran volumen de agua; se examina después el depósito microscópico y macroscópicamente.

2 .- Para tomar muestras de las tuberías principales, a una boca de riego, se fija un saco de algodón o una malla de nylon especial, y por ahí se hace pasar un chorro grueso de agua de una sección de la tubería principal. También puede (es cobillarse) una sección de la tubería principal, valiéndose de un cilindro de plástico especialmente concebido para ello; puede asimismo emplearse un tubo vertical de descarga especial de tres ramas. Los restos que se encuentren en el saco se examinarán después microscópicamente y macroscópicamente.

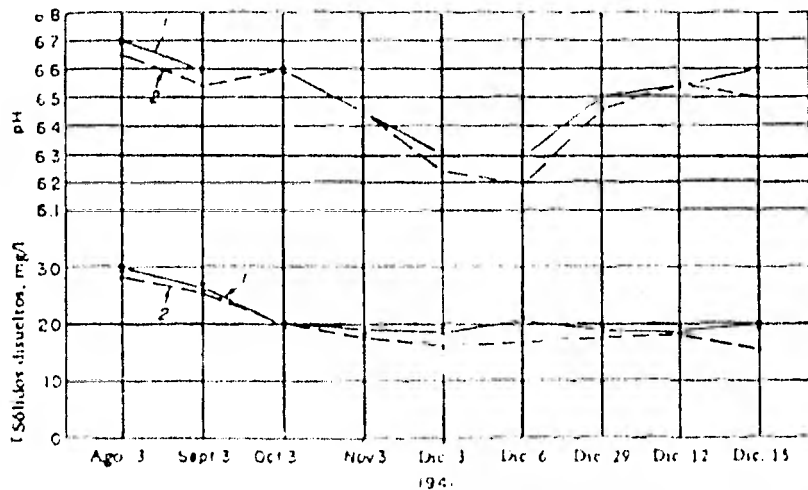
## MUESTREO A PRESION ATMOSFERICA.

En general, el agua que se utiliza en la industria, -- proviene de las lluvias que llegan a las corrientes por escurrimiento directo sobre la superficie de la tierra y por percolación subterránea. El material disuelto que contiene antes de comenzar a fluir sobre la superficie atravez -- del suelo es muy escaso.

Cuando el suelo y las rocas son prácticamente insolubles, las aguas superficiales y las que se percolan, disuelven muy poca materia mineral. Por lo general en las -- corrientes de las montañas, casi no existe variación en la composición del agua durante varios kilómetros de recorrido. De ahí que el muestreo de esta clase de agua sea casi siempre sencillo, excepto durante las etapas de crecientes cuando se registran cambios rápidos en la turbidez.

Esto es importante en la operación de una planta de -- filtración. Normalmente, sin importar la ubicación, cualquier muestra satisfará los dos requisitos básicos del --- muestreo adecuado.

Figura 4



Curva 1 = Estación de muestreo a 8 km de la boca

Curva 2 = Estación de muestreo a 4 km de la boca

Fig. 4 Composición del agua de un río.

Generalmente el agua que entra a los ríos como resultado de la percolación, contiene mayores cantidades de minerales en solución que el agua que fluye sobre la superficie de la tierra, ya que el tiempo de contacto con ellos es mucho mayor. Por lo tanto, durante los períodos de sequía, la concentración de material disuelto en un río, es superior debido a que casi toda el agua que fluye, procede de mantos acuíferos. Por el contrario, durante la etapa de crecidas, el contenido de mineral disuelto en un río es bajo, ya que gran parte del volumen corresponde al agua del escurrimiento superficial.

En lo que respecta a los sólidos suspendidos, se presenta un fenómeno inverso. La naturaleza del suelo y las rocas sobre las que fluye el río, constituye un factor importante para determinar el tipo y la cantidad de minerales disueltos que porta una corriente. En caso de ríos que fluyen através de zonas mineras muy industrializadas el problema del muestreo se hace muy complejo; en este caso puede haber poca mezcla, incluso a distancias considerables. Esta ausencia de mezcla se manifiesta algunas veces en la conjunción de una corriente lodosa y una transparente o de dos corrientes de diferente color. El estudio completo de la composición del agua en la cuenca de un río, requiere numerosas estaciones de muestreo que tomen muestras a intervalos frecuentes.

El muestreo en una planta ubicada a la orilla de un río, no debe ser tan extenso. Por lo general, basta con una sola estación y un muestreo cotidiano. Ocasionalmente requiere un muestreo más frecuente, por ejemplo, durante la época de crecidas cuando la turbidez del agua del río cambia con rapidez, ver figura 5.

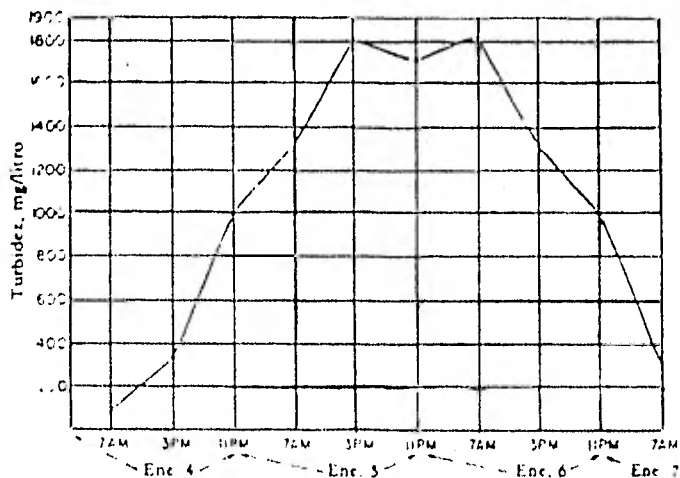


Fig. 5 .. Turbidez de río, en el periodo del 4 al 7 de enero.

Las características del agua de una corriente que fluye a través de una región semiárida, cambian casi siempre con mayor rapidez que en secciones más húmedas. En este caso, las rocas superficiales y el suelo, son relativamente solubles y el escurrimiento de cada tormenta, disuelve con celeridad -- cantidades apreciables de minerales. Las corrientes de estas zonas deben muestrearse a intervalos frecuentes, durante la época en que cambia el flujo de la corriente.

En el caso de industrias localizadas a la ribera de corrientes cercanas a zonas de marea, con frecuencia el agua -- tomada de la corriente, debe examinarse a varias profundidades para certificar su calidad sea adecuada según el uso industrial particular a que se destine. Las plantas ubicadas a suficiente distancia, corriente arriba, que están libres -- de sales durante la época de crecidas, pueden registrar una intrusión de agua de mar durante los períodos de marea baja. En la parte inferior de algunos estuarios, el agua salada -- permanece en la base o cerca de ella, en tanto que el agua -- potable, fluye cerca de la parte superior. En tales lugares se requiere un horario elaborado de muestreo frecuente en muchas estaciones y a diferentes profundidades, a fin de asegurarse de que no se introducirá agua de mar inesperadamente.



De ordinario, los lagos grandes mantienen una composición constante durante largos períodos; por ejemplo, los grandes lagos deben muestrearse sólo 3 ó 4 veces al año bastando esto para determinar sus características para casi todos los fines. Una excepción sería el caso de una planta industrial ubicada cerca de la descarga de un río o si se estudia algún tipo de contaminación.

El muestreo representativo de la mayoría de los lagos pequeños, depende de la corriente que fluye hacia la cuenca del lago. Algunos lagos pequeños, pueden estar alimentados por más de una corriente, y serán las características del agua de las corrientes las que determinarán el sistema de muestreo del lago.

La composición del agua de un lago profundo puede variar considerablemente con la profundidad. Para determinar la calidad del agua más favorable a una aplicación industrial dada, debe hacerse un muestreo a diferentes niveles.

Los cambios de estación pueden requerir de varias instalaciones de muestreo. La concentración de oxígeno y bióxido de carbono disueltos, varía considerablemente tanto con la profundidad como con la estación del año. Por lo general, el oxígeno disuelto disminuye conforme aumenta la profundidad y la temperatura. figura 6.

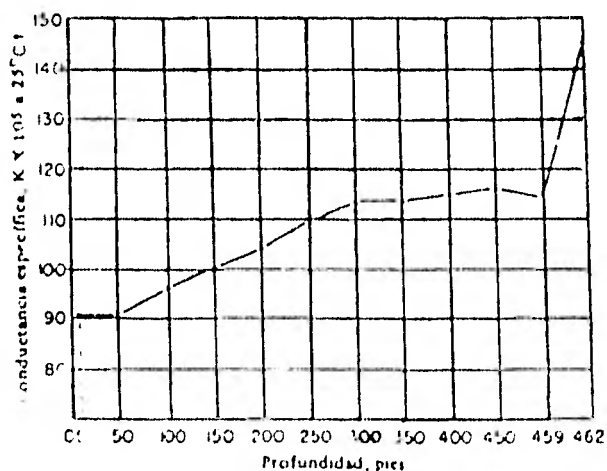


Fig. 6. Variación de la concentración en función de la profundidad.

Otro factor que debe tomarse en cuenta en el muestreo de los lagos profundos, es que se invierten durante el otoño. Conforme el agua superficial se enfría y se hace más densa, las capas interiores que están más tibias y son menos densas, se elevan y sustituyen a las que antes estaban encima de ellas. Por lo general, esta inversión es rápida y los cambios que se producen en la composición del agua -- son considerables.

En lagos pocos profundos, la composición de la capa superior no difiere mucho de la capa inferior, ya que el viento produce casi siempre una mezcla completa. El problema del muestreo se decide, entonces, de acuerdo con el número y la composición de las corrientes que alimentan a dichos lagos. Casi siempre se puede considerar a las presas como lagos, pero en ellos se presenta con frecuencia el fenómeno de una corriente de densidad que es característica de los depósitos profundos y, de cuando en cuando, de los pozos -- profundos. Una corriente de densidad es aquella donde la composición química y los sólidos suspendidos son idénticos y se conservan así aún a gran profundidad.

Esta corriente se origina a causa de las diferencias en la densidad del agua que fluye, ya sea como resultado de una diferencia en la temperatura, ó debido al material en solución o suspensión ó por ambos motivos. Cuando se presenta este fenómeno, se requiere de un patrón de muestreo -- sumamente cuidadoso.

#### MUESTREO A PRESION SUBATMOSFERICA.

Con frecuencia es necesario tomar muestras de agua a presión reducida, como sucede en los sistemas de retorno al vacío o en pozos calientes de condensadores. En este caso la instalación que se requiere para el muestreo es diferente y deben tomarse precauciones extremas para evitar fugas. Cuando hay una fuga leve hacia el exterior en un sistema de presión, no necesariamente perjudican al muestreo, pero las fugas que entran a una muestra que se mantiene a presión -- subatmosférica, pueden contaminarla.

Las fugas de un sistema de presión son visibles, las que se registran hacia el interior de una muestra subatmosférica no lo son. figura 7.

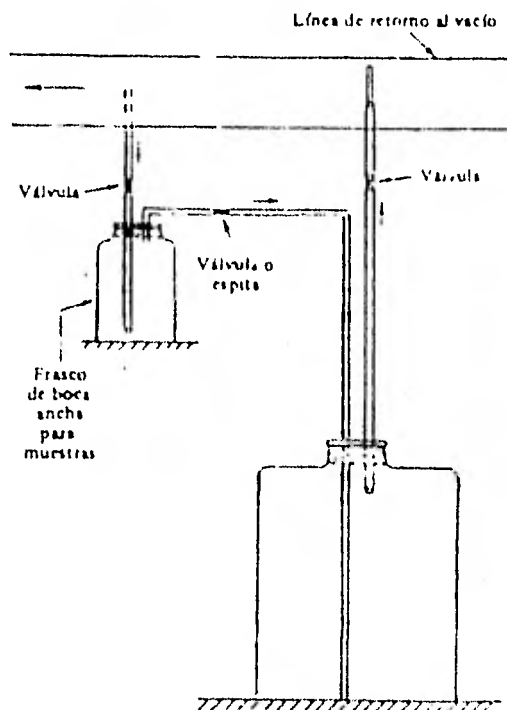


Fig. 7. Montaje para efectuar muestreos a presión subatmosférica

#### MUESTREO A PROFUNDIDAD.

Para facilitar la toma de muestras en cuerpos de agua profundos, se usan casi siempre dos tipos de muestreadores: los integradores de profundidad y los de puntos aislados. Los muestreadores de integración de profundidad se componen sólo de un marco metálico pesado u otro dispositivo mecánico que sujeta o sostiene con firmeza una botella de vidrio mientras se hace descender a una velocidad uniforme a todo lo largo del perfil vertical del cuerpo de agua.

Hay otro tipo de muestreador para recoger muestras a una profundidad específica, como el muestreador tipo forerster modificado. El muestreador desciende a la profundidad deseada en posición abierta y luego se hace descender por la línea de suspensión un peso mensajero que acciona el mecanismo de cierre.

Quando las muestras sirvan para determinar el contenido de gas disuelto y los constituyentes afectados por la aereación, se necesitan equipos y técnicas especiales.

#### MUESTREO DEL AGUA BAJO PRESION

La composición de casi todas las aguas de pozo varían muy ligeramente de un año a otro, y es suficiente contar con una sola estación de muestreo. Por lo común basta tomar dos o tres muestras por año. Existen algunas excepciones, como en el caso de pozos profundos que atraviezan estratos donde el agua tiene un alto contenido mineral, llegando a mantos más profundos con agua de mejor calidad.

Las fugas en el ensamble o las construcciones deficientes, pueden dar origen a la contaminación del agua. También en un pozo poco profundo que recibe agua por percolación de una corriente cercana, puede haber fluctuaciones en la composición y, en tales condiciones, se requiere de un muestreo más frecuente, figura 8.

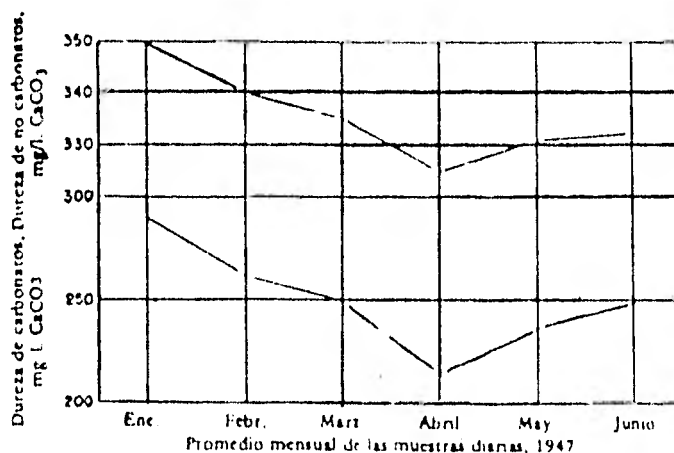


Fig. 8. Variación en la composición del agua de pozo.

En algunas zonas la composición del agua subterránea - varía de acuerdo con la estación. Estos cambios cíclicos - se relacionan casi siempre con los canales de solución que - se forman en la piedra coliza, el yeso u otras rocas solu- - bles, y con variaciones en la precipitación pluvial. El agua de lluvia, llega rápidamente a la capa freática y - diluye las concentraciones más alta de minerales disueltos. En esta forma la concentración de minerales en el agua sub- - terránea, es menor en la estación de lluvias, que durante - la época de sequía.

En pozo nuevo, o que no se haya utilizado durante un - período prolongado, deberá extraerse suficiente agua antes- - de que el muestreo garantice que el líquido obtenido sea tí - pico de las condiciones normales. Esto puede requerir va- - rios días o semanas.

Para tomar muestras de agua de una tubería o un conduc- - to, conviene escoger una sola estación de muestreo. Por e- - jemplo, en un sistema de enfriamiento con o sin torres, es- - conveniente tener una sola estación de muestreo para contro- - lar el tratamiento químico. La selección satisfactoria de- - la estación, puede requerir una investigación inicial muy - completa, comprobando las muestras de varias salidas.

Un factor que a menudo se descuida al localizar esta- - ciones de muestreo en tuberías, es la posibilidad de tomar- - muestras sólo del perímetro interno. Si la salida se en- - cuentra cerca de la pared interior, no se obtendrá una mues- - tra representativa del flujo transversal. Las diferencias- - se hacen más pronunciadas al aumentar el diámetro de la tu- - bería, y esta dificultad se puede resolver proveyendo va- - rias salidas de muestreo que penetren a diferentes distan- - cias dentro de la tubería. Las entradas de esta boquilla - deben orientarse corriente arriba. figura 9.

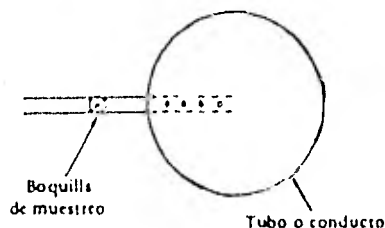


Fig. 9. Boquilla de muestreo para tubería o conducto.

La frecuencia del muestreo dependerá de la magnitud de las variaciones en la composición del agua, es decir, el patrón de muestras debe permitir una cobertura satisfactoria de los cambios. La estación de muestreo no debe situarse en alguna sección de la tubería en donde el agua estancada, por ejemplo, en un extremo. La muestra obtenida en una ubicación de esta naturaleza no puede ser satisfactoria. Con frecuencia, las condiciones físicas limitan la instalación de estaciones de muestreo, pero deben seleccionarse -- las mejores posibles. Las válvulas de escape o drenaje, -- proporcionan salidas convenientes para el muestreo que se usan frecuentemente y de donde pueden obtenerse muestras satisfactorias de tuberías o tanques pequeños, pero solo permiten tomar muestras del perímetro interno o de la terminal. Conviene probar este tipo de salida de muestreo para ver si es adecuada, en lugar de aceptarla simplemente por comodidad.

En algunos casos el agua de un sistema a presión puede muestrearse satisfactoriamente, utilizando como estaciones de muestreo vertedores, pozos colectores, drenajes o derrames. Si se van a determinar constituyentes inestables, no deben usarse estos dispositivos.

## RECOLECCION DE MUESTRAS DE DESECHOS INDUSTRIALES

El muestreo y el análisis de desechos industriales implica, por lo general, mayor cuidado y atención de los detalles que las operaciones similares con aguas negras y con efluentes de plantas de depuración de aguas negras. Los desechos industriales están sujetos a cambios bruscos, en muy pocos minutos, por numerosas causas que se presentan aún en las fábricas mejor operadas, como son purgas, descargas de evaporadores, etc.

Los propósitos del muestreo y análisis pueden ser la demostración de:

- a).- La concentración de la carga máxima.
- b).- La duración de las cargas máximas.
- c).- La frecuencia de variaciones durante el día.

En estos casos, los muestreos deben hacerse con suficiente frecuencia, para poder percibir los resultados, esto es, cada 5, 10, 15 ó 60 minutos, examinándose separadamente cada uno.

- d).- La pérdida media durante un turno o un período de 24 horas.

En este caso, las muestras individuales, que se recolecten con intervalos de minutos o de horas, se mezclan en proporción a su gasto o escurrimiento, se preservan si es necesario y se analizan tan pronto como sea posible.

### PRESERVACION DE LAS MUESTRAS.

Es difícil la preservación de las muestras, porque casi todos los preservativos interfieren con alguna de las pruebas, siendo el ideal del análisis inmediato. Posiblemente el mejor modo de preservar una muestra hasta el día siguiente, es el almacenamiento a bajas temperaturas, 4° c; los preservativos químicos sólo pueden usarse cuando se ha demostrado que no interfieren con los exámenes que deben practicarse.

### MUESTREO A TEMPERATURAS ELEVADAS

Los requisitos para muestreo para el control de proceso de tratamiento de agua, también se aplican a la recolección de muestras en sistema de agua caliente, añadiendo únicamente que las muestras deben enfriarse a una temperatura cercana a la ambiente. Si no se efectúa este enfriamiento, se producirá una evaporación y la muestra será poca satisfactoria.

El muestreo de agua de calderas, calentadores de agua de alimentación o evaporadores, deben efectuarse también bajo presión, empleando un serpentín de enfriamiento. Ver figura 10.

En las calderas modernas frecuentemente, se aprovecha la línea de purga continua para hacer el muestreo. En tales casos se aconseja localizar la salida entre la caldera y la válvula que controla el flujo de la purga continua para evitar la evaporación instantánea. En algunas calderas es necesario comprobar varias de las posibles estaciones de muestreo, a fin de localizar la más conveniente.



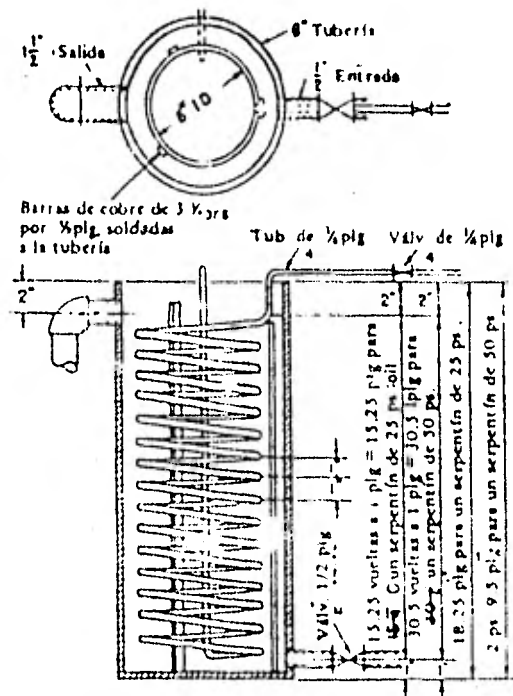


Fig.10. Serpentin para el enfriamiento de agua

Es muy importante obtener una muestra satisfactoria de vapor, sobre todo en calderas que funcionan a alta presión y temperatura.

Puesto que es más sencillo determinar el valor aproximado de la pureza del vapor midiendo la conductividad del condensado, se prefiere este método al de evaporación de grandes volúmenes de muestra, y se emplea en forma casi exclusiva para registrar de manera continua la pureza de la muestra. Los gases ionizables, tales como el bióxido de carbono y el amoníaco disueltos en la muestra de vapor condensado, afectan el valor de la conductividad determinada y es necesario hacer las correcciones pertinentes, afectando análisis químicos para determinar su concentración en la muestra.

En la actualidad se dispone de desgasificadores automáticos de vapor que permiten la eliminación de estos gases disueltos.

Existen aparatos que se utilizan para dividir una muestra de vapor, a velocidades casi iguales, en una fracción condensada y una fracción gaseosa. Los sólidos se concentran dentro de una fracción que comprende alrededor de la mitad del peso original del vapor.

La conductividad medida se multiplica por el factor -- 0.5 corregido según el contenido de gases disueltos en esta fracción a fin de situar los resultados sobre una base original.

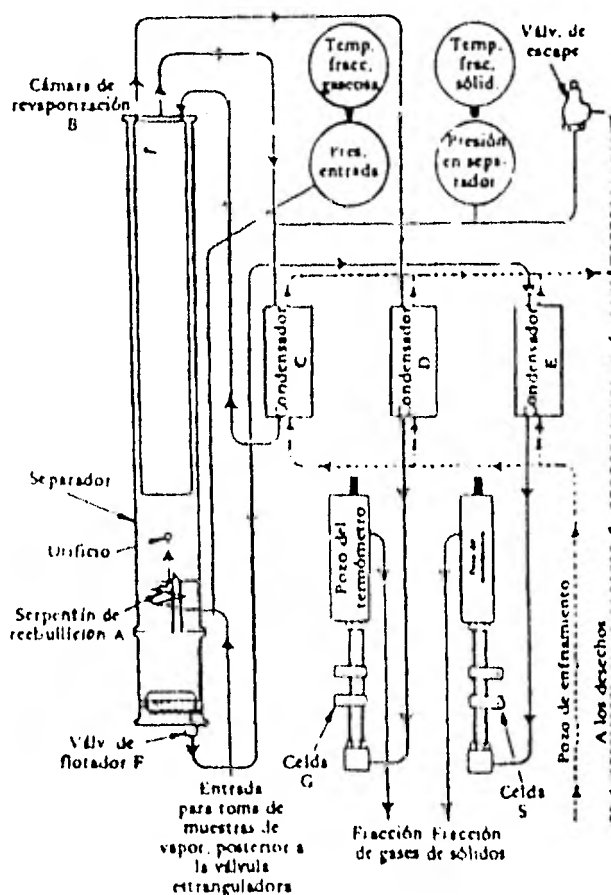


Fig. 11. Diagrama esquemático de un desgasificador

## MUESTREO DE AGUA RADIATIVA

Cuando se muestrea agua para determinar su radiactividad, ya sea para un ensayo general o de radionúclidos, se aplican los principios normales del muestreo. No obstante, debido a la cantidad de sustancias radiactivas, se necesita un manejo especial de las muestras. Es necesario verificar que la muestra obtenida sea representativa, para lo cual -- puede requerirse recolectar una mezcla en proporción a la -- velocidad de flujo, o cuando no se pueda asegurar que la -- mezcla sea adecuada, deberán obtenerse varias muestras en -- diferentes puntos y profundidades del río, lago, pozo, tanque de procesamiento o recipiente de agua para enfriamiento de reactores.

Cuando se hace un muestreo para determinaciones de radiactividad, se deben tomar precauciones para reducir la -- magnitud de la actividad absorbida en las paredes del recipiente, pueden presentar un porcentaje importante de la actividad. Los materiales plásticos o los recipientes recubiertos con cera, son mejores en este aspecto que los de vidrio o metal. A menudo la absorción de materiales reactivos en las paredes del recipiente, se puede reducir agregando materiales portadores de agentes quelatantes o acidulando en forma apropiada. Sin embargo, la adición de líquido de esta índole pueden cambiar la distribución de la radiactividad entre los constituyentes disueltos y los suspensidos.

Cuando se hacen muestreos de corrientes u otras aguas naturales, las pérdidas por adsorción son relativamente poco importantes, ya que en dichas aguas los materiales fácilmente adsorbibles por lo general se encuentran sobre las superficies de los sólidos suspendidos presentes. En este caso, el tratamiento para evitar la adsorción puede dar como resultado una transferencia indeseable de radionúclidos de la fase suspendida a la disuelta.

## MUESTREO Y SU CONTROL DE CALIDAD.

El aumento de precisión que se exige a las muestras -- que se analizan, va acompañado de la necesidad de mejores métodos para la medición, para especificaciones y el registro. La estadística, conocida como ciencia de las mediciones, parece ser una de las técnicas de mayor valor que se emplea en las cuatro tareas del control de calidad, habiendo llegado a ser imprescindible.

Los métodos estadísticos han tenido que recorrer un largo y escabroso camino para su aceptación general, hasta llegar a satisfacer a las necesidades del muestreo en la actualidad. La oposición a estos métodos, se debió en parte a la natural resistencia que se opone a la admisión de cualquier método nuevo.

El éxito de los métodos estadísticos en el muestreo, -- realmente representa una transición entre la estadística -- "pura" y las realidades prácticas en situaciones de muestreo. Los métodos estadísticos, como actualmente se aplican en el control total de la calidad, no representan una ciencia exacta. Su carácter está fuertemente influenciado por factores de relaciones humanas, condiciones tecnológicas y consideraciones sobre costos.

El "punto de vista estadístico" se concreta esencialmente en lo siguiente: La variación en la calidad de las muestras se deben estudiar constantemente; dentro de cada muestra, sobre los equipos para el muestreo, entre los diferentes lotes de muestra, sobre características críticas de calidad y sus estándares.

Estas variaciones se podrán estudiar mejor, por el análisis de muestras seleccionadas de los lotes de muestras.

Este punto de vista, que enfatiza el estudio de la variación, ha tenido un efecto significativo sobre algunas actividades del control de calidad, en los cuales no han empleado los modernos métodos estadísticos.

Se dispone de herramientas estadísticas para ser empleadas en las tareas del control de calidad; estas son:

- 1.- Las distribuciones de frecuencias.
- 2.- Las gráficas de control.
- 3.- Las tablas para el muestreo.
- 4.- La predicción de confiabilidad.

Para la completa comprensión tecnológica del control total de la calidad, el conocimiento de estas herramientas es de gran utilidad.

#### CONCEPTO DE LAS DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS.

Una de las características en la toma de muestras, es que no es posible tomar dos o tres muestras exactamente iguales. Las variaciones podrán ser muy pequeñas o muy grandes, el caso es que, las variaciones existen en el elemento de la muestra.

Algunas de estas variaciones serán de tal magnitud, -- que inmediatamente se ponen de manifiesto por medio de equipos modernos de medición. Otras, serán tan pequeñas que, -- las sucesivas lecturas con el equipo de medición, primero pondrán de manifiesto la variación del equipo mismo, antes de la variación de la muestra.

De los diferentes tipos de variación entre las muestras de utilidad para propósitos analíticos, existen dos clasificaciones:

- 1.- Variaciones entre muestras tomadas durante un mismo período de tiempo.
- 2.- Variación entre muestras tomadas en diferentes períodos de tiempo.

Existen otros factores que contribuyen a cada una de estas variaciones. Entre éstos, pueden citarse el desgaste del equipo, uso de dispositivos no adecuados, cambios de temperatura, muestreadores distraídos o faltos de entrenamiento.

#### DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

La distribución de frecuencia auxilia a emitir una opinión.

El concepto de la distribución de frecuencia pone de manifiesto que, la variación en las muestras es inevitable. Las personas se inclinan a pensar en las muestras, como datos individuales. Para tener un conocimiento del proceso y sus especificaciones, los trabajadores piensan que sólo es necesario examinar unas cuantas muestras.

La distribución de frecuencias, establece que las muestras consideradas individualmente, dan poca información relativamente. El lote del cual forman parte estas muestras, rinde una información más significativa. Es mejor considerar a las muestras individuales como unidades de un gran lote.

Realmente, para representar la característica de calidad de estas muestras, se requiere del estudio de un grupo de un tamaño adecuado, tomando del mismo lote a que pertenecen; por lo tanto, la distribución de frecuencias, presta una importante contribución al concepto de variación como:

- 1.- Ayuda a afirmar el principio de que siempre debe de tomarse en cuenta cierta cantidad de variación entre las muestras tomadas.

2.- Ayuda a establecer la naturaleza general de la forma gráfica que puede tomar esta variación.

3.- Ayuda a establecer un importante acceso para el estudio y control de esta variación, por lo tanto, facilita la contestación a lo siguiente: por lo que se refiere a una característica de calidad en particular. ¿ La variación del proceso podrá permitir que las muestras tomadas, queden dentro de los límites de las especificaciones ?

Esto significa que habrá un porcentaje que no será satisfactorio y será rechazado por no cumplir con las especificaciones. figura 12.

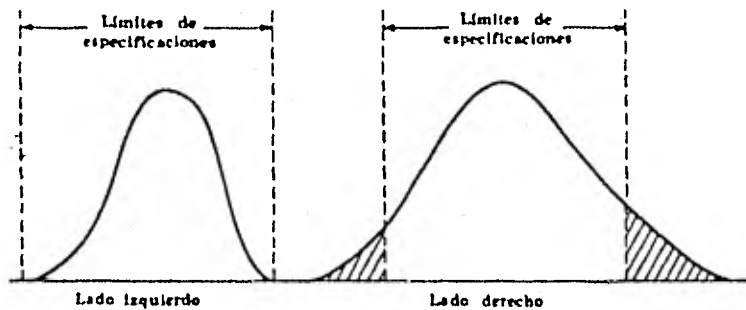


Fig. 12. Límite de especificaciones

#### TAMANO DE LA MUESTRA QUE DEBE TOMARSE PARA LOS CALCULOS DE LA DISTRIBUCION DE FRECUENCIA.

Para una decisión práctica sobre el tamaño apropiado de una muestra en particular, por lo general hay que tomar en cuenta dos factores.

1.- El aspecto económico; o sea, ¿ Cuánto costará tomar cada lectura ?





Nada hay más desalentador que analizar una serie de -- lecturas para concluir que éstas no se pueden aprovechar. Los datos anotados en las tarjetas deberán ser exactos. Esto requiere una inscripción correcta por parte del individuo designado para el caso. Un problema crítico puede ser la falta de cuidado o la ineficacia por parte del encargado de hacer las anotaciones. Ocasionalmente las muestras que tienen que ser analizadas cuidadosamente en la oficina principal, tienen su origen en la mente del tomador de muestras.

Puede ser que no haya querido tomarse la molestia de -- comprobarlas o bien que se haya olvidado de hacerlo.

Quando en la tarjeta con marcas aparezca en forma con- fusa, la presentación gráfica de una distribución de fre- --- cuencias, se debe de esmerar el cuidado sobre las lecturas. Un ejemplo interesante lo presenta la siguiente figura, 14.

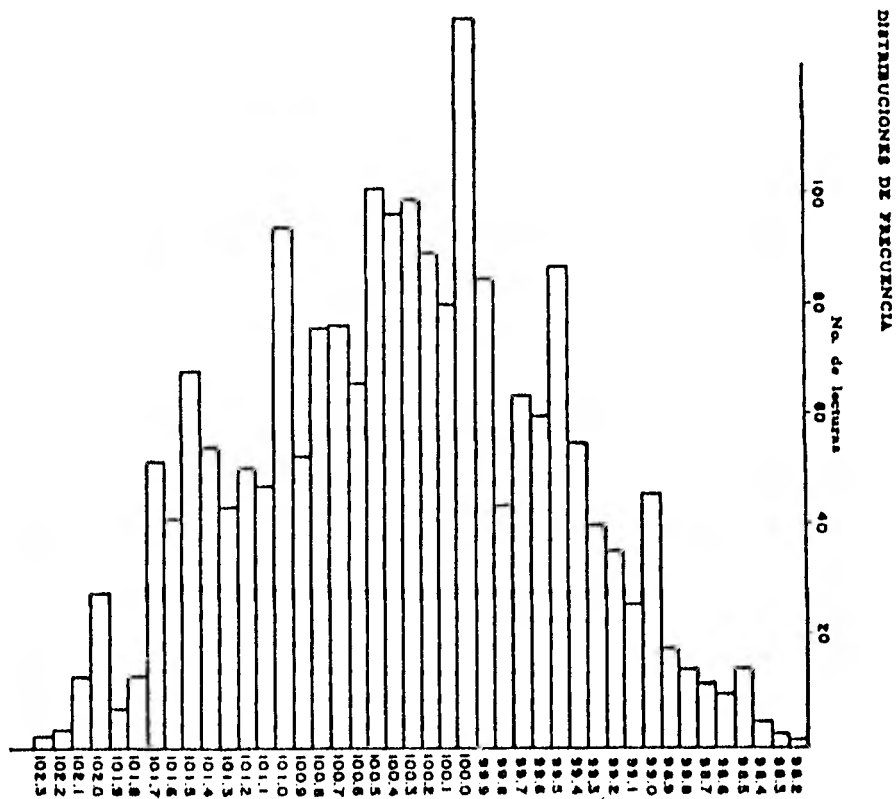


Fig. 14. Ejemplo de distribuciones de frecuencia

Parece que el operador simplemente " le gustó " anotar los números que fueran múltiples de cinco, puesto que el instrumento de medición sólo contenía marcas con 5, 10, 15, 20, etc. la curva irregular de la figura es el resultado de este hecho tan simple, y no de una causa misteriosa que pudiera atribuirle cualquier observador afectado.

Esta " preferencia " de los tomadores de lecturas por algunos valores más que sobre otros, representa un problema muy serio cuando se requieren lecturas muy estrechas. Inconscientemente, el anotador puede leer los números que más le agraden, aunque pueda tener el deseo y las instrucciones de hacerlo en otra forma.

## GRAFICAS DE CONTROL

## COMPARACION ENTRE LA DESVIACION STANDARD Y LA AMPLITUD

Aún cuando la desviación estándar, en general, da una información con mayor certeza acerca de la dispersión de una muestra, que la que se pueda obtener por medio de la amplitud, esta última es de más fácil determinación. Para una serie con 10 lecturas, la amplitud se podrá determinar casi a simple vista, en cambio, la desviación estándar requiere algo de cálculo.

Debido a esa relativa simplicidad, la amplitud ha sido acogida con bastante agrado para muchos trabajos, y muy particularmente para trabajos con gráficas de control estadísticamente, su precisión va disminuyendo a medida que aumenta el número de lecturas en la serie.

El sentido común da de inmediato dos razones de esta disminución en la precisión de la amplitud, al aumentar el tamaño de la muestra. En muestras muy grandes se presentan más ocasiones de incluir una lectura "fuera de lo normal". Estas lecturas sin gobierno indudablemente que se reflejan en alto grado sobre la amplitud. Por otra parte, la amplitud únicamente considera lecturas extremas, haciendo a un lado las demás. Por lo tanto no se aprovecha toda la información de que se pueda disponer para el cálculo de la dispersión.

La desviación estándar no presenta fallas tan grandes. Es una imagen mucho más efectiva de todas las lecturas de la serie, y cualquier lectura de lo normal, no afectará en alto grado su valor.

En consecuencia, se puede generalizar que la desviación estándar se puede usar en muestras de cualquier tamaño. La amplitud únicamente se podrá emplear con muestras pequeñas. Como una regla práctica, el tamaño máximo será de quince lecturas.

LIMITES DE CONTROL ECONOMICAMENTE SATISFACTORIOS.

Cuando ha quedado determinada la amplitud media para una serie de subgrupos, el valor de la desviación estándar para el "flujo de las muestras" de lo cual se han tomado -- los subgrupos, mantiene una relación directa con la amplitud media  $\bar{R}$ , cuando la desviación estándar se considera -- aproximada a la curva normal, esta relación es la siguiente:

$$\sigma' = \frac{\bar{R}}{d_2} \quad ; \quad \sigma' = \text{Desviación estándar verdadera.}$$

$$d_2 \quad ; \quad d_2 = \text{Factor de conversión para tamaños de subgrupos de 2 a 15.}$$

Se incluye tabla con los valores del factor de conversión  $d_2$  para tamaños de subgrupos de 2 hasta 15 unidades.

GRAFICAS DE CONTROL

Número de lecturas en el subgrupo n	Factor de conversión $d_2$
2	1.128
3	1.693
4	2.059
5	2.326
6	2.534
7	2.704
8	2.847
9	2.970
10	3.078
11	3.173
12	3.258
13	3.336
14	3.407
15	3.472

Fig. 15. Tabla del factor de conversión  $d_2$

Una aplicación muy útil de la fórmula se tiene en aquellos casos en que se calculan los límites de las gráficas - de control, sin haber hecho con anticipación un análisis de la distribución de frecuencias del proceso. No se pueden - comparar los límites de control, por sí solos con los límites de tolerancias; se necesita calcular los límites de 3 - sigmas, o del proceso de las muestras individuales.

Los límites de 3 - sigmas para las muestras individuales, se pueden deducir fácilmente del valor de R que se ha obtenido al calcular los límites de control. Estos límites de 3 - sigmas serán:

$$\sigma' = \frac{R}{d_2}$$

$$Y \quad 3\sigma = \frac{3\bar{R}}{d_2} \quad ; \quad 3\sigma = \frac{3}{d_2} \bar{R}$$

Por lo tanto, los límites de 3 - sigmas para las lecturas individuales serán:

$$\begin{aligned} \bar{X} + 3\sigma & \quad \quad \quad = \\ \bar{X} + \left(\frac{3}{d_2}\right) R & \quad \quad \quad ; \quad \bar{X} = \text{Gran media} \end{aligned}$$

El factor  $3/d_2$  varía con los diferentes tamaños de subgrupos. A este factor se le denominará en los sucesivos por L, ver figura 16

## GRAFICAS DE CONTROL

## FACTORES PARA L Y PARA M

TAMARO MUESTRA (n)	L	M
2	2.659	5.319
3	1.772	4.143
4	1.457	3.759
5	1.290	3.568
6	1.184	3.452
7	1.109	3.378
8	1.054	3.304
9	1.010	3.262
10	.973	3.230
11	.946	3.225
12	.921	3.204
13	.899	3.189
14	.881	3.174
15	.864	3.162

Fig. 16. Tabla de factores L y M

Los límites del proceso o de 3 - sigma, empleando el factor anterior se calculan con las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned} \text{Límite inferior} &= \bar{X} - L\bar{R} \\ \text{Línea central} &= \bar{X} \\ \text{Límite superior} &= \bar{X} + L\bar{R} \end{aligned}$$

Esta forma de cálculo realmente se presenta en las primeras etapas de la instalación de las gráficas de control. Cuando ya se ha logrado alguna experiencia con las gráficas de control, la decisión sobre si los límites son o no económicamente satisfactorios, es un caso práctico que se soluciona con una sola mirada a los datos de la gráfica de control.

#### GRAFICA DE CONTROL PARA DESVIACION STANDARD.

En algunos casos se prefiere la desviación estándar, como medida de dispersión para las gráficas de control, muy en particular cuando el tamaño del subgrupo debe ser mayor de 10 unidades.

En este caso se le denomina gráfica de  $(\bar{X}, \bar{\sigma})$ .

El procedimiento para el cálculo de los límites de control, es muy semejante al empleado con las amplitudes, excepto desde luego, de que se traza una gráfica para desviaciones estándar en lugar de las gráficas para las amplitudes. La diferencia principal entre estos cálculos y los realizados, consiste en el empleo de otras constantes.

Las fórmulas que se deben de emplear para estos cálculos son; ver factores en la figura 17.

medias:

$$\text{Límite inferior} = \bar{\bar{X}} - A_1 \bar{\sigma}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\bar{X}}$$

$$\text{Límite superior} = \bar{\bar{X}} + A_1 \bar{\sigma}$$

Desviación estándar:

$$\text{Límite inferior} = B_3 \bar{\sigma}$$

$$\text{Línea central} = \bar{\sigma}$$

$$\text{Límite superior} = B_4 \bar{\sigma}$$

Para poder pasar de estos límites a los límites del proceso o de 3 - sigma correspondientes a las lecturas individuales, se aplican las fórmulas:

$$\text{Límite inferior} = \bar{X} - M\bar{C}$$

$$\text{Línea central} = \bar{X}$$

$$\text{Límite superior} = \bar{X} + M\bar{C}$$

El factor M se encuentra tabulado en la figura 16 de acuerdo con los diferentes tamaños de subgrupos, para el empleo del factor M se deben de tomar las mismas precauciones que para el caso del factor L.

FACTORES PARA EL CALCULO DE LIMITES DE CONTROL

Número de observaciones en la muestra	Gráficas para medias		Gráficas para Dev. estándar		Gráficas para amplitudes		Número de observaciones en la muestra
	Factores para límites control		Factores para límites control		Factores para límites control		
n	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	n
2	3.759	1.980	0	3.658	0	3.268	2
3	2.994	1.023	0	2.692	0	2.974	3
4	1.880	.729	0	2.330	0	2.202	4
5	1.898	.577	0	2.120	0	2.114	5
6	1.410	.463	.003	1.987	0	2.004	6
7	1.277	.419	.097	1.903	.076	1.924	7
8	1.170	.373	.169	1.831	.136	1.866	8
9	1.094	.337	.227	1.774	.194	1.816	9
10	1.028	.306	.273	1.727	.223	1.777	10
11	.973	.289	.318	1.689	.236	1.744	11
12	.926	.266	.346	1.654	.264	1.717	12
13	.884	.249	.375	1.623	.309	1.692	13
14	.848	.236	.400	1.599	.329	1.671	14
15	.817	.223	.423	1.577	.346	1.652	15

Fig. 17. Factores para el calculo de límites de control



## PRECISION Y EXACTITUD.

Debe establecerse una distinción entre los términos -- Precisión y Exactitud, cuando se aplican a métodos analíticos. La precisión es una indicación de la reproductibilidad de un método, cuando se repite en una muestra homogénea bajo condiciones controlada, sin atender a que los valores observados difieran apreciablemente del verdadero valor, como resultado de errores constantes o sistemáticos; la precisión se expresa más satisfactoriamente por la desviación -- normal.

La exactitud es la medida del error de un método, pudiendo expresarse como la relación entre la cantidad de un elemento, o de un compuesto, que se determina o recupera -- por el método analítico, y el valor verdadero realmente presente.

Un método puede ser de una alta precisión, pero puede recuperar sólo una parte del elemento buscado, o bien un método puede ser preciso, aunque sea erróneo, debido al empleo de soluciones mal tituladas, de pesa inexactas o de equipo calibrado impropriamente. Por otro lado, un método puede ser exacto, aunque carezca de precisión, bien sea por baja sensibilidad de los instrumentos, por la velocidad variable de la actividad biológica o por otros factores que quedan fuera del control del laboratorista.

Es posible determinar tanto la precisión como la exactitud de ciertos métodos analíticos, examinando mezclas de aguas negras a las que hayan agregado cantidades conocidas de las sustancias buscadas; sin embargo, en las determinaciones de sólidos suspendidos, de la DBO y de otras características físicas, es posible determinar la precisión de los métodos, no así su exactitud, porque no hay sustancias definidas que puedan agregarse como patrones, en cantidades conocidas, en los que basan los porcentajes de recuperación.

APROXIMACIONES ESTADÍSTICAS.

Se ha demostrado, por experiencia, que si una determinación se repite un gran número de veces bajo condiciones esencialmente constantes, los valores observados,  $X$ , se distribuyen al azar alrededor de un promedio, como resultado de -- errores incontrolables o experimentales. Si se tiene un número infinito de observaciones de un universo común de causas, puede trazarse una gráfica de frecuencia relativa contra magnitud, que da lugar a una curva simétrica, de forma de campana. La forma de esta curva queda completamente definida por dos parámetros estadísticos; ver figura 18.

- 1.- El promedio  $\bar{x}$  de un número  $n$  de observaciones.
- 2.- La desviación normal,  $\sigma$ , que determina la apertura de la curva a cada lado de la media.

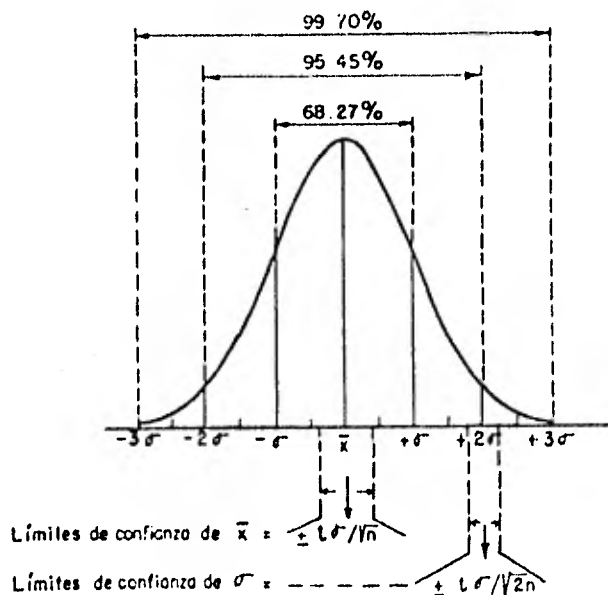


Fig. 18. Curva normal de frecuencias

La proporción del total de observaciones que caen dentro de determinadas variaciones de la media, se relaciona con la desviación normal.

por ejemplo:

68.27% de las observaciones caen dentro de  $x' \pm \sigma$

94.45% de las observaciones caen dentro de  $x' \pm 2\sigma$

99.73% de las observaciones caen dentro de  $x' \pm 3\sigma$

Estos límites no se aplican exactamente para una muestra finita de una población normal, debiendo esperarse mayor concordancia mientras mayor número de observaciones se verifiquen.

#### APLICACION DE LA DESVIACION NORMAL

Si se ha determinado la desviación normal, para un procedimiento analítico particular, partiendo de un gran número de muestras de las que se han obtenido  $n$  datos, con los que se ha calculado el promedio  $x'$ , hay una probabilidad 95% de que el verdadero valor del promedio de la muestra en estudio, caiga dentro de los valores  $x' \pm 1.96\sigma/\sqrt{n}$ ; este ámbito se conoce como el intervalo del 95% de confianza y permite una estimación de la confianza que puede tenerse en el promedio, usándose para predecir el número de observaciones que se necesitan para lograr una precisión adecuada.

Si se desconoce la desviación normal y se estima de una muestra pequeña aislada, o de unas cuantas muestras pequeñas, el intervalo del 95% de confianza del promedio de  $n$  observaciones, se obtiene por la expresión  $x' \pm t\sigma/\sqrt{n}$ ; en la cual  $t$  tiene el valor indicado en la tabla siguiente, que tiene los valores del nivel de confianza de 95%, ver figura 19.

$n$	$t$
2	12.71
3	4.30
4	3.18
5	2.78
10	2.26
$\infty$	1.96

Fig. 19. Tabla de valores del nivel de confianza 95 %

La aplicación de  $t$  compensa la tendencia a subestimar - la variabilidad en muestras pequeñas.

#### USO DE LA GAMA R.

La diferencia entre los valores máximos y mínimos, de  $n$  observaciones, también está íntimamente relacionada con la - desviación normal. Cuando la forma de distribución de los - errores es normal, la gama  $R$ , de  $n$  observaciones, solamente - excede en el 5% de los casos al producto de la desviación -- normal por el factor  $d_n$ , datos según figura 20.

(b) Los valores del factor  $d_n$ , para  $n$  observaciones, son los siguientes:

$n$	$d_n = R/\sigma$
2	2.77
3	3.32
4	3.63
5	3.86
6	4.03

Fig. 20. Valores del factor  $d_n$

Como la verificación de análisis por duplicado es una - práctica general, es muy conveniente la aplicación de estos - límites para descubrir técnicas defectuosas, grandes errores de muestreo u otras causas de variación.

Al manifestar los datos analíticos es importante:

- a.- Expresar el número de observaciones en que se basaron -- los resultados.
- b.- Expresar el promedio  $\bar{x}$  de todas las observaciones.
- c.- Indicar la gama R entre los valores mayores y menores - de las observaciones.
- d.- Indicar la desviación normal  $\sigma$ .

## METODO ESTADISTICO

Proposición del método estadístico, para predecir a través de éste la confiabilidad de las muestras tomadas de un cuerpo de agua para que estas sean representativas y obtener los datos requeridos.

Para esto las actividades fundamentales son:

- 1.- Establecimiento de los requisitos de confiabilidad de las muestras.
- 2.- Desarrollo del programa de confiabilidad para satisfacer los requisitos, incluyendo recolección, conservación y transporte de la muestra.
- 3.- Continuación del control de la confiabilidad.

Para esto se desarrolla un trabajo aplicando el método, este trabajo consiste en una solución de 80 miligramos de hierro, diluido en 4 litros de agua, del cual se tomarán muestras de acuerdo a los requisitos propuestos para determinar a través de análisis la cantidad supuesta.

- a).- Establecimiento de requisitos.

Debe llevarse un registro de cada muestra recolectada, identificándose cada frasco, de preferencia por una etiqueta atada o adherida al envase. El registro debe incluir todos los informes pertinentes, que permitan una identificación positiva de la muestra, en cualquier instante, debiendo anotarse:

- 1 .- El nombre del muestreador.
- 2 .- La fecha y hora de operación.
- 3 .- La localización exacta de la estación de muestreo.
- 4 .- La temperatura del agua y cualquier otro dato que pueda necesitarse en lo futuro para propósito de correlación, como

las condiciones meteorológicas, el nivel o espejo de agua, - el gasto o caudal de la corriente, etc.

5).- Las estaciones de muestreo deben identificarse por una descripción detallada, por mapas o planos y/o con ayuda de estacas, boyas o balizas terrestres que permitan su identificación por otras personas, sin necesidad de confiar en la memoria o los instintos personales.

b .- Desarrollo del programa de confiabilidad.

Se recomienda que las muestras se recojan y se almacenen en frascos de cristal resistente de borosilicato, de caucho-duro o ebonita, de polietileno o de otros materiales - inertes. Es imposible indicar, de modo inequívoco, el tiempo que debe permitirse entre la recolección de una muestra y su análisis; esto depende del carácter de la muestra del análisis particular, que debe verificarse y de las condiciones del almacenamiento, en general, mientras menos tiempo transcurra entre el muestreo y el análisis de las aguas, serán -- más dignos de confianza los resultados analíticos.

Los frascos de muestras deben limpiarse cuidadosamente antes de cada uso, con mezcla limpiadora de ácido crómico -- (mezcla crómica) que se prepara agregando lentamente, con agitación un litro de ácido sulfúrico concentrado a 35 ml. de una solución saturada de bicromato de sodio en caso de que - haya desarrollo de organismos.

Para su embarque, los frascos pueden empacarse en cajas de madera, metal, plástico o cartón corrugado grueso, con un compartimiento separado para cada uno. Las cajas pueden revestirse interiormente con cartón corrugado, fieltro o cualquier material similar, o pueden estar previstas de resortes para impedir ruptura. Las muestras que se tomen en frascos de polietileno no necesitan protección contra ruptura por impacto o por congelación.

c).- Continuación del control de confiabilidad.

Es posible determinar estadísticamente los valores límites del patrón que simboliza un estado de control. Esto es precisamente la base de las gráficas de control.

Un proceso controlado, es un proceso que anticipa o predice; por lo tanto, es esencial un proceso controlado para lograr un producto de confiabilidad específica.

El Ingeniero del control del proceso, al tratar de lograr un estado de control en un proceso crítico para la confiabilidad del producto, debe considerarse cuidadosamente la función del control aportada por los modernos equipos de información. Especialmente aquellos procesos que están sujetos a cambios como debilitamiento de las sustancias químicas efectos de la temperatura, y otras influencias del medio que se pueden ajustar a fin de compensar los efectos y conservar el estado de control estadístico.

#### DESARROLLO DE UN PROBLEMA (ASPECTO TEORICO)

Se prepara una solución de Hierro que contenga 80 mg/lit. se dispondrá, de 4 litros de los que se sacarán 100 muestras de acuerdo a los requisitos expuestos y con intervalos de 5 minutos durante un día. Hecho lo anterior, los análisis arrojarán los siguientes datos; ver figura 21.

78	38	72	65	72	92	78	65	92	78
136	143	65	48	83	48	72	48	65	78
65	100	78	78	103	126	48	48	106	96
65	92	72	78	78	48	28	36	83	48
78	49	36	78	78	83	88	96	103	121
88	57	72	103	92	96	78	109	92	110
65	65	83	72	72	78	72	109	83	83
83	106	57	78	103	109	103	18	65	134
96	65	48	118	112	18	48	72	57	55
96	65	96	51	65	111	148	96	96	140

Figura - 21



Independientemente de los valores consignados, se exige que la variación del índice de Hierro esté entre 70 y 89 mg/lt.

El trabajo se desarrollará de acuerdo a las 4 recomendaciones estadísticas.

1).- Distribuciones de frecuencias.

El primer paso para construir la tabla es establecer -- cuantas clases se van usar y cuales son sus límites. Para este caso escogeremos 7 clases que tienen por límites: 10--29, 30-49, 50-69, 70-89, 90-109, 110-129, 130-149, ver figura 22.

TABLA DE DISTRIBUCIONES DE FRECUENCIAS

LIMITE DE CLASES		FRECUENCIAS
10- 29	XXX	3
30- 49	XXXXXXXXXXXXXX	13
50- 69	XXXXXXXXXXXXXXXXXX	17
70- 89	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	32
90-109	XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX	23
110-129	XXXXXXX	7
130-149	XXXXX	5

Figura. 22

Las gráficas de polígono de frecuencias y curva normal de frecuencias se encuentran en las figuras 23 y 24.

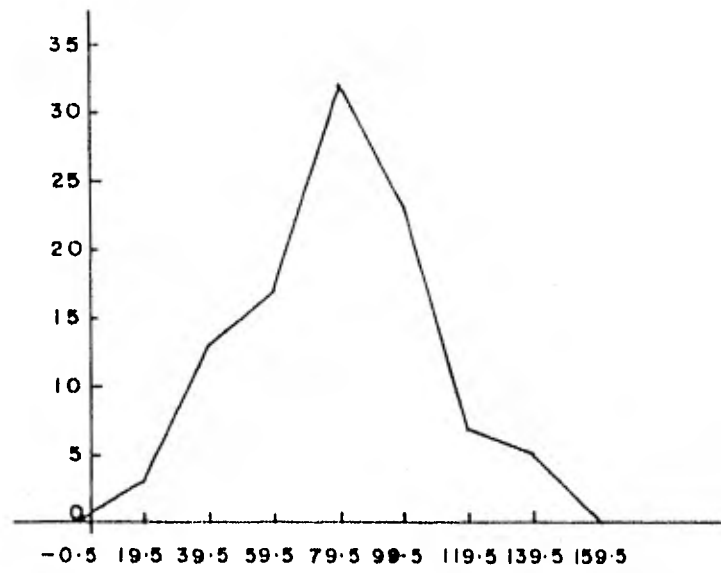


Fig. 23. Polígono de frecuencias del ejemplo

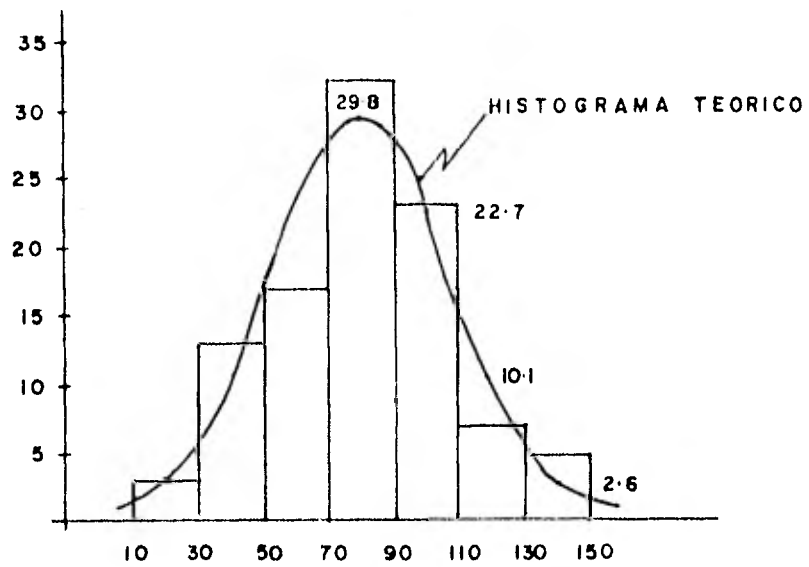


Fig. 24 HISTOGRAMA TEORICO

## CALCULO DE LA MEDIA Y LA DESVIACION NORMAL.

$$\text{Media } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad n=100 \quad \text{y} \quad x_i = 8000$$

$$\bar{x} = \frac{8000}{100} = 80 \text{ mg/lt}$$

## DESVIACION NORMAL

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n - 1}}; \quad n-1 = 99$$

$$; \quad (x-\bar{x}) = 69400$$

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{69400}{99}} = \pm 26.48 \text{ mg/lt}$$

## CALCULO DE LOS LIMITES DE CONFIANZA.

Límite de confianza  $\bar{x}$ .

$$\bar{x} = \pm t \sigma / \sqrt{n}; \quad t = 1.96 \quad \text{y} \quad \sigma = 26.48; \quad n = 100$$

$$\bar{x} = \pm 1.96 \times 26.48 / \sqrt{100}$$

$$\bar{x} = \pm 5.19 \text{ mg/lt.}$$

LIMITE DE CONFIANZA DE  $\sigma$ 

$$\sigma = \pm t \sigma / \sqrt{2n}; \quad n = 100; \quad t = 1.96$$

$$\sigma = \pm 1.96 \times 26.48 \sigma / \sqrt{200}$$

$$\sigma = \pm 3.67 \text{ mg/lt.}$$

## RECOMENDACIONES.

Como la interpretación de los resultados analíticos de un muestreo de agua se complementa y refuerza mediante un muestreo paralelo del medio, se recomienda hacer las observaciones meteorológicas, incluyendo temperatura del agua y del aire, escurrimientos, sequías e inundaciones anteriores.

También para detectar variaciones en los constituyentes del agua, se recomienda tomar unas series de muestras del tipo individual o aleatorias, ya que el volumen de estas dependerá de los requisitos del análisis. Si se trata de muestras compuestas, se recomienda tomar un volumen mayor del que se necesita para la parte proporcional del compuesto.

En aguas negras, el muestreo normal, es la recolección de una muestra compuesta, formada por porciones tomadas periódicamente durante 24 horas y el muestreo en el agua de pozo, es suficiente contar con una sola estación de muestreo, ya que casi todas las aguas de pozo varían muy ligeramente.

Para el muestreo de desechos industriales, se recomienda mayor cuidado y atención que en los otros casos, por lo que el muestreo debe hacerse con suficiente frecuencia, esto es, cada 5, 10, 15 ó 60 minutos, examinándose separadamente cada uno.

Para el caso de muestreo de campo, se recomienda llevar un registro, identificando cada frasco de muestra, con una etiqueta atada ó adherida al envase, además en el registro debe anotarse el nombre del muestreador, la fecha y hora de la recolección de la muestra, la temperatura del agua, las condiciones meteorológicas, el nivel o espejo de agua, el gasto o caudal de la corriente, la localización exacta de la estación de muestreo por mapas o planos y/o con la ayuda de estacas, boyas o balizas terrestres que permitan su identificación por otras personas.

## CONCLUSIONES.

Existen varias técnicas y sistemas para llevar a cabo el trabajo de muestreo y cada una de ellas tienen diferentes ventajas; en nuestro caso, el muestreo tiene que hacerlo una persona especializada, puesto que de ello depende el grado de veracidad que tengan los resultados del laboratorio para hacerlos extensivos a la fuente que representa.

Para que lo anterior se cumpla, tendrá que hacerse una exploración de campo bien realizada y muestreos repetidos, ya que con esto se señala la posibilidad de acontecimientos futuros y las fluctuaciones reales en la calidad, que tienen lugar día a día y mes a mes. Además, el muestreo frecuentemente permite establecer los valores medios y su variación, así como el grado de fluctuación en la calidad del agua.

Esto implica también el cuidado en el manejo de las muestras, desde la fuente hasta su llegada al laboratorio; además, tomando en cuenta la necesidad de la obtención de muestras representativas, tiene gran importancia la ubicación adecuada, tanto de los puntos de muestreo como del equipo auxiliar.

Atendiendo a que las muestras se clasifican en individuales o aleatorias y las que se denominan continuas o compuestas, las muestras aleatorias tendrán que ser manuales, que consisten en una sola porción de agua que sirve para una comprobación instantánea, útil en la investigación de características anormales.

Si se trata de muestras compuestas, el volumen recabado tendrá que ser mayor del que se necesita para la parte proporcional del compuesto. Para esto tendrá que usarse equipo correctamente diseñado e instalado, eliminando así los errores debidos al elemento humano, aunque normalmente se realizan en forma manual.

Para el caso del control de tratamiento de aguas, el muestreo tiene por objeto, controlar el funcionamiento del proceso, y esto es importante para todos los tipos de planta de tratamiento de agua cruda y la calidad del efluente tratado.

En algunas industrias, el agua que se utiliza, proviene de las lluvias que llegan a las corrientes por escurrimiento directo y por percolación subterránea. Por lo que las plantas ubicadas en la orilla de un río, el muestreo no debe ser tan extenso, basta con una sola estación y un muestreo cotidiano; ocasionalmente requiere de un muestreo frecuente en las épocas de crecidas cuando la turbidez cambia con rapidéz.

Para que el método estadístico tenga éxito en su aplicación al trabajo de muestreo, se concluye que deben tomarse en cuenta todas las recomendaciones y cuidados que el método requiere.